



José Ramón Martínez Batlle

# Geomorfología

## Tema 5. Procesos de laderas y movimiento en masa

# INTRODUCCIÓN

- Procesos elementales: *rainsplash*, solifluxión, procesos biogeomorfológicos, y otros
- Mayoría, laderas
- Poco estudiada
- Medio de **estudio de la evolución del relieve**, hoy se estudian sus procesos
- Strahler, basado en el análisis de distribución de frecuencias y aplicación en campo, las clasificaba en:
  - Laderas de **alta cohesión**
  - Laderas de **reposo**
  - Laderas reducidas por **lavado y reptación**

# INTRODUCCIÓN

- Componentes:
  - Perpendicular (perfil alteración)
  - Paralela (desplazamiento de materiales)
- Relación de meteorización, balance de denudación, balance morfogenético
- Cuando la componente **perpendicular es superior a la paralela**, el regolito no se moviliza totalmente ladera abajo y profundizará
- Por el contrario, si la componente **paralela supera a la perpendicular**, el regolito se denuda rápidamente y se estabiliza al aflorar la roca coherente.
- En condiciones de igualdad, **la cantidad de material alterado es igual al evacuado** (equilibrio dinámico de Hack)
- Depende: **pendiente, rocas, clima**

# INTRODUCCIÓN

- Los humanos tenemos capacidad de influir sobre los distintos sistemas naturales a nivel planetario y local
- Importancia cualitativa y cuantitativa que pudiera igualar y superar a la de los agentes naturales

# INTRODUCCIÓN

- Según Cruden y Varnes, los movimientos de ladera consisten en el “desplazamiento de una masa de roca, tierra o derrubios hacia abajo de una ladera”
- Ayala-Carcedo precisa que es “un movimiento hacia abajo y hacia fuera de los materiales que forman una ladera bajo la influencia de la gravedad [...] acompañada a veces por otras fuerzas naturales como las sísmicas, volcánicas o la presión de gases, y representando la materia sólida en porcentaje del peso más del 70%”
- Este autor también prefiere la denominación “movimiento de ladera” a alternativas menos precisas tales como “movimientos en masa”, “movimientos del terreno” o “*mass wasting*”

# INTRODUCCIÓN

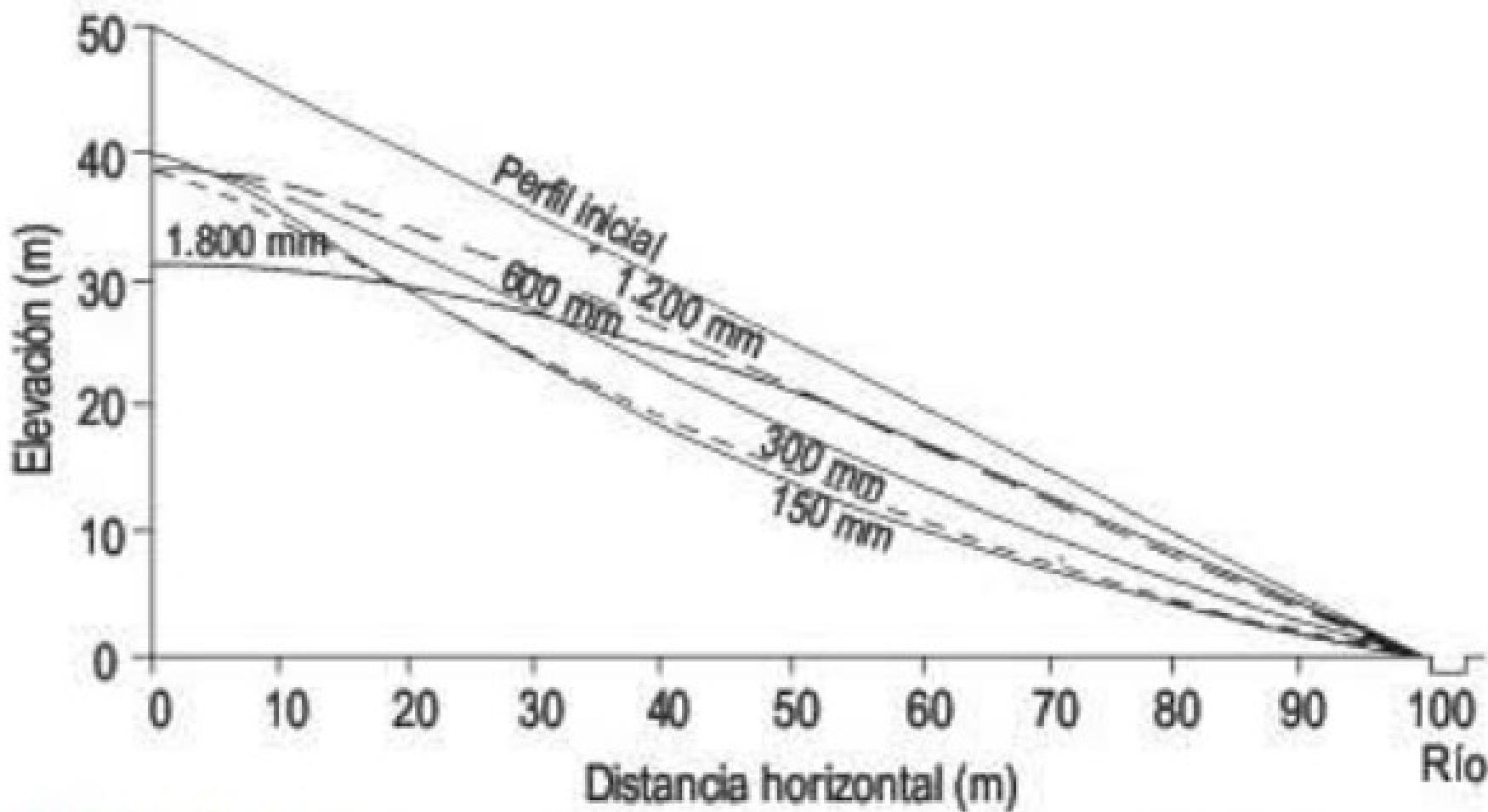
- De Pedraza los denomina "procesos gravitacionales" y los define como "el desplazamiento de materiales en las vertientes, sin intervenir ningún soporte activo o medio para movilizarlos, es decir, impulsados por su propio peso"
- Corresponde, por tanto, a una 'autotraslación' bajo la acción directa de la gravedad que, en estas circunstancias, deberá considerarse un agente específico más"

# INTRODUCCIÓN

- Su impacto socioeconómico fue analizado por Brabb y Harrods a partir de una muestra de 50 grandes catástrofes que han ocasionado al menos 100 víctimas mortales: Desde el año **1000 hasta 1988 habían muerto 280,135 personas** a causa de estos fenómenos.
- Estas cifras convierten a los movimientos de ladera en el **tercer riesgo natural por víctimas tras los terremotos e inundaciones**

# LADERAS

- La forma de las laderas, debido a su asociación con la pendiente, ha sido considerada generalmente como el perfil de la ladera
- Las irregularidades en las laderas obedecen principalmente a la litología del substrato y a los diferentes procesos que inciden en la morfología de la ladera, en los que el ambiente morfoclimático juega un importante papel



**FIGURA 7.2** Perfiles de ladera simulados para diferentes precipitaciones anuales, suponiendo una evolución de 100.000 años (Kirkby, 1976).

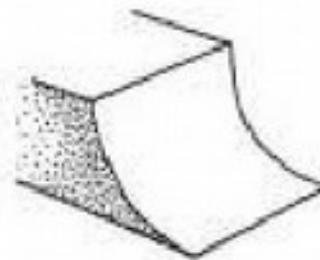
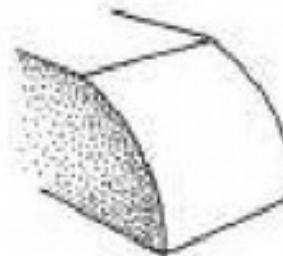
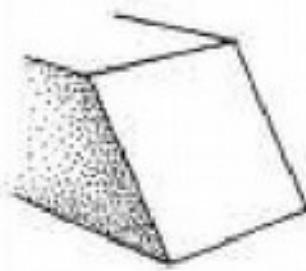
## Forma del perfil

Planar

Convexa

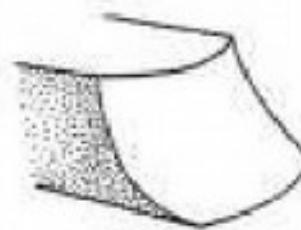
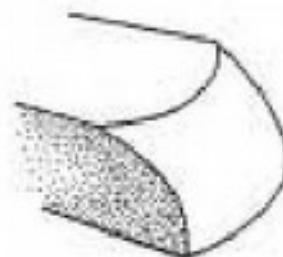
Forma del perfil

Planar

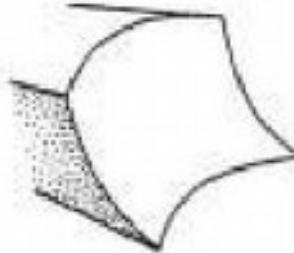
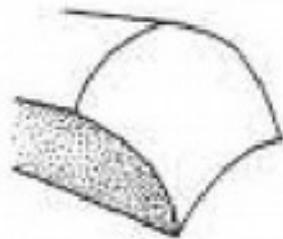


Forma en planta

Convexa



Forma del perfil



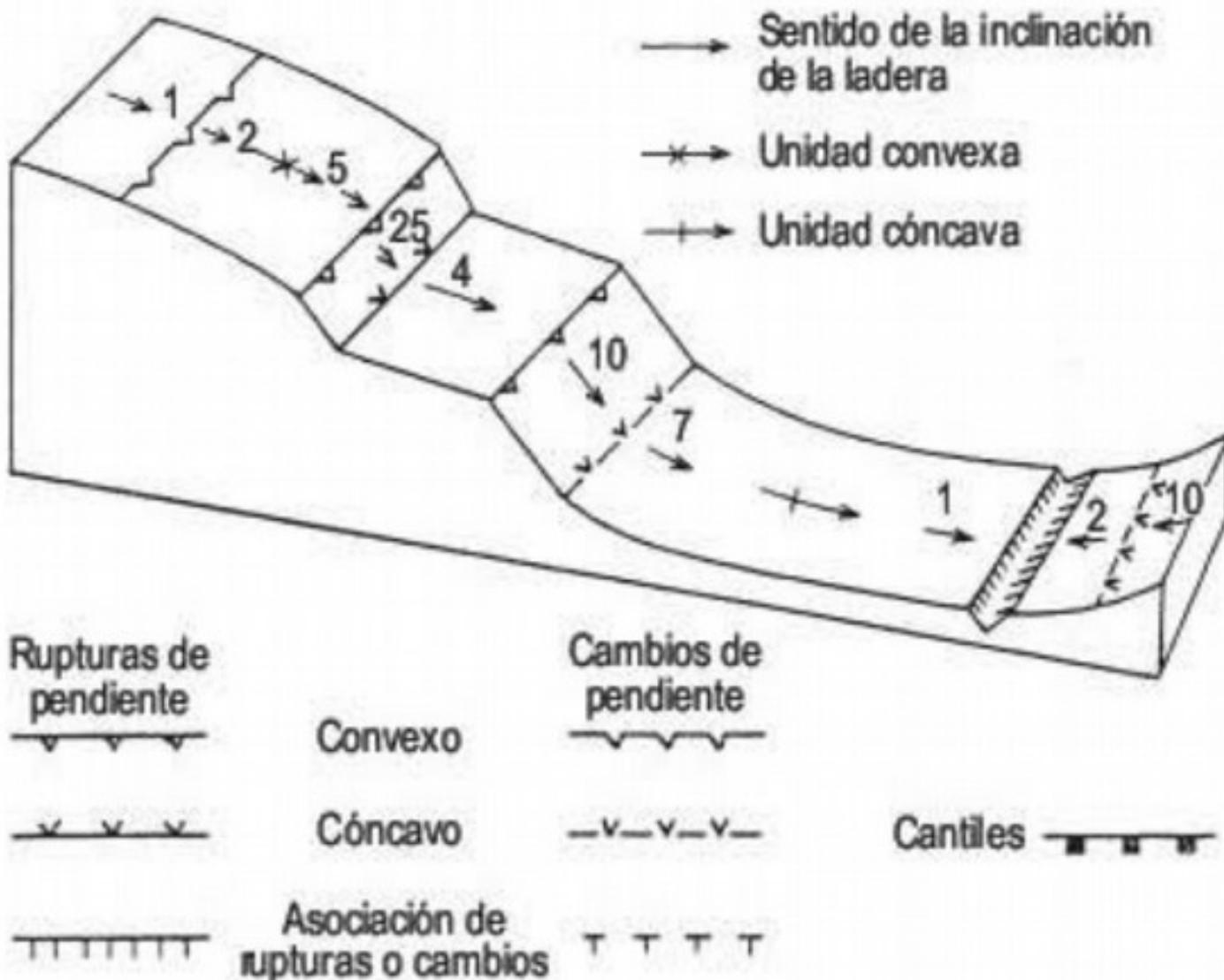
# LADERAS

- La clasificación de estos fenómenos se apoya en múltiples variables y es, a menudo, compleja y diversa
- Gutiérrez indica que existe una amplia proliferación de clasificaciones, lo cual ha dado lugar a una “copiosa terminología científica”, así como al uso de variables muy diferentes como factores de ordenación:
  - Propiedades físicas de las rocas afectadas
  - Tipo de material movilizado
  - Velocidad y movimiento

# Geomorfología

Mateo Gutiérrez Elorza

PEARSON  
Prentice  
Hall

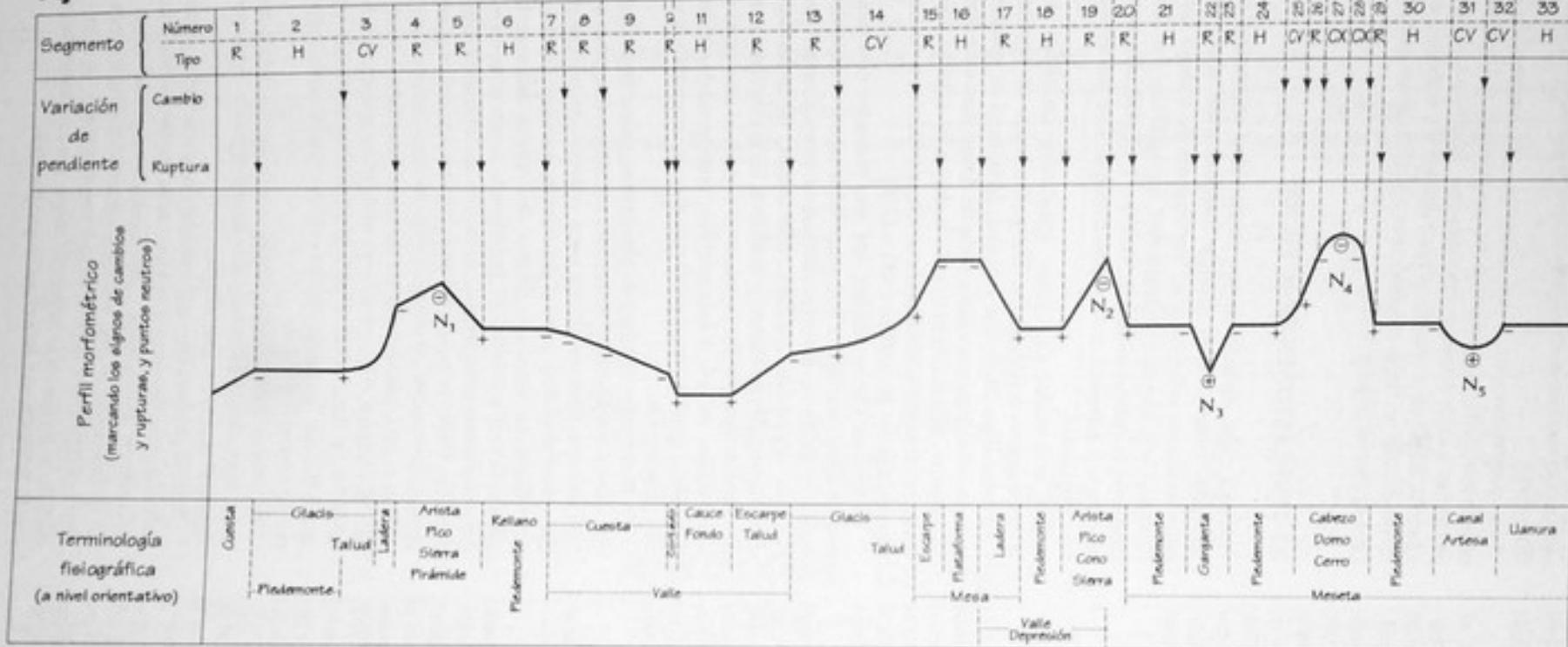


**FIGURA 7.4** Símbolos utilizados en cartografía morfológica (Curtis *et al.*, 1965).

Tabla 3.1. Baremo de las pendientes y relación con las formas, procesos y actividades más comunes en Europa Central (según E. Scholz, en Demek, 1972).

| PENDIENTE                         | MORFOLOGÍA MÁS COMÚN   | PROCESOS BÁSICOS  | OBSERVACIONES  |
|-----------------------------------|--|---|--|
| 0° - 30°<br>Plano                 | Llanura aluvial, llanura proglaciar, superficies de erosión y terrazas.  | Ausencia total de lavado y deslizamientos.  | Adequado para cultivos, urbanización, infraestructura viaria, etc.   |
| 0° 30' - 2°<br>Casi plano         | Similar al anterior; <i>sandur</i> , planicies onduladas, <i>pediments</i> y relieves tabulares.                 | Congelifluxión, regueros poco incisivos y solifluxión incipiente.   | Idem anterior.   |
| 2° - 5°<br>Débilmente inclinado   | Ondulado en zonas de <i>tills</i> (morrenas) basales, <i>drumlis</i> , fondos de valle y relieves tabulares.     | Movimiento en masa, solifluxión, procesos fluviales, inicio de erosión en reguero y lavado.                 | Riesgo de erosión del suelo en zonas de cultivo. Posible el cultivo mecanizado. Aceptable para asentamientos urbanos.                  |
| 5° - 15°<br>Muy inclinado         | Valles en montañas medias, morrenas terminales y relieves estructurales monocliniales tipo cuesta.               | Movimientos en masa, erosión en manto y reguero, fenómenos de creep e inicio de deslizamientos.             | Transporte difícil con vehículo, poco apto para infraestructuras. Difícil el cultivo mecanizado e imposible en zonas con pendiente >7° |
| 15° - 25°<br>Débilmente escarpado | Laderas en montañas medias, escarpes de falla, terrazas, etc. Relieves estructurales monocliniales tipo cuesta.  | Erosión lineal muy incisiva. Peligro de destrucción del suelo; conos de deyección; deslizamientos y caídas. | 25° es el límite de congelifluxión. Terreno adecuado para bosque y pastoreo. No apto para infraestructuras.                            |
| 25° - 35°<br>Escarpeado           | Relieves estructurales tipo <i>hogbacks</i> , crestas y acantilados costeros en areniscas, calizas, o similares. | Erosión lineal muy incisiva, riesgo extremo de erosión del suelo, deslizamientos, caídas, avalanchas, etc.  | Límite de vehículos especiales, no utilizable en agricultura o construcción. Adecuado para bosque.                                     |
| 35° - 55°<br>Precipicio           | Escarpes en gargantas, crestas y acantilados en areniscas, calizas, o similares.                                 | Caídas en masa, deslizamientos y colapsos.  | Terreno límite para uso forestal y paso caminando.   |
| > 55°<br>Vertical                 | Cornisas y acantilados en calizas, areniscas o similares.  | Caídas, colapsos, deslizamientos y desagregación granular.  | De difícil utilización. Terreno muy escarpado.   |

A)



B)

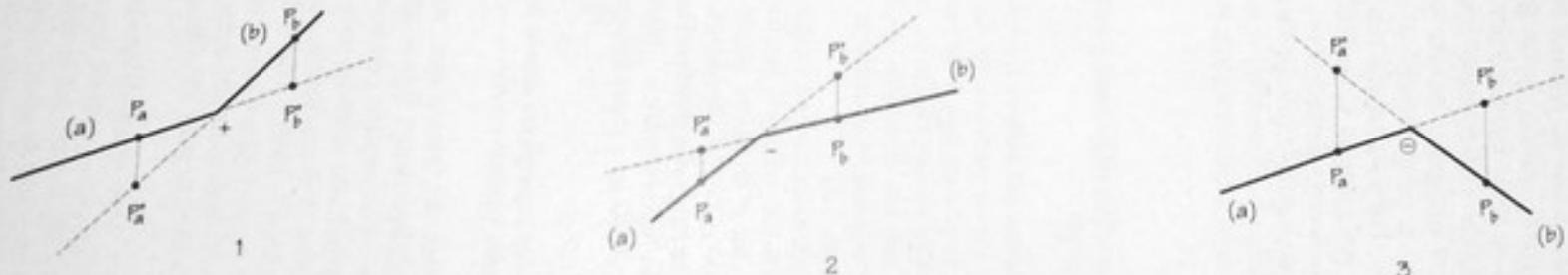


Figura 3.1. Perfiles morfométricos y parámetros asociados.

(A) Perfil morfométrico idealizado, mostrando: cambios y rupturas de pendiente positivas (+) y negativas (-); tramos, del 1 al 33, horizontales (H), rectilíneos (R), cóncavos (CV) o convexos (CX) y puntos neutros (N). Los signos circunscritos ( $\oplus$  y  $\ominus$ ) corresponden a cambios y rupturas en los puntos neutros.

(B) Esquema ilustrativo del sistema gráfico para determinar cambios o rupturas de pendiente positivas (+) o negativas (-).

(a) y (b) segmentos del cambio de pendiente por paso de (a) a (b) o de (b) a (a);  $P_a$  y  $P_b$  son puntos en cada segmento;  $P'_a$  y  $P'_b$  son los homólogos de los puntos anteriores en la correspondiente prolongación del segmento; línea discontinua (----) prolongación del segmento precedente.

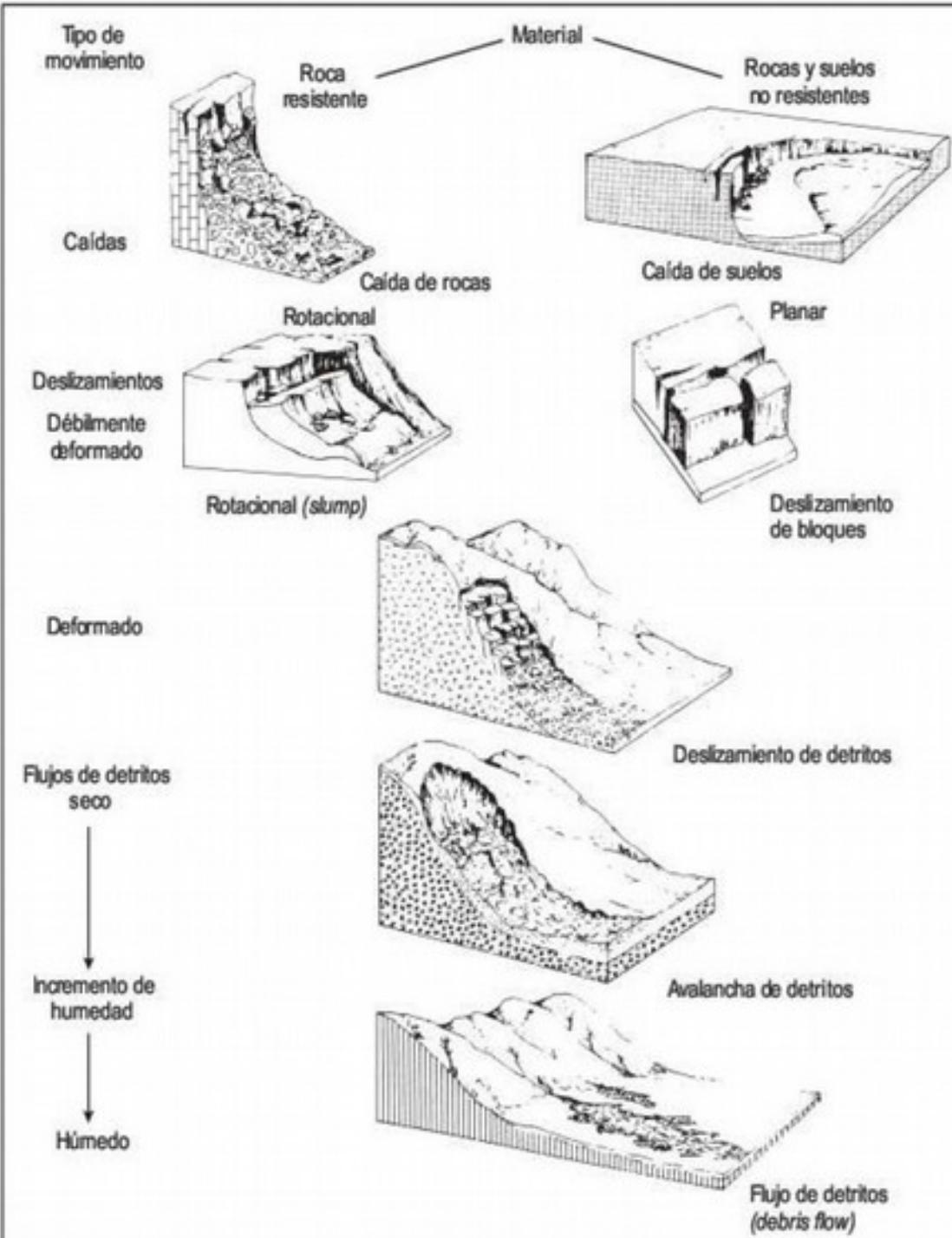
1. Tendencia positiva, tanto de (a) a (b) por acentuación del crecimiento, como de (b) a (a) por atenuación del decrecimiento.

2. Tendencia negativa, tanto de (a) a (b) por atenuación del crecimiento, como de (b) a (a) por acentuación del decrecimiento.

3. Tendencia negativa, tanto de (a) a (b), como de (b) a (a) por paso de tendencia creciente a decreciente.

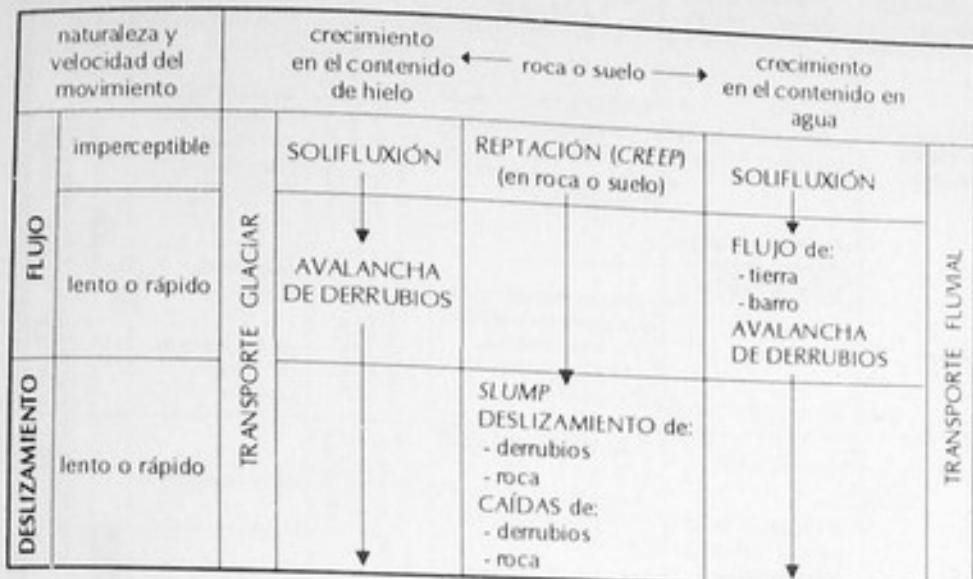
# TIPOS DE MOVIMIENTOS DE MASA

- Varnes: carácter de las rocas afectadas y el tipo de movimiento para una clasificación bastante sintética en tres tipos
  - Caídas
  - Deslizamientos
  - Flujos
- De Pedraza también los resume de esta manera, aunque añade “reptación” como un tipo adicional

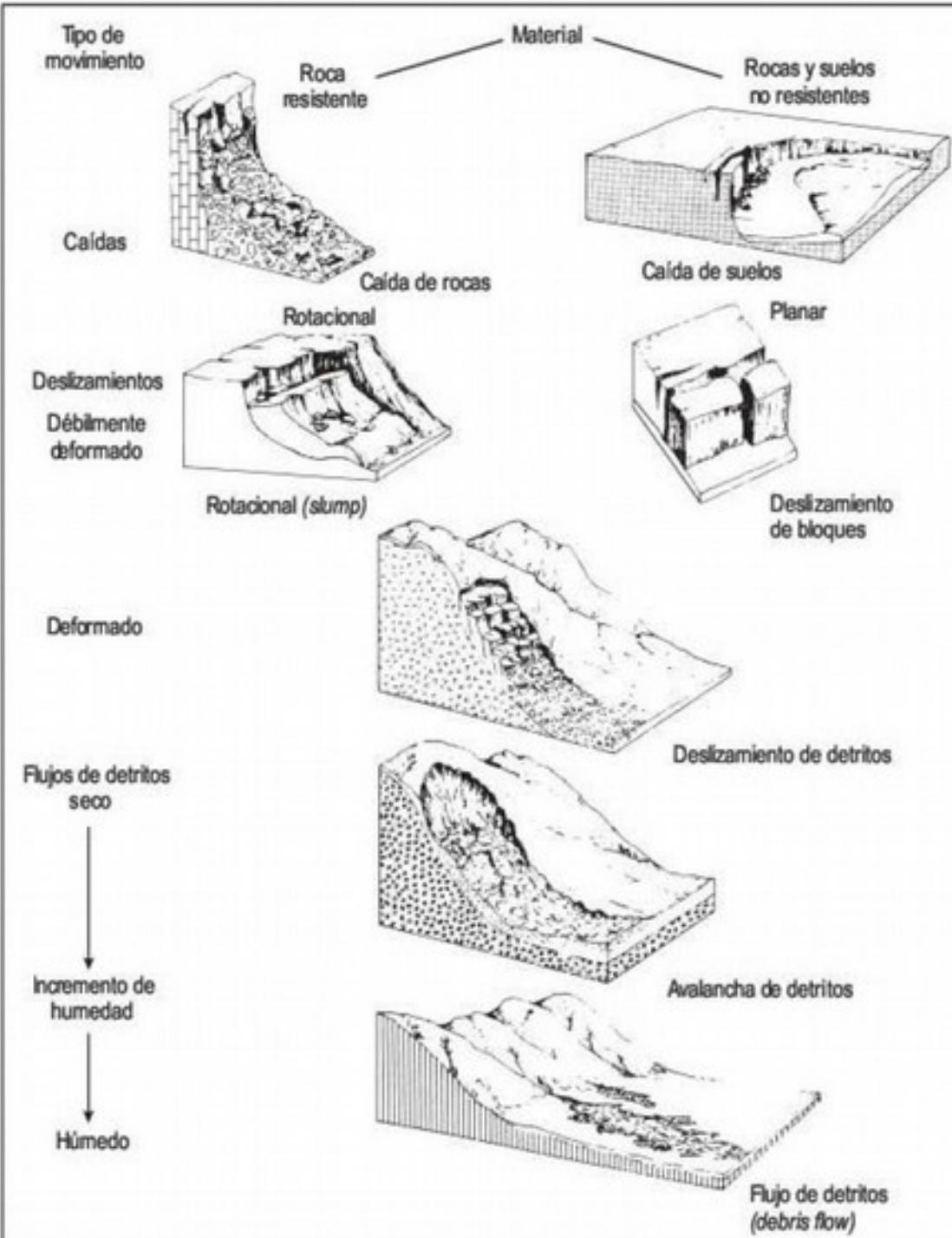


**FIGURA 7.6** Principales tipos de movimientos en masa, según la clasificación de Varnes (1958).

Cuadro 6.1. Ejemplo de clasificaciones para los movimientos gravitacionales (en Selby, 1982); según Sharpe (1983), izquierda; y Varnes (1975), derecha.



| TIPO DE MOVIMIENTO         |                               | TIPO DE MATERIAL               |      |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|
| Roca (sustrato)            | Suelo (formación superficial) | grueso                         | fino |
| caída                      |                               | EN ROCA                        |      |
| vuelco (topple)            |                               | EN DERRUBIOS                   |      |
| deslizamiento              | rotacional (slump)            | unidades pequeñas              |      |
|                            | traslacional                  | unidades grandes               |      |
| expansión lateral          |                               | EN TIERRAS                     |      |
| flujo<br>reptación (creep) |                               |                                |      |
| complejo                   |                               | combinación de dos o más tipos |      |

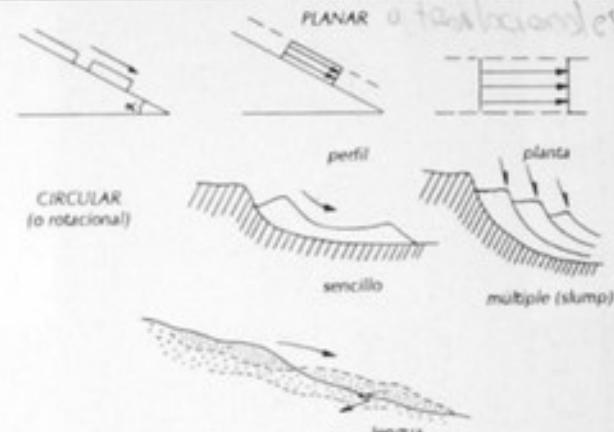
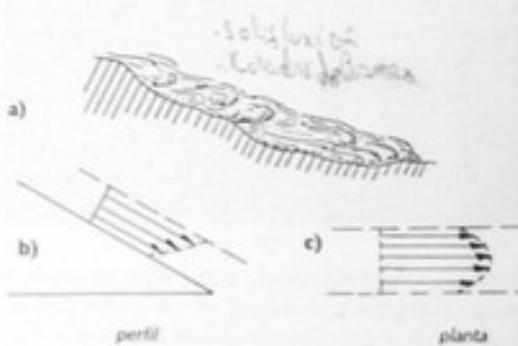
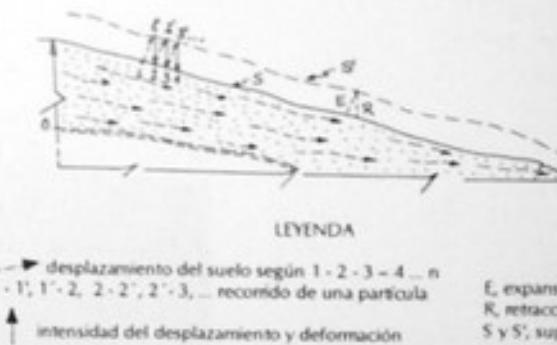


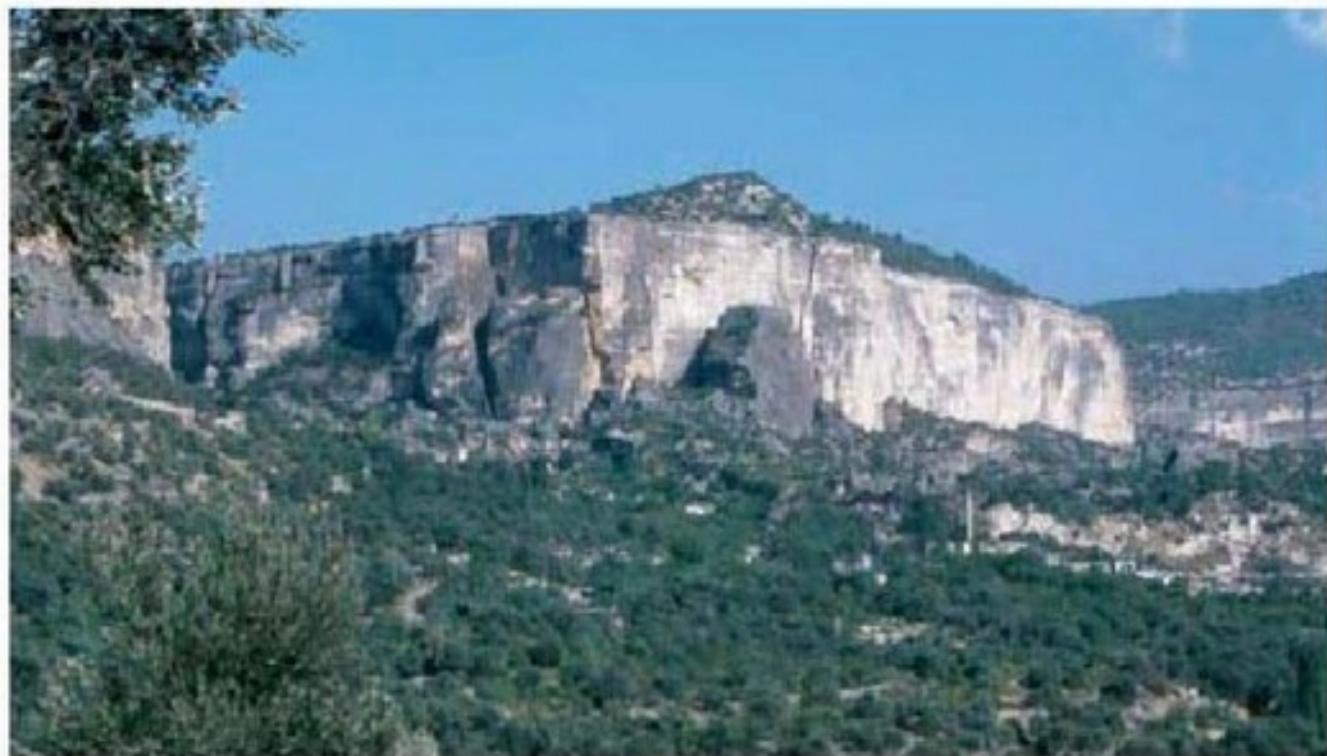
**FIGURA 7.6** Principales tipos de movimientos en masa, según la clasificación de Varnes (1958).

Cuadro 6.2. Tipos de fenómenos gravitacionales.

| TIPO       | CAÍDA             | OCCURRENCIA    | DEFORMACIÓN   | VOLUMEN RELATIVO MOVILIZADO   | VARIACIONES ESTACIONALES   | MATERIAL DE ORIGEN  | MORFOLOGÍA  | NÚMERO             |
|------------|-------------------|----------------|---------------|---|--|---|---|--------------------|
| REPTACIÓN  | FLUJO             | DESLIZAMIENTO  | ALEATORIEDAD  |   |  |   |   |                    |
| muy lenta  | lenta a muy lenta | rápida a media | + instantánea | ninguna, si bien los bloques pueden fragmentarse por el impacto final   | escaso, incluso mínimo, al producirse bloque a bloque, gránulo a gránulo, etc. | cualquiera desagregable en fragmentos, bloques y detritos (tipo: roca coherente muy fisurada)                                     | acumulaciones caóticas de pie de escape (bloques, cantos, y similares)          | A 1                |
| muy baja   | baja a muy baja   | media-baja     | alta          | variable según la morfología del sustrato soporte                       | apreciable   | le afectan de forma irregular, según ciclos de helada   | ninguna en concreto, aunque aparezcan superficies recientes o escalones en roca | B 2                |
| baja-media |                   | media-alta     | alta          | ninguna, si bien los bloques pueden fragmentarse por el impacto final   |  | cualquiera desagregable en fragmentos y detritos (tipo: roca detritica, heterogranular y poco compactada)                         | lenguas de derrubios  | A 3                |
|            |                   |                | total         | variable según la morfología del sustrato soporte y el tipo de material | grande   | le afectan de forma irregular, según ciclos de helada y de humedad  | acumulaciones de cuñas o bloques  | B 4                |
|            |                   |                |               | muy alta  | grande o muy grande (todo el suelo)  | le afectan de forma regular, por el grado de humedad  | cicatriz en escalones (según la estructura)                                     | bloques caóticos   |
|            |                   |                |               | total   | muy grande   | cualquiera que contenga matriz detritica fina o muy fina (tipo: formación superficial, detritica no consolidada y poco permeable) | cicatriz característica (en general, tendiente subhemisférica)                  | lengua de material |
|            |                   |                |               |   | dependen de este tipo de variaciones   | cualquiera en la que domine la fracción detritica fina o muy fina (tipo: formación superficial limo-arcillosas)                   | lengua bien definida con lóbulos de deformación                                 | 3                  |
|            |                   |                |               |   |  | a veces imperceptible, salvo por lóbulos de deformación   |   | 4                  |

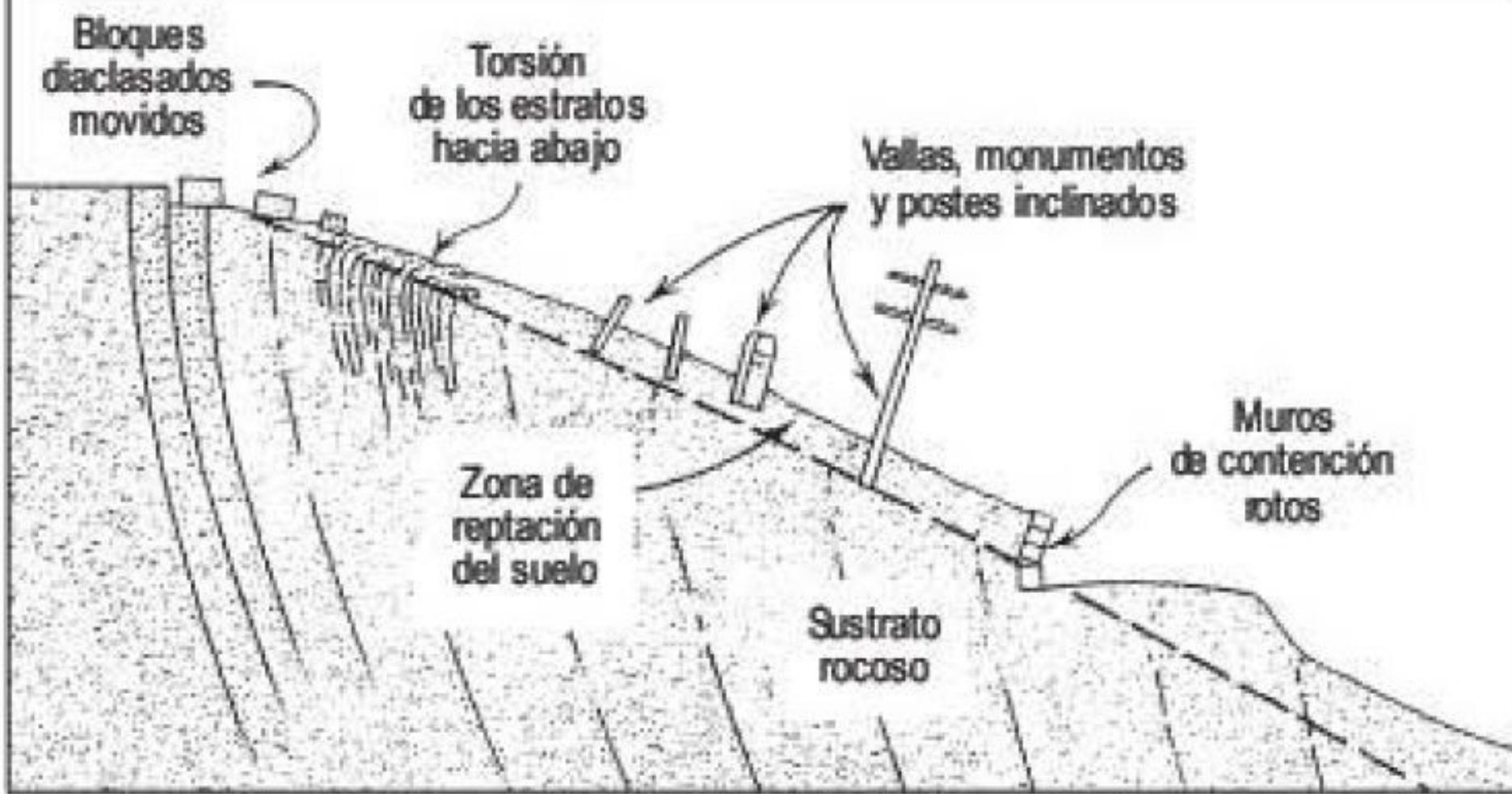
| TIPO                                      | NÚMERO  | CARACTERÍSTICAS   |
|---|---|---|
| CAÍDA                                     | A<br>VARIANTES  | REFERENCIAL<br><br>Caída libre de bloques, cantos, granos, etc., individualizados y sin contacto alguno con el sustrato. <b>Desprendimiento</b> . |
|   |   | Caída de bloques, gránulos, partículas, por zapamiento. <b>Desplome</b> .   |
|   |   | <b>Desplome con vuelco (slab)</b> de bloques o losas.   |
|   |   | <b>Vuelco (toppling)</b> de losas (estratos).   |
|   | B<br>TRANSICIÓN AL DESLIZAMIENTO<br><br>Desprendimiento masivo de material suelto. <b>Avalancha</b> de rocas, tierras, etc. (en seco o semiseco). |   |
| Desplome en cuña de material consolidado. |   |   |

| TIPO          | NÚMERO | CARACTERÍSTICAS  |
|---------------|--------|--|
| DESLIZAMIENTO | A      | <p>REFERENCIAL</p> <p>Fragmento o porción de roca individualizada en bloques, que se desplazan sobre una superficie soporte o guía y mantienen sus constantes geométricas.</p>    |
|               | B      | <p>TRANSICIÓN</p> <p>Porción de roca formada por gránulos, granos y partículas, que se desplazan en conjunto e individualizados respecto a otras masas rocosas utilizadas como soporte. No mantienen ninguna constante geométrica (<b>avalanchas en masa</b>) o sólo la externa (<b>lengua de avalancha</b>).</p> <p>La distinción entre deslizamientos de material con granulometría fina (arena muy fina, limo y arcilla) poco o nada compactado y el flujo, suele ser difícil. El criterio más utilizado valora el grado de humedad que contengan los materiales: un movimiento en seco se considera <b>avalancha de tierra</b>, y en húmedo (comportamiento seudoplástico tipo colada de barro) <b>lengua de flujo</b>; por lo general, deslizamiento y flujo van unidos frecuentemente en un mismo fenómeno (ver figura 6.5).</p> |
| FLUJO         | 3      | <p>REFERENCIAL</p> <p>Material arcilloso o arenoso-arcilloso poco consolidado, con planos de despegue y alto contenido en humedad entre esos planos. Aparecen múltiples superficies internas de deslizamiento (a), como consecuencia de las velocidades diferenciales entre base y techo (b) o centro y paredes (c). Esto hace perder las constantes geométricas al conjunto.</p>    |
| REPTACIÓN     | 4      | <p>REFERENCIAL</p> <p>Flujo de todo el suelo según un fenómeno rítmico, estacional o diario, por variaciones húmedo-seco o hielo-deshielo que corren expandión-retracción.</p> <p>Se consideran otras modalidades de <b>reptación</b> o <b>seudorreptación</b>, provocadas por: readjuste de material en derrumbes, presión confinante de una masa de roca sobre otra (<b>reptación continua</b>) y actividad biológica (<b>reptación fortuita</b>).</p>  <p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>desplazamiento del suelo según 1 - 2 - 3 - 4 ... n</li> <li>1 - 1', 1' - 2, 2 - 2', 2' - 3, ... recorrido de una partícula</li> <li>E, expansión</li> <li>R, retracción</li> <li>S y S', superficie</li> </ul>                    |

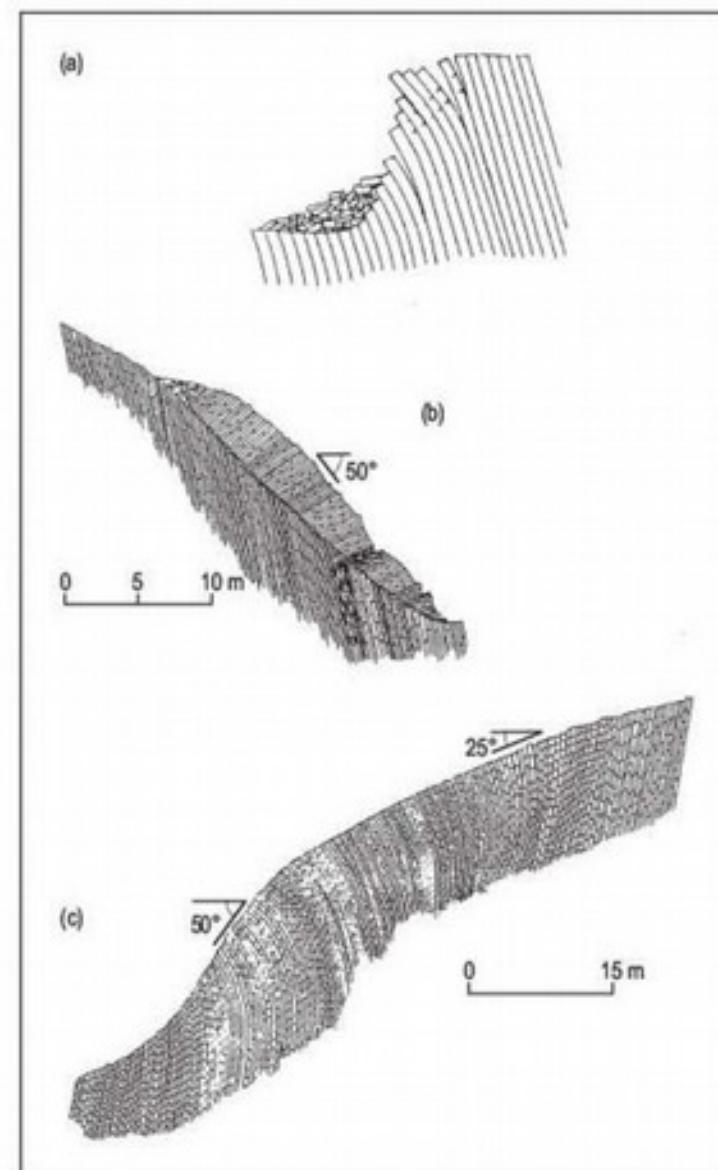


**FIGURA 7.11**

Desprendimiento de rocas.  
Götsu Canyon. Turquía. Foto  
F. Gutiérrez.



**FIGURA 7.8** Creep que afecta a la parte superior de la ladera. Se pone en evidencia por la deformación de diferentes objetos (Sharpe, 1938).



**FIGURA 7.14** Tres tipos de vuelcos. (a) *Por flexión*: las grietas indican vuelco por tensión; los bloques caídos indican que el movimiento es complejo (vuelco de rocas y desprendimiento de rocas). (b) *En chevron*: vuelco de múltiples bloques; la superficie de chamela del chevron puede desarrollarse en una superficie de rotura de deslizamiento formando un deslizamiento complejo de vuelco y deslizamiento. (c) *Por bloques flexionados* (Cruden y Varnes, 1996).

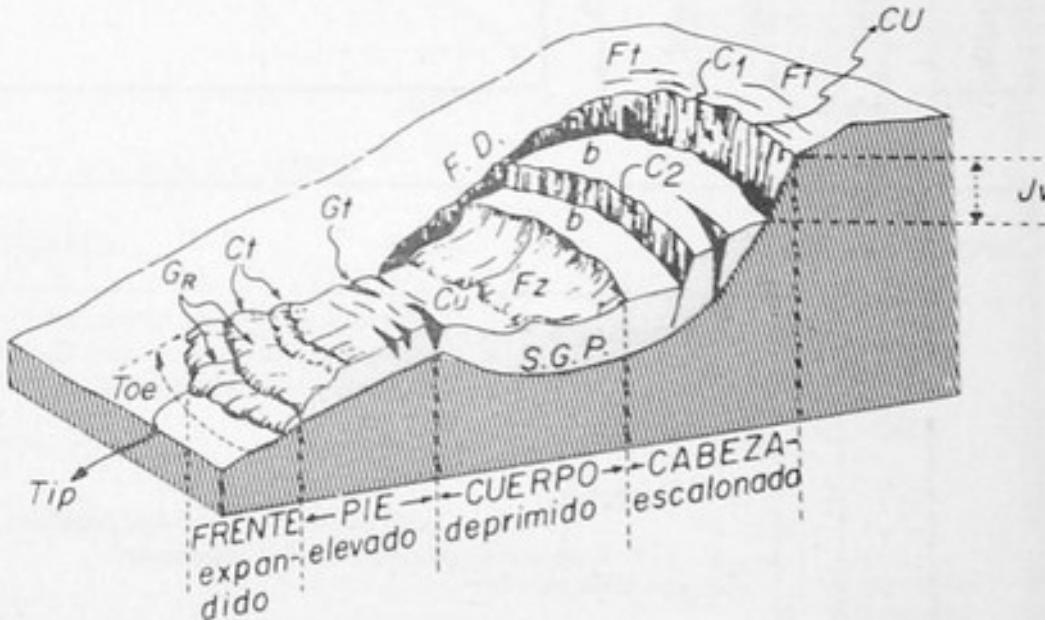


Figura 6.5. Modelo de Varnes (1958) para movimientos gravitacionales complejos, donde se asocian deslizamientos en la zona superior (cabecera) con flujo en la inferior (pie).

Leyenda: CU, culminación o coronación; Ft, fisuras de tensión; C1, escarpe principal; C2, escarpe secundario; b, bloques o compartimentos escalonados, pueden aparecer pequeños *grabens*; S.G.P., superficie de rotura o deslizamiento principal, pudiendo aparecer otras secundarias o subordinadas; Fz, zona de fallas longitudinales; Cu, cubetas y pequeñas depresiones; F.D., flanco derecho; Gt, grietas transversas; GR, grietas radiales; Ct, crestas o cordones transversales; Tip, punta o extremo más avanzado; Toe, puntera o dedos del frente; Jv, juego vertical.

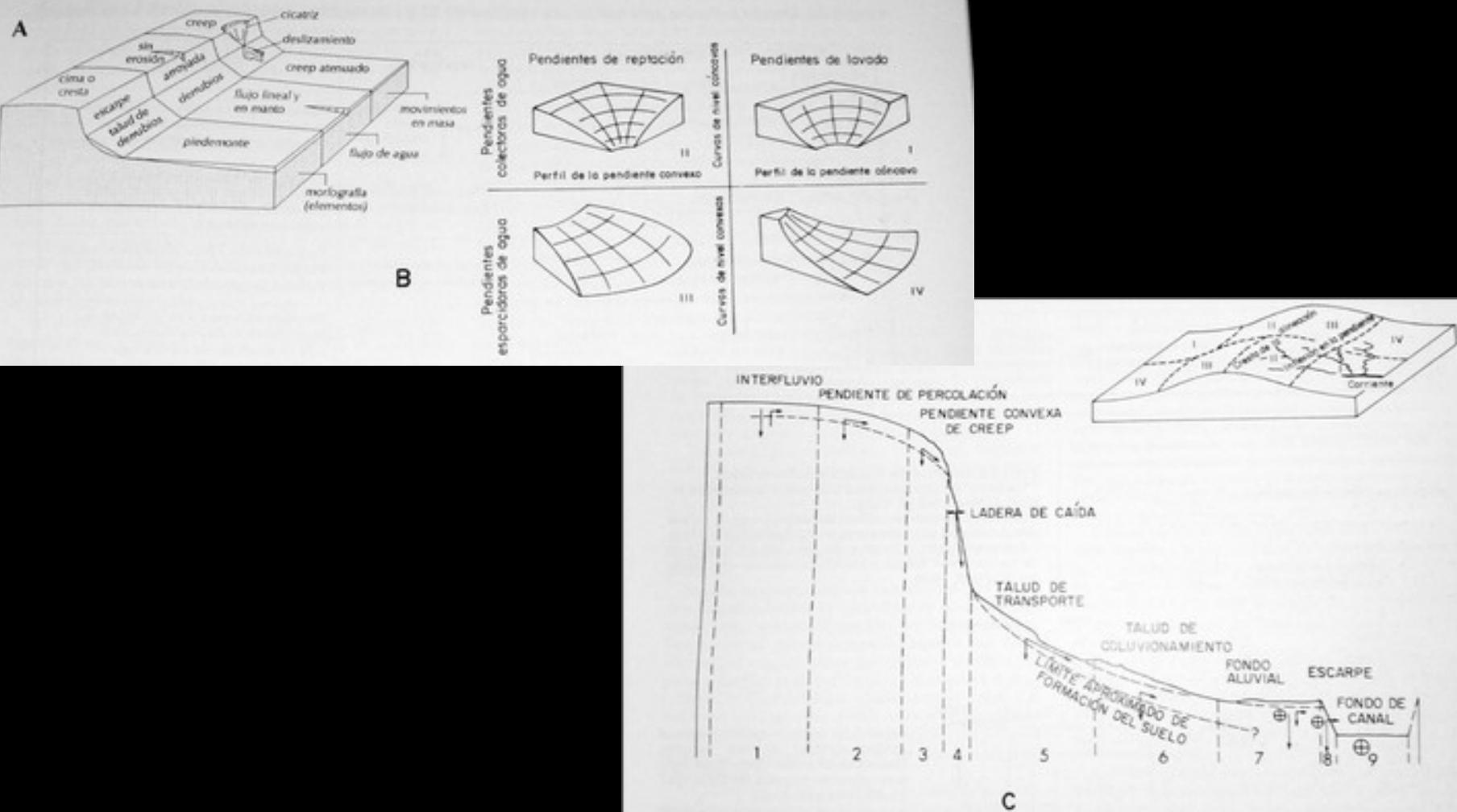
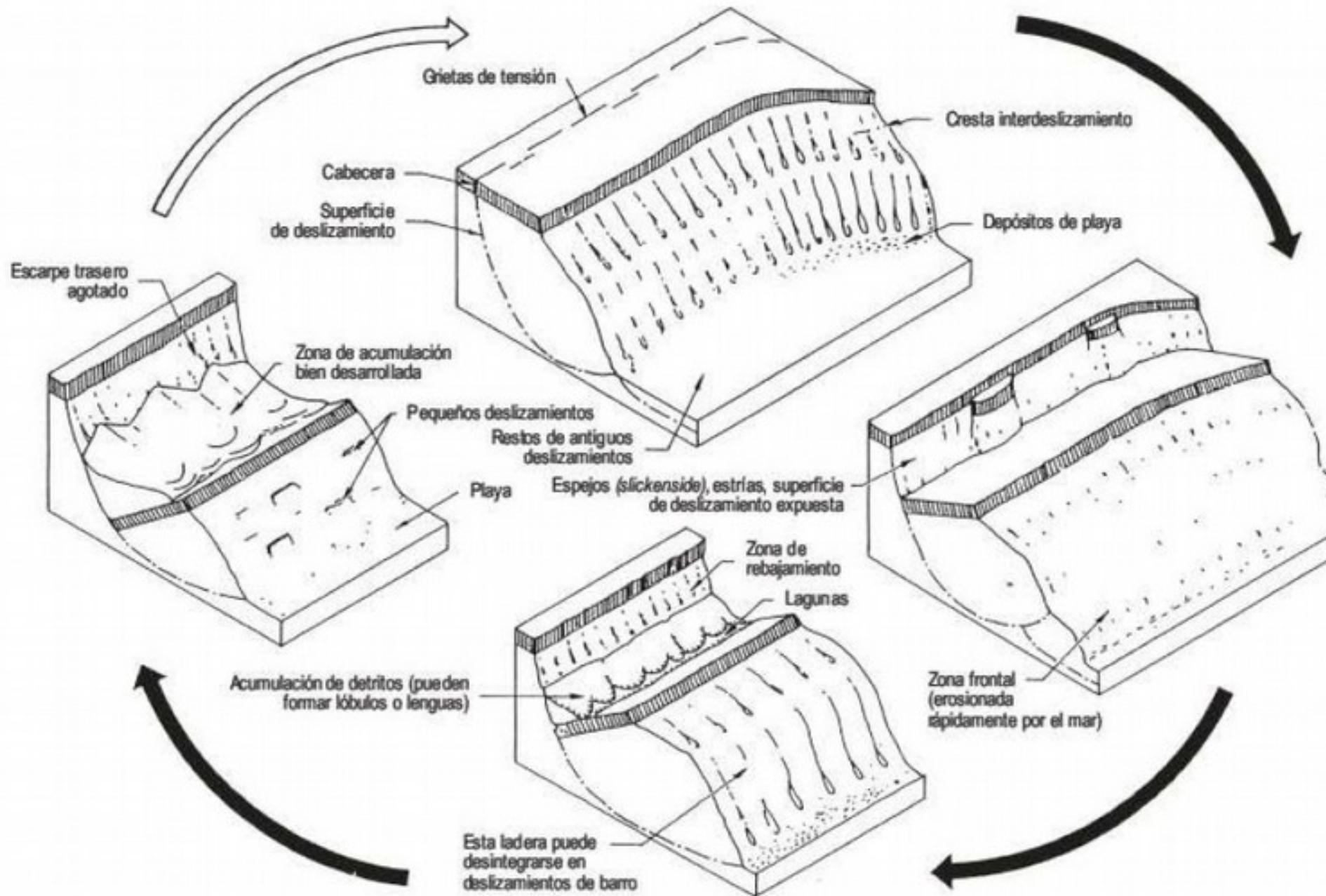


Figura 6.8. Clasificación funcional de la vertiente.

A) En base a su organización morfológico-proceso (L.C. King, 1962; ref. 1967).

B) Teniendo en cuenta su carácter hidrológico (Troeh, 1965).

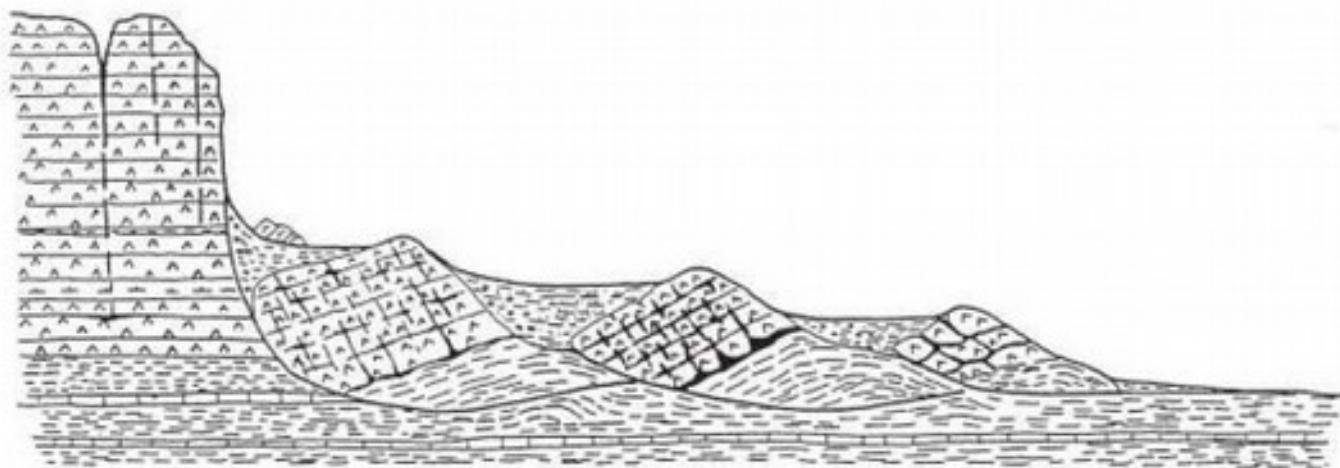
C) Según la relación pendiente-procesos (Dalympyle et al., 1968): 1, edafogénesis asociada a las aguas subterráneas; 2, eluvación química y mecánica por el movimiento lateral de agua; 3, fenómenos de creep en el suelo, terrazas; 4, caídas, deslizamientos, meteoritos, acción de aguas subsuperficiales; 5, transporte por movimientos en masa o gravitacionales (flujo, creep, deslizamiento, slump), formación de masa, lavado, conos y abanicos de descarga, creep y acción de las aguas subsuperficiales; 6, estabilización más o menos permanente del material originado por movimientos en aguas superficiales; 7, depósitos aluviales, acción de lavado por aguas superficiales; 8, fenómenos de caída, corrosión, derrumbe por zapamiento, etc.; 9, transporte y erosión por la acción de las aguas superficiales, agrandamiento alternando con erosión. Las flechas indican el movimiento del material y la intensidad relativa del mismo. En los tramos inferiores, ⊕ indica el efecto de arena debida a las aguas encauzadas.



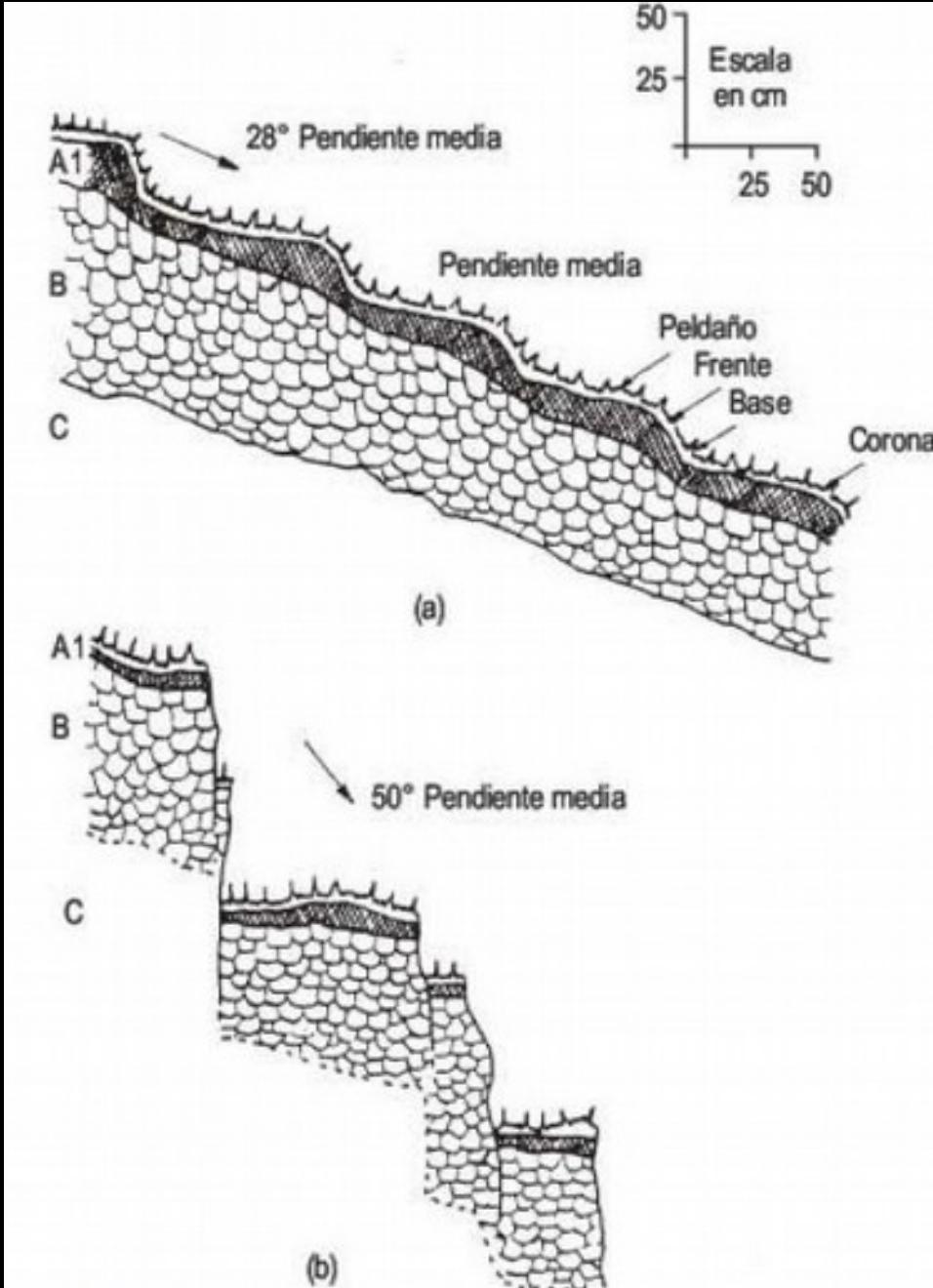
**FIGURA 7.15** Bloques diagrama que ilustran el ciclo de desarrollo de los deslizamientos rotacionales originados en un acantilado marino (Bromhead, 1979).



**FIGURA 7.17** Deslizamiento rotacional múltiple en materiales yesíferos. Alfajarín. Provincia de Zaragoza. España.



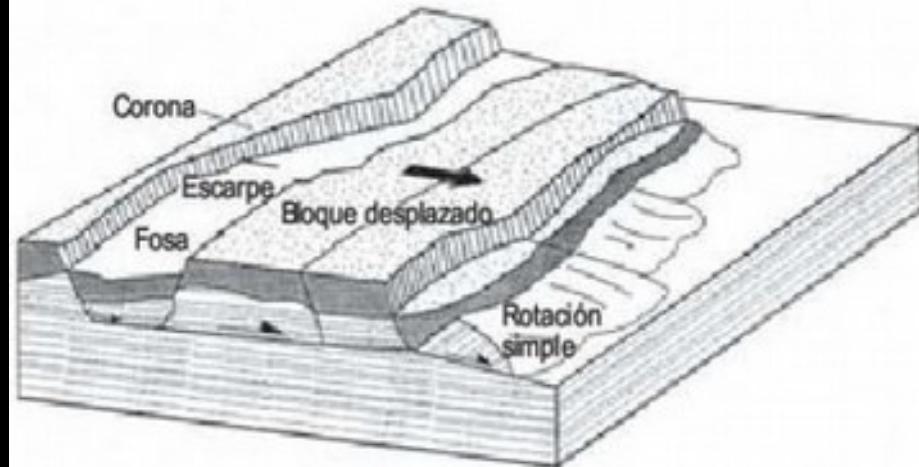
**FIGURA 7.18** Deslizamientos rotacionales múltiples en yesos, en los que la base arcillosa facilita el deslizamiento. Obsérvense los rellenos cuaternarios de las áreas de contrapendiente y un bloque deslizado sobre un relleno. Escarpe de Alfajarín. Provincia de Zaragoza. España. (Gutiérrez *et al.*, 1994).



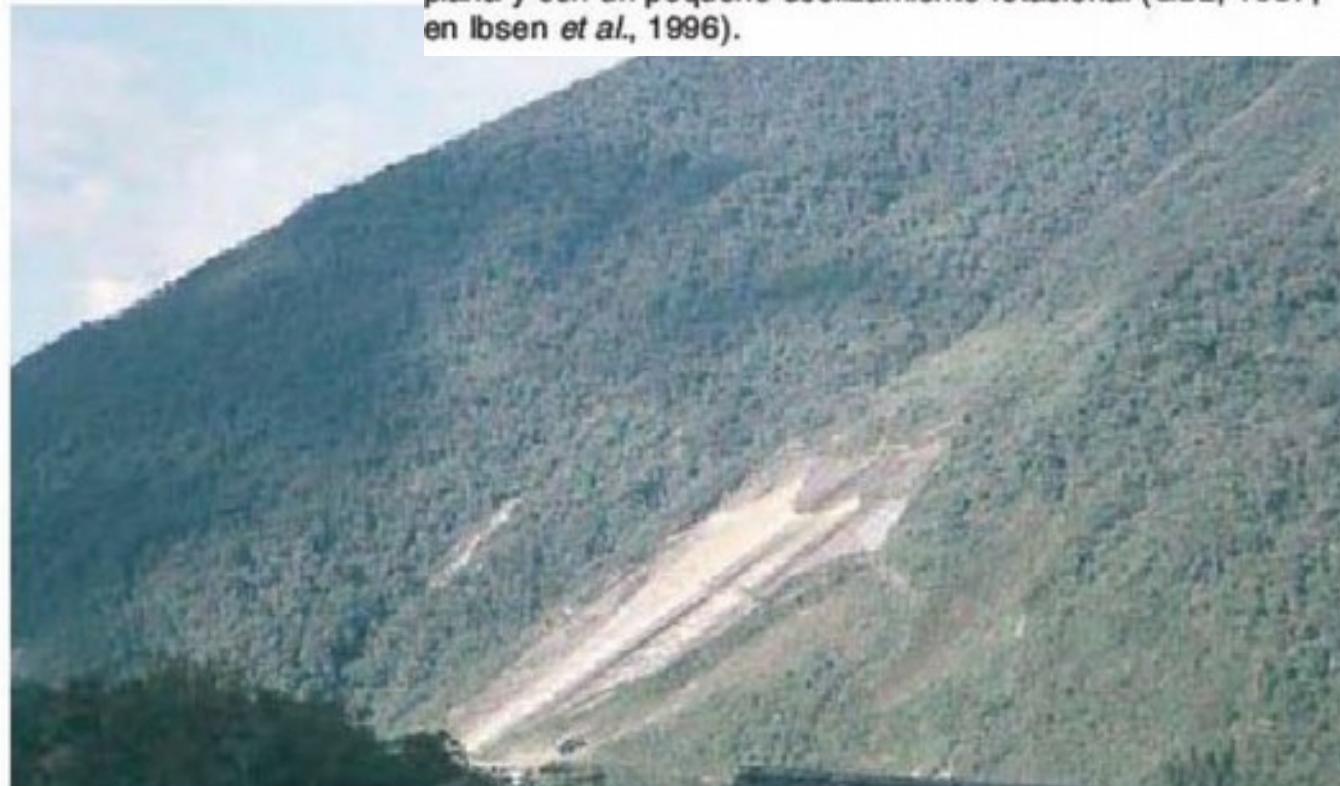
**FIGURA 7.19** Esquemas de *terracettes* de bajo y gran ángulo (Selby, 1993).

## Deslizamientos translacionales

- De bloques
- Rocosos
- De suelos y detritos
- De detritos
- Coladas de barro



**FIGURA 7.20** Bloque diagrama de un típico deslizamiento de bloques con rotura sobre una superficie aproximadamente plana y con un pequeño deslizamiento rotacional (GSL, 1987; en Ibsen *et al.*, 1996).



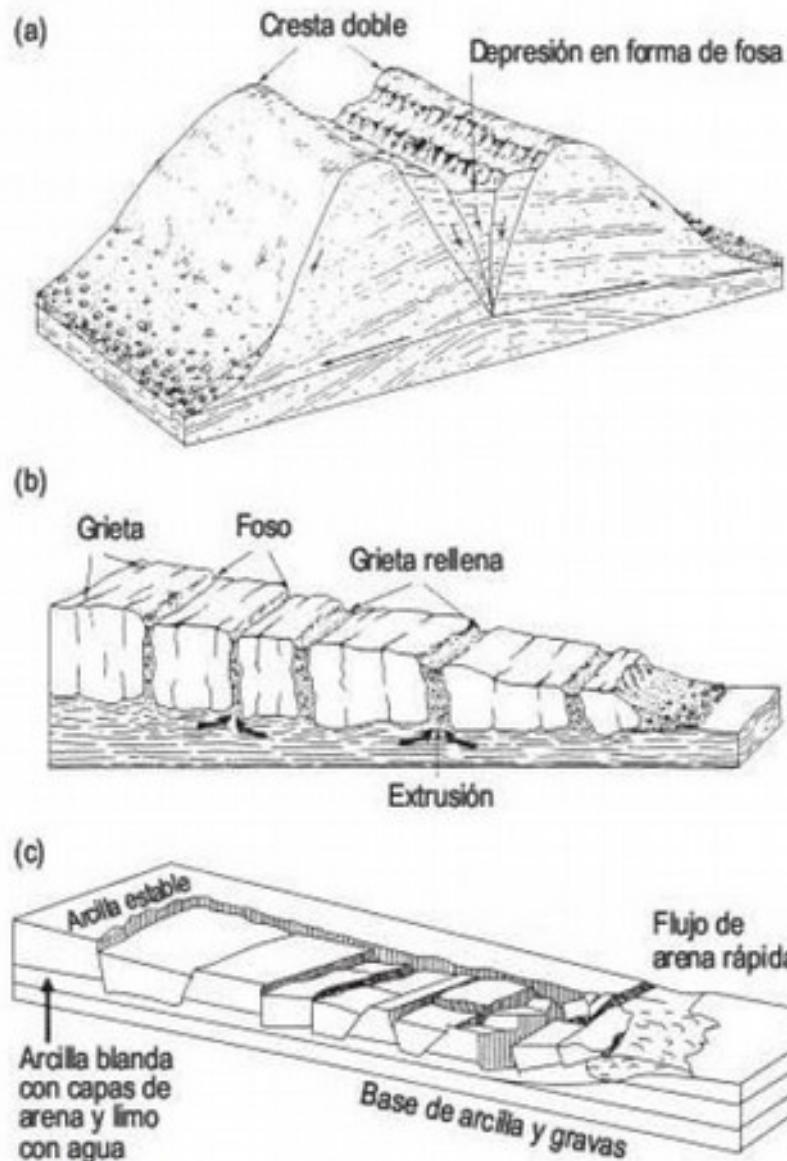
**FIGURA 7.23** Deslizamiento translacional rocoso que afectó a la carretera de Cochabamba a Santa Cruz (centro de Bolivia). El riesgo de nuevos deslizamientos se solucionó mediante la perforación de un túnel. Foto M. C. Maldonado.







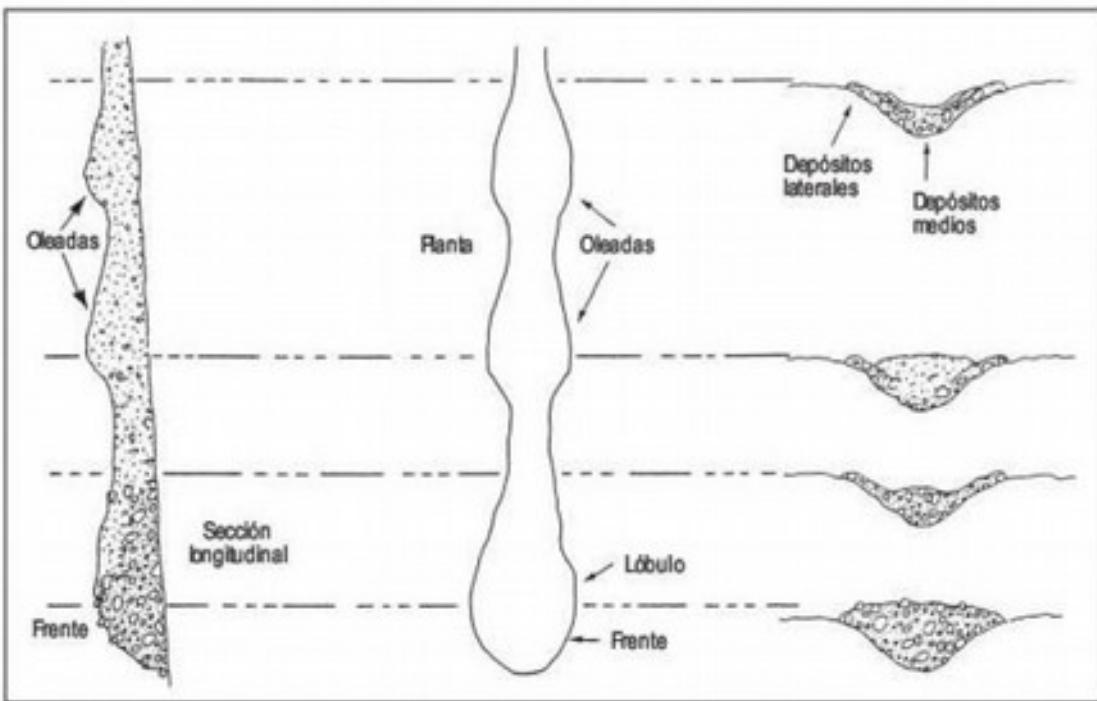
**FIGURA 7.25** Deslizamientos de detritos sobre fuertes pendientes en la Cordillera Central de los Andes, que afectan al trazado del ferrocarril entre San Lorenzo e Ibarra. Ecuador.  
Foto F. Gutiérrez.



**FIGURA 7.27** Bloques diagramas que indican (a) extensión lateral en una masa rocosa homogénea, (b) extensiones de formaciones cohesivas frágiles sobre materiales dúctiles (Pasuto y Soldati, 1996), y (c) extensión lateral con roturas en arena fina y limo (Varnes, 1978).



**FIGURA 7.31** Debris flow con lobulaciones, emplazado sobre un cono de derrubios de grandes dimensiones. Ibón de Plan. Pirineo aragonés. Foto P. Lucha.



**FIGURA 7.32** Esquema de un *debris flow* lobulado en el que se indican las olas de detritos y los depósitos laterales y medios (Johnson y Rodine, 1984).



**FIGURA 7.33** Contacto por falla entre depósitos de *debris flow*, a la izquierda de la fotografía, y sedimentos fluviales estratificados, a la derecha. Abanicos aluviales pleistocenos en río Blanco. Precordillera de los Andes. Provincia de Mendoza. Argentina.

Cuadro 6.4. Ejemplos indicativos básicos para la identificación y medida de fenómenos gravitacionales.

| FENÓMENO                    | OBSERVACIONES Y TÉCNICAS DE MEDIDA   |   |
|-----------------------------|--|---|
|                             | GENERALES  | ESPECÍFICAS   |
| Caída                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control topográfico del área afectada:           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis en planta de geometrías características en las isohipsas (cicatrices y escarpes de cabecera, lóbulos, lengüas, acumulaciones).</li> <li>• Realización de perfiles morfométricos seriados y seguimiento de las modificaciones geométricas (retroceso de escarpes y avances de frentes de acumulación).</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fenómeno difícil de observar, pero reconocible por sus resultados: derrubios a pie de escarpe sin apenas vegetación; cortados rocosos con tonalidad original de la roca fresca, al encontrarse poco meteorizados y sin colonizar; paredes en extraplomo muy agrietadas e inestables.</li> <li>- Señalización y control de los escarpes de caída.</li> </ul>  |
| Avalancha de rocas          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilización de cartografías y documentos históricos (testimonios, grabados, crónicas de catástrofes, mapas) con objeto de identificar fenómenos e inferir tasas de actividad (retrocesos, acumulaciones y atenamientos).</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- En áreas montañosas, los derrubios procedentes de estos fenómenos se agrupan como corredores en fondos de valles y vaguadas.</li> <li>- La cabecera de la zona de avalancha aparece con aspecto «descamado» y desprovista de vegetación.</li> <li>- Puede observarse a pequeña escala en taludes rocosos.</li> </ul>   |
| Deslizamiento               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de fotografías aéreas (oblicuas o pares estereoscópicos verticales) e imágenes de satélite de alta resolución espacial, para la localización y seguimiento multitemporal.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- En cabecera aparece una coronación con cicatrices de arranque.</li> <li>- En la masa deslizada se reconocen grietas, bloques individualizados y girados, pequeños replanos, concentraciones de humedad y vegetación hidrófila.</li> </ul>  |
| Avalancha de tierra         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de las afecciones (grietas, basculamientos y subsidencias diferenciales, desalinaciones) a puntos de control preexistentes: edificios, vías de comunicación, muros, bancales, tendidos y postes, árboles, etc.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las acumulaciones presentan grandes lengüas desprovistas de vegetación, ocupando valles, vaguadas o zonas deprimidas.</li> <li>- La zona origen aparece también «descamada» con cicatrices de despegue, abundante material fino suelto y microdepresiones.</li> </ul>  |
| Flujo (avalancha en húmedo) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación de controles de actividad, frecuencia y velocidad del movimiento: elementos referenciales ubicados dentro y fuera del conjunto móvil (estacas, clavos, hilos, etc.) y marcados y señalizaciones con pintura (en áreas, líneas o bloques).</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- En la cabecera hay pequeñas cicatrices de despegue y microdepresiones.</li> <li>- La lengua tiene un perfil ligeramente ondulado. Presencia de suelos y vegetación hidrófila en su contorno.</li> </ul>  |
| Soliflucción                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control telemétrico o fotográfico de elementos referenciales.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es característico el lobulado de la superficie, apareciendo pequeños replanos transversales a la dirección del movimiento.</li> <li>- Presencia de manantiales, surgencias y zonas encharcadas en la masa que desliza (sobre todo en su contorno).</li> <li>- Vegetación hidrófila que permanece verde todo el año; formaciones y especies características, que tienen su reflejo en tonos más oscuros sobre la fotografía aérea.</li> </ul> |
| Replación o creep           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empleo de modelos de simulación, bien matemáticos dividiendo el área en celdas y estudiando su movimiento relativo (distribuidos), bien físicos a escala.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducción de varillas flexibles en el suelo para comprobar la magnitud del movimiento a partir de su deformación.</li> <li>- Encorvamiento anómalo del arbolado y elongación de los anillos de crecimiento.</li> <li>- Microfracturas y ondulaciones en el suelo.</li> </ul>  |

# TÉCNICAS DE ANÁLISIS

- Para el monitoreo de este tipo de fenómenos, se emplean distintas técnicas
- Las geodésicas incluyen la colocación de receptores GPS, o utilizando teodolitos y estaciones totales
- La teledetección tradicionalmente ha sido un apoyo fundamental en este tipo de estudio, técnica que incluye las siguientes fuentes:
  - Imágenes de satélite ópticas (radiancia, reflectancia) capturadas por sensores montados en plataformas espaciales (Landsat, SPOT, ASTER, entre otras)
  - Fotografías aéreas o basadas en tierra (oblicuas), analizadas mediante fotogrametría/fotointerpretación
  - Imágenes de interferometría RADAR (InSAR), tanto basadas en tierra como espaciales
  - Imágenes láser (LIDAR), capturadas mediante sensores aerotransportados y desde tierra.

# TÉCNICAS DE ANÁLISIS

- Cada una tiene sus ventajas e inconvenientes. La geodesia es bastante precisa, pero el territorio estudiado suele ser pequeño
- InSAR y LIDAR son tecnologías costosas o con una resolución temporal y espacial limitada para este tipo de fenómenos
- La información de altura que puede derivarse de las imágenes de satélite ópticas convencionales suele ser de baja resolución

# TÉCNICAS DE ANÁLISIS

- La fotogrametría generalmente resuelve estas limitaciones, aunque en muchos territorios no existe más que un vuelo, o la escala de captura es limitada. Afortunadamente, en muchos territorios existen al menos 2 vuelos fotogramétricos de escala detallada
- Cuando la frecuencia de vuelos fotogramétricos es alta, se pueden elaborar mapas geomorfológicos detallados sobre la evolución del fenómeno, aumentando así la resolución de información disponible

Use of digital photogrammetry for the study of  
unstable slopes in urban areas: Case study of the  
El Biar landslide, Algiers

Abdallah Laribi<sup>1</sup>, Jan Walstra<sup>2</sup>, Moussa Ougrine<sup>3</sup>, Ahcène Seridi<sup>4</sup>, Noureddine Dechemi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Construction et Environnement, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie  
(abdallah.laribi@enp.edu.dz ; ndechemi@yahoo.fr)

<sup>2</sup>Geological Survey of Belgium, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels, Belgium  
(jwalstra@naturalsciences.be)

<sup>3</sup>Département de Photogrammétrie, Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), Alger,  
Algérie  
(ougrinem@yahoo.fr)

<sup>4</sup>Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université M'Hamed Bougara, Boumerdès, Algérie  
(a.seridi@yahoo.fr)

## Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models

C.J. van Westen\*, F. Lulie Getahun

International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, ITCPO, Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands

Received 28 July 2000; received in revised form 15 February 2001; accepted 3 January 2003

### Abstract

Evolution of the Tessina landslide near Belluno, Italy, from 1954 to the present situation has been documented using multitemporal landslide maps. The maps were produced through the interpretation of sequential aerial photographs and direct field-mapping of the landslide in 1998 and 1999. The interpretations were converted to large-scale multitemporal topographical maps and digitized, resulting in detailed geomorphological maps of the Tessina landslide for the following periods: 1954, 1961, 1969, 1980, 1991, 1993, 1998 and 1999. A quantitative volumetric analysis was also carried out using a series of digital elevation models derived from the available 1:5000 scale digital contour maps with 5-m contour interval for 1948, 1964, 1980, 1991 and 1993. The total volume of material removed and accumulated was calculated for the entire Tessina landslide for the different time steps available. Results indicate that the Tessina landslide existed prior to its main reactivation in 1960, after which the landslide reduced in activity. From 1991, however, very large reactivations have taken place, and the landslide continues to be active. Although the landslide has reached the lateral boundaries of the old pre-1960 landslide, it is now expanding upslope where it may still mobilize large amounts of material.

© 2003 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

**Keywords:** Sequential analysis; Landslides; Digital elevation models; Geographic information systems; Airphoto interpretation

### 1. Introduction

The Tessina landslide, located in the Alpago area near the city of Belluno in Northeastern Italy (Fig. 1), was triggered on 30 October 1960 by a rotational slide following a period with heavy rainfall (Mantovani et al., 2000). In the following 4 years, several reactivations took place leading to the formation of a mudflow in the downstream section, which eventually came to a standstill 600 m from the village of Lamosano (Avolio et al., 2000).

In April 1992, the villages of Funes and Lamosano, located in the downstream part of the Tessina landslide, were threatened to be inundated by the reactivated mudflow, resulting in the temporary evacuation of these villages (Pasuto et al., 1992). After the event, a monitoring and warning system for the Tessina landslide was implemented, with a measuring hut along the left lateral scarp and a number of measuring points located across the upper landslide area, using an automatic theodolite, wire extensometers, directional bars, echometers, piezometers, flow sensors and video cameras (Angeli et al., 1994). A concrete channel was constructed in Lamosano, equipped with a series of nozzles, through which water can be sprayed under

78

C.J. van Westen, F. Lulie Getahun / Geomorphology 54 (2003) 77–89

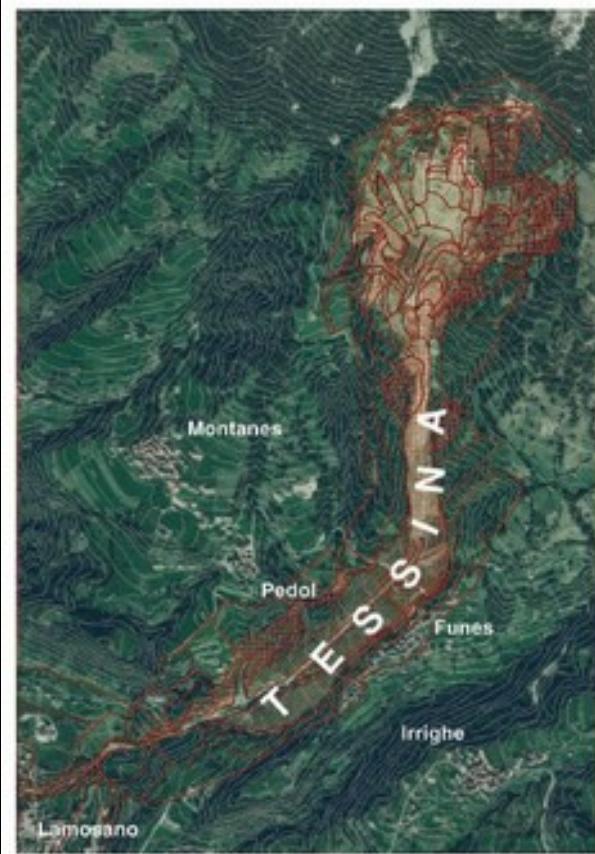


Fig. 1. Location map of Tessina landslide (bottom and middle right). Overview of the landslide area (left) and three-dimensional view of the Tessina landslide (upper right).

\* Corresponding author.

E-mail address: [wosten@ite.nl](mailto:wosten@ite.nl) (C.J. van Westen).















ESTRADA  
DE MANUTENÇÃO  
PORTO DO SEGURO

OESTE

ESTRADA  
DE MANUTENÇÃO  
PORTO DO SEGURO







# GOOGLE EARTH







HOME / UDOO BOLT V8

**UDOO BOLT V8****UDOO BOLT V3**

| Processor | Ryzen Embedded V1605B       | Ryzen Embedded V1202B       |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| CPU Cores | 4                           | 2                           |
| CPU Speed | 2.0GHz/3.6GHz               | 2.3GHz/3.2GHz               |
| GPU       | Radeon Vega 8 up to 1100MHz | Radeon Vega 3 up to 1000MHz |
| Price     | \$418                       | \$332                       |

**UDOO BOLT V8**

\$418.00 excl. TAX/VAT/SHIPPING



In stock

NEXT

Usually ships in 2-4 days

Almost twice as fast as the MacBook Pro 13", for VR, AR, and AI projects.



AMD Ryzen™ Embedded V1605B Quad Core/eight Thread @ 2.0ghz (3.6ghz Boost)



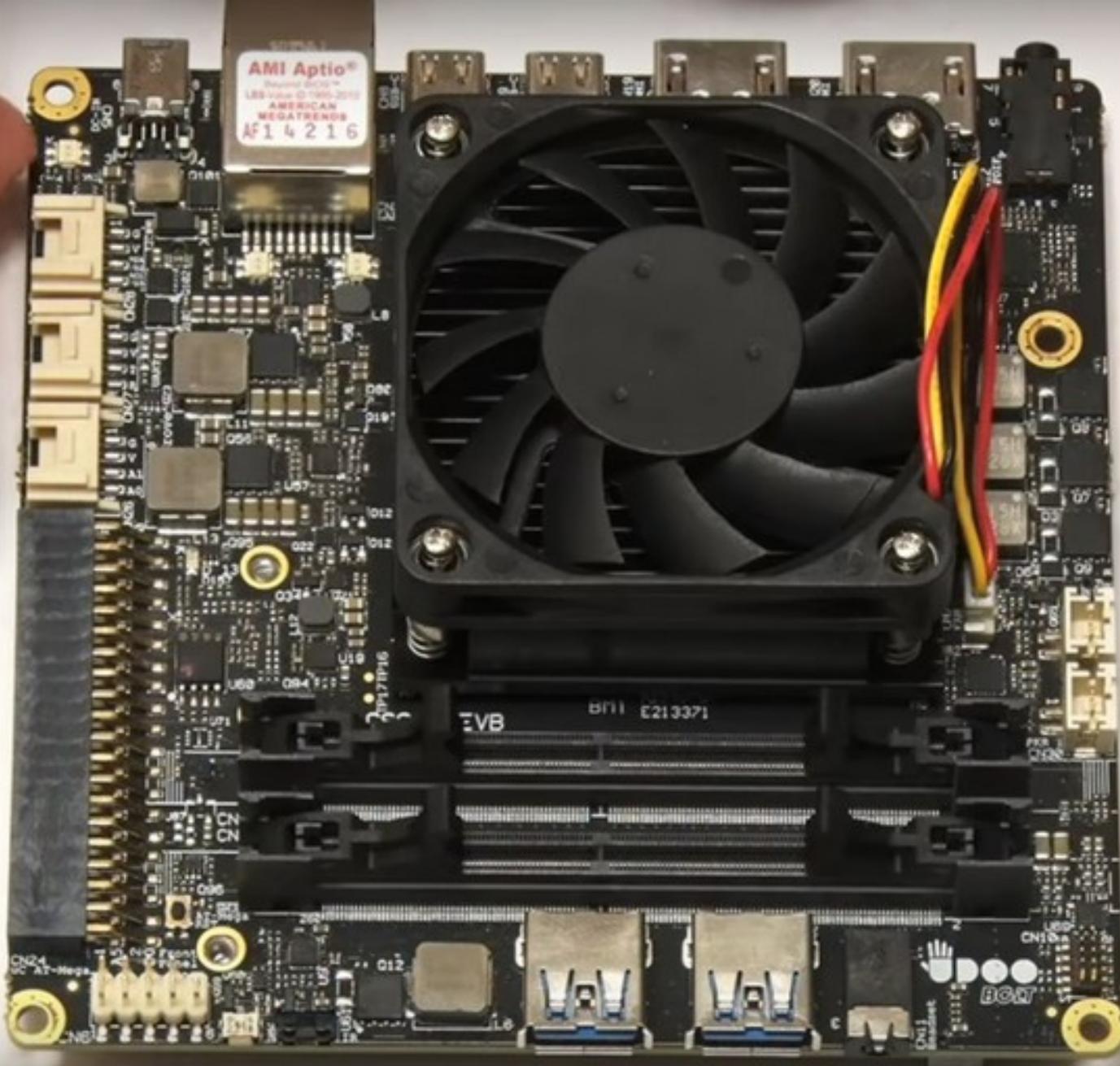
2x Ddr4 Dual-channel 64-bit So-dimm Sockets With Ecc Support Up To 32gb 2400 Mt/s

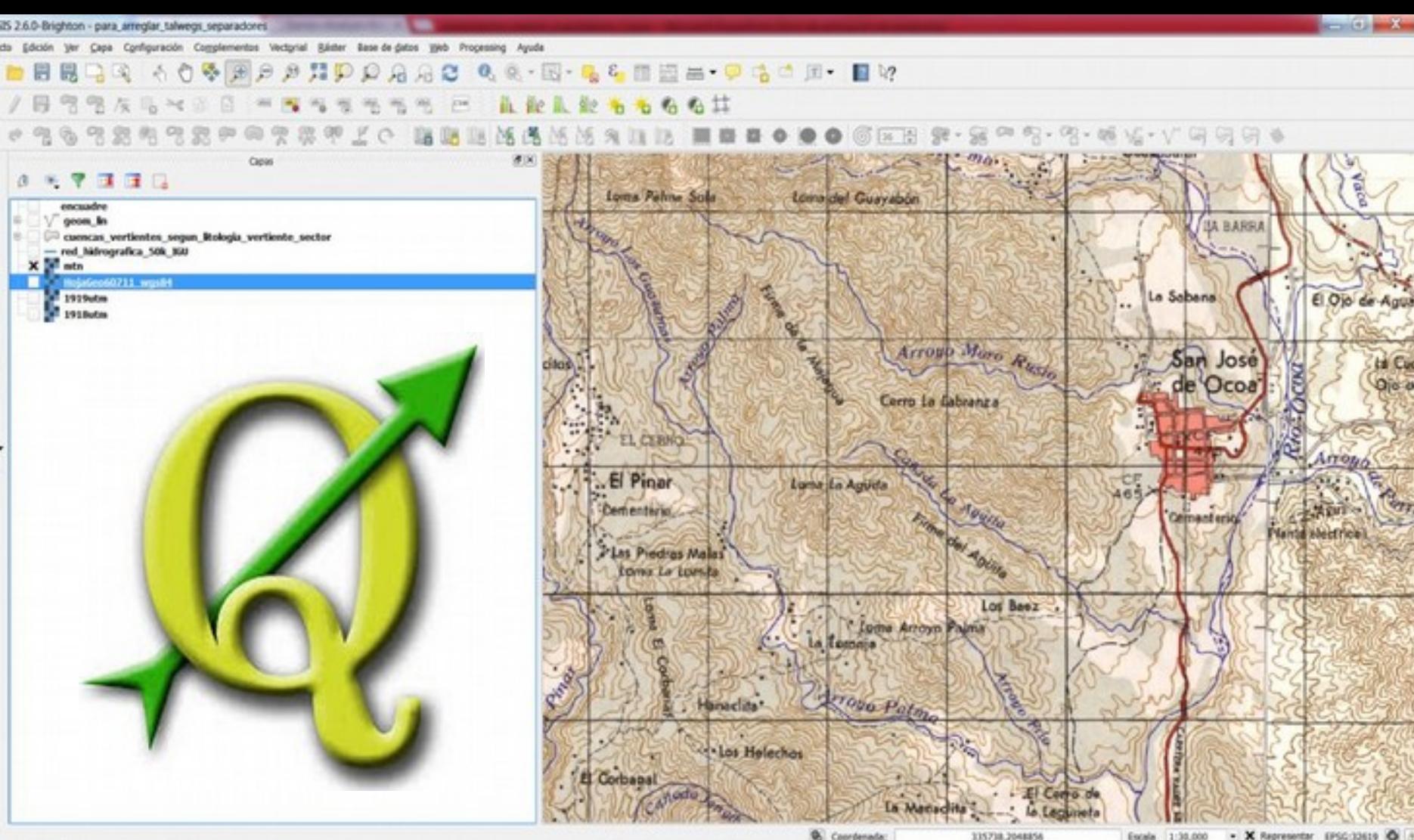


Amd Radeon™ Vega 8 Graphics (8 Gpu Cu)



32gb Emmc 5.0 High Speed Drive





GRASS GIS 7.4.0 startup



# GRASS GIS

Bringing advanced geospatial technologies to the world

1. Seleccionar directorio de base de datos de GRASS GIS

/home/jr/Documentos/grass/naranjal/GRASS\_TEMP

Explorar

Directorio de bases de datos de GRASS GIS que contiene Localizaciones.

2. Seleccionar Localización GRASS

file695b46c2df97

Nuevo

Renombrar

Borrar

Download

3. Seleccionar Directorio de mapas de GRASS

PERMANENT

Nuevo

Renombrar

Borrar

Todos los datos de una misma Localización están en el mismo sistema de coordenadas de referencia. Una Localización  
es similar a un proyecto. La Localización contiene Directorios de mapas.

El Directorio de mapas contiene los datos SIG relacionados con un proyecto, tarea dentro de un proyecto, subregión  
o iniciación.

Iniciar sesión de GRASS

Salir

Ayuda



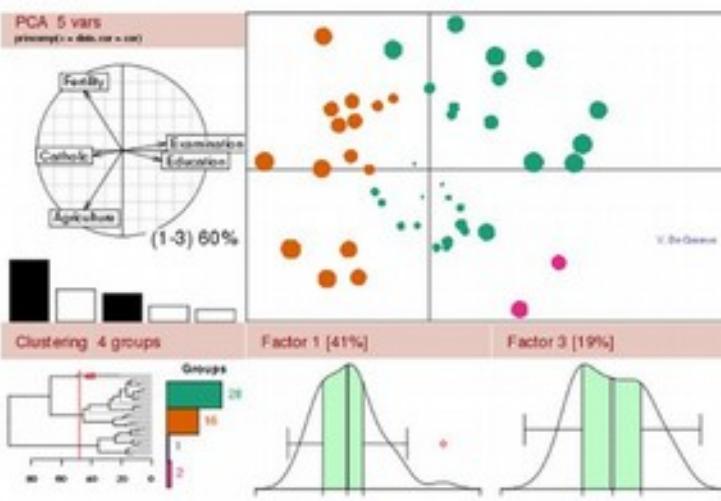
[About R](#)  
[What is R?](#)  
[Contributors](#)  
[Screenshots](#)  
[What's new?](#)

[download](#), [Packages](#)  
[CRAN](#)

[R Project](#)  
[Foundation](#)  
[Members & Donors](#)  
[Mailing Lists](#)  
[Bug Tracking](#)  
[Developer Page](#)  
[Conferences](#)  
[Search](#)

[Documentation](#)  
[Manuals](#)  
[FAQs](#)  
[The R Journal](#)  
[Wiki](#)  
[Books](#)  
[Certification](#)  
[Other](#)

[Misc](#)  
[Bioconductor](#)  
[Related Projects](#)  
[User Groups](#)  
[Links](#)



#### Getting Started:

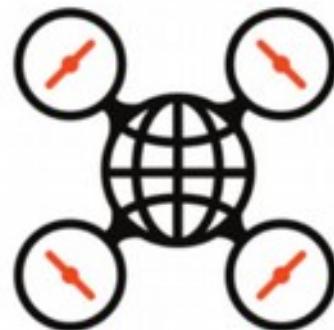
- R is a free software environment for statistical computing and graphics. It compiles and runs on a wide variety of UNIX platforms, Windows and MacOS. To [download R](#), please choose your preferred [CRAN mirror](#).
- If you have questions about R like how to download and install the software, or what the license terms are, please read our [answers to frequently asked questions](#) before you send an email.

#### News :

- R version 3.1.0 (Spring Dance) has been released on 2014-04-10.
- R version 3.0.3 (Warm Puppy) has been released on 2014-03-06.
- [The R Journal Vol.5/2](#) is available.
- [useR! 2013](#) took place at the University of Castilla-La Mancha, Albacete, Spain, July 10-12 2013.

<http://www.r-project.org/>

user!



# OpenDroneMap

# LATEX





L44

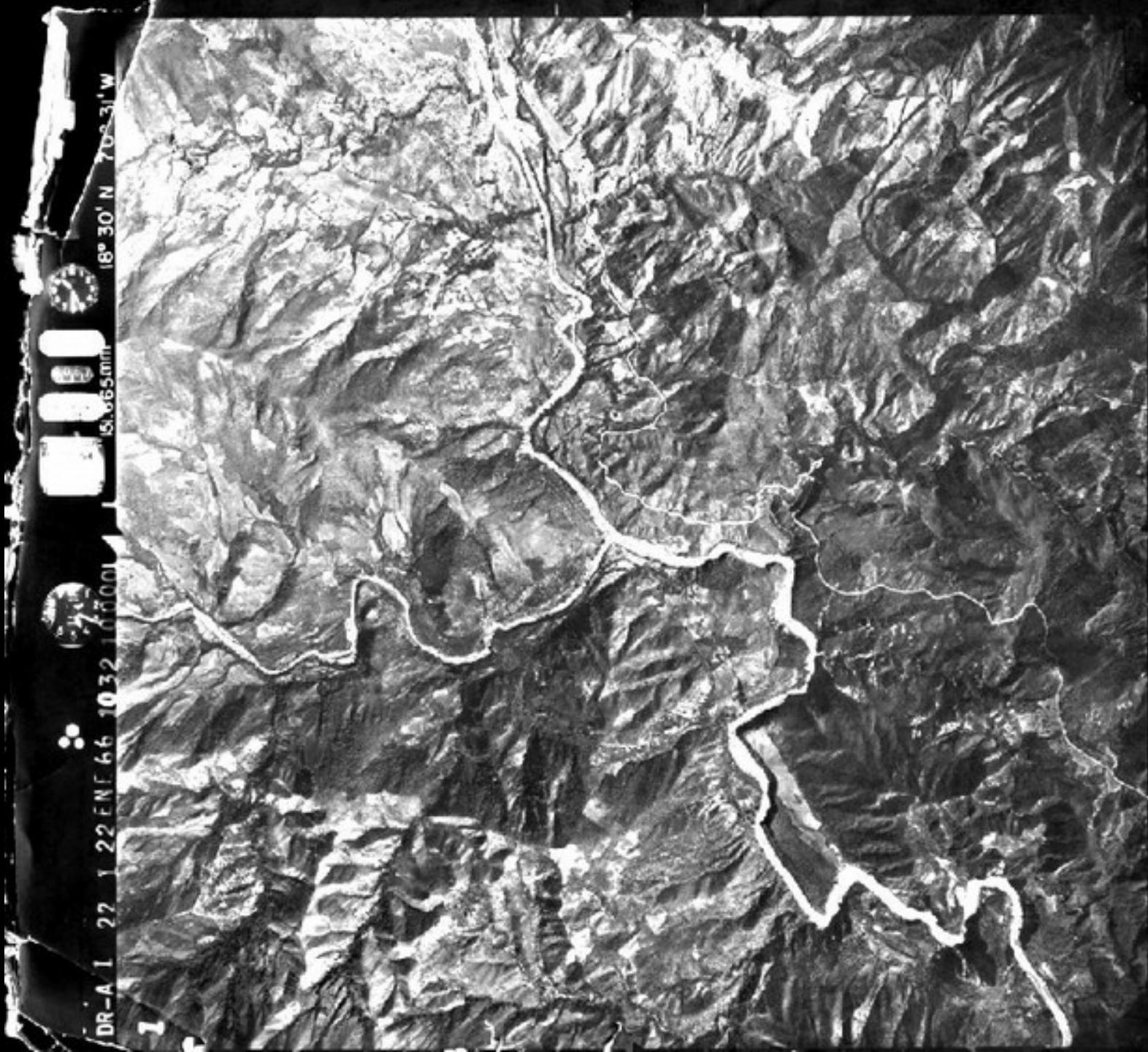
F78

R55

18.542426

-70.520099

0 9142  
L 80 2971 1122 125 23/01/03 5.5/432 152.929 144127 =  
K 003114 2011 1122 125 23/01/03 5.5/432 152.929 144127 =



DR-A 1 22 1 22 ENF 66 1032 10500

18° 30' N 70° 31' W

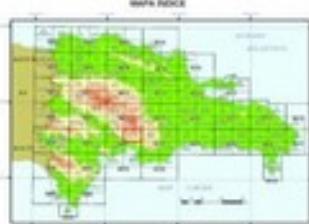
15.665mm





DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA

SAN JOSÉ DE OCÓA 0071 - I

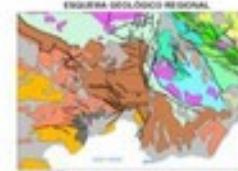
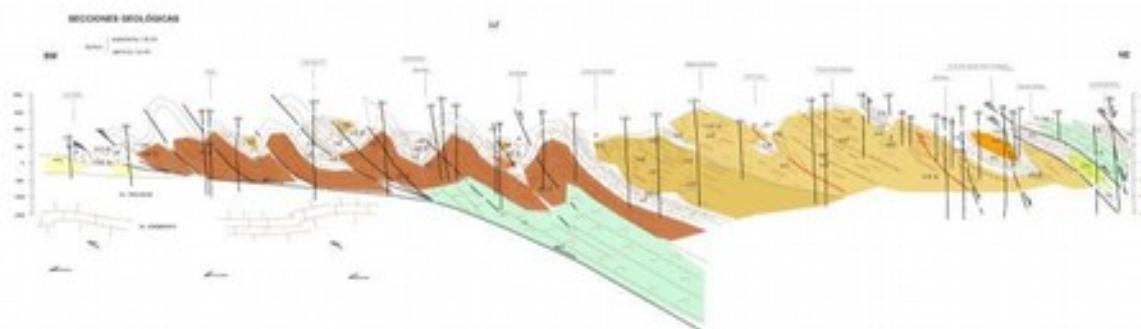
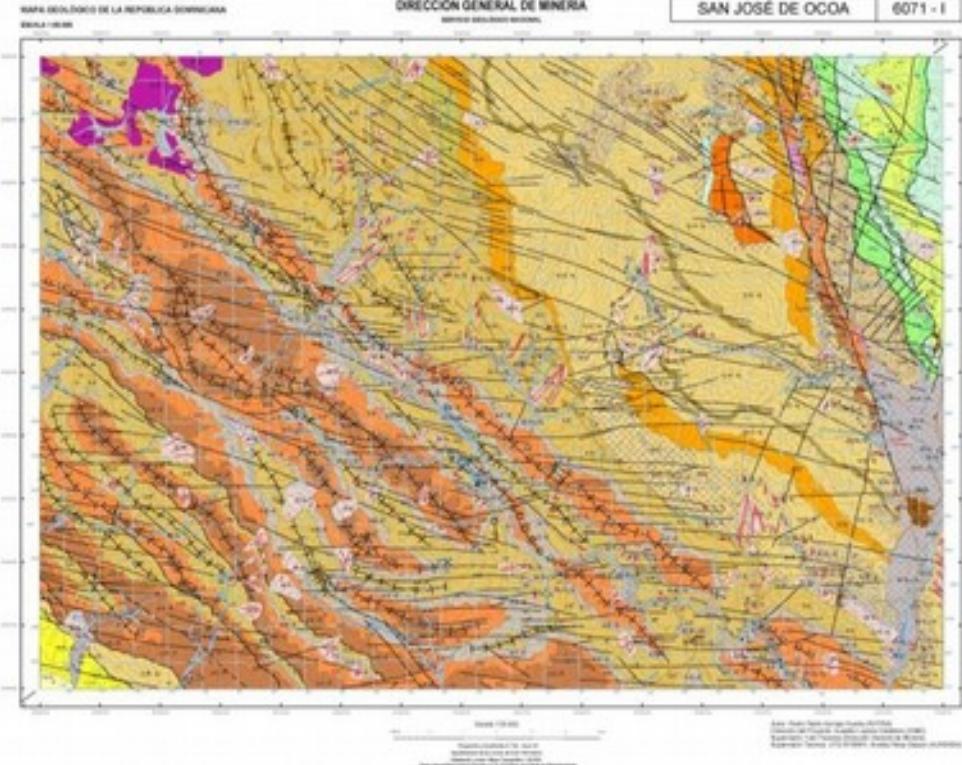


AUTORIDAD CONTRA TANTE  
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA  
PROFESOR NACIONAL, PABLO LÓPEZ IV

Financiado por el programa  
INTERREG de la Unión Europea

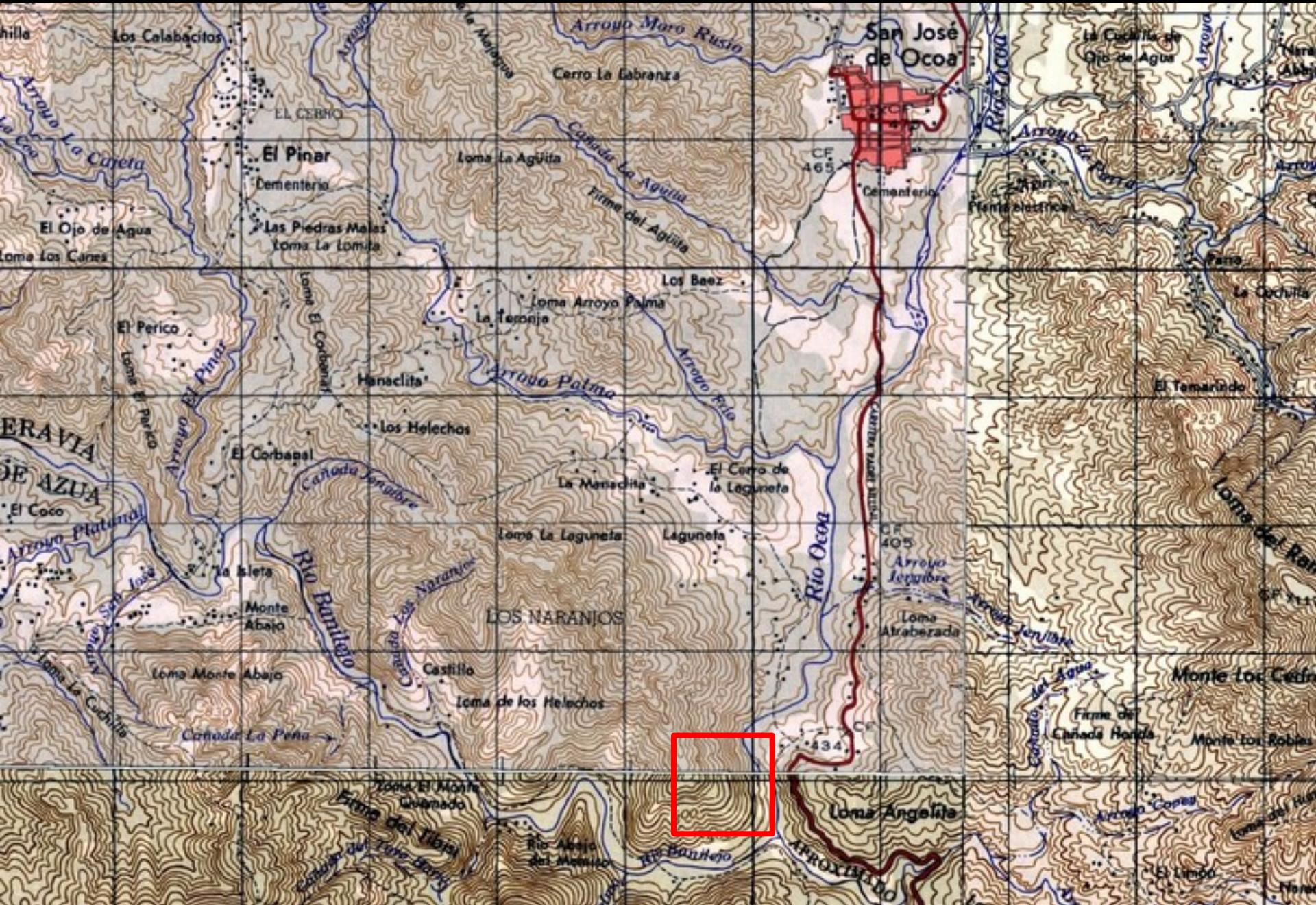


www.1000marks.org - это веб-сайт оценки знаний











© 2014 Google  
Image © 2014 CNES / Astrium

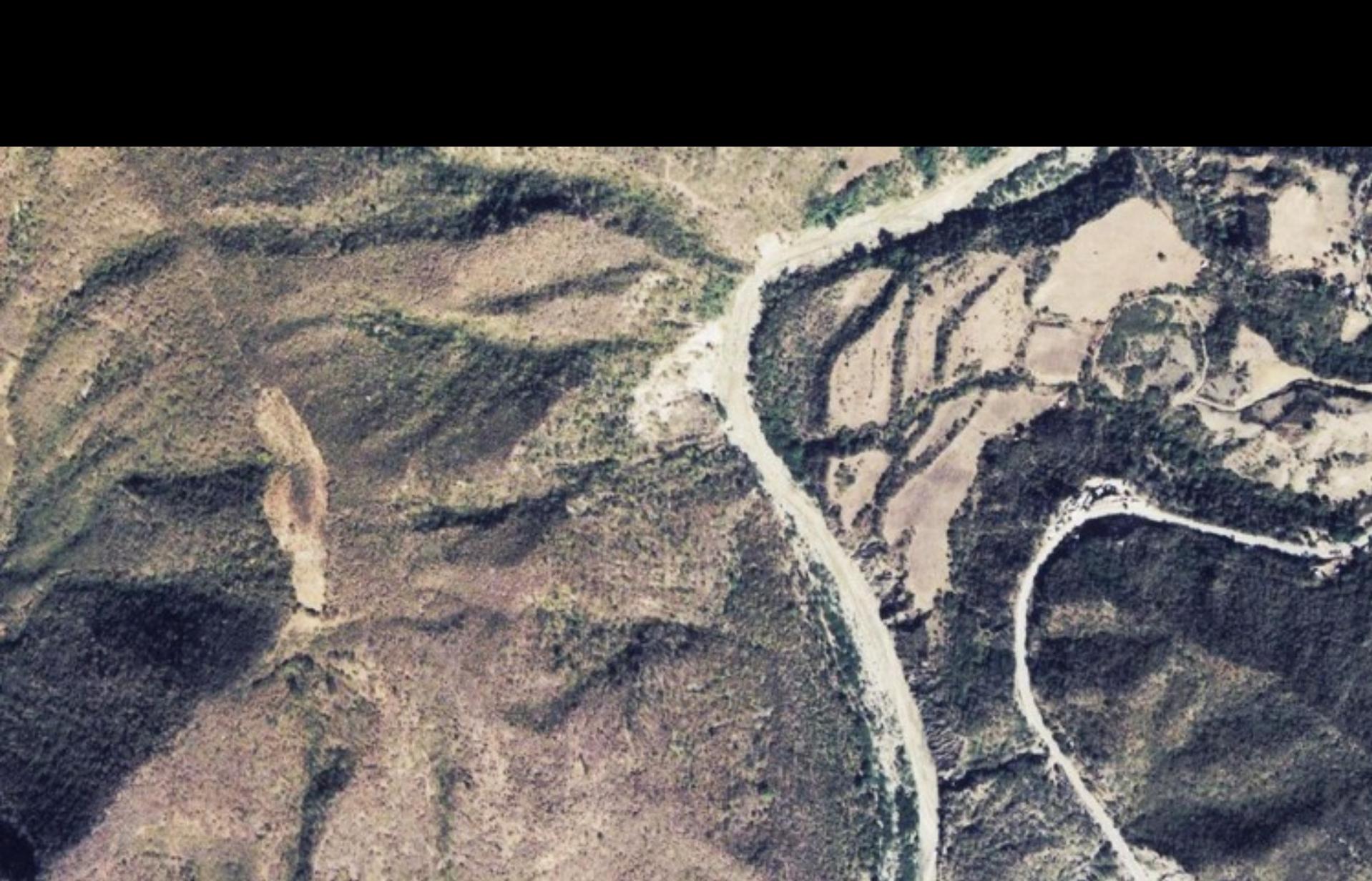
Google earth

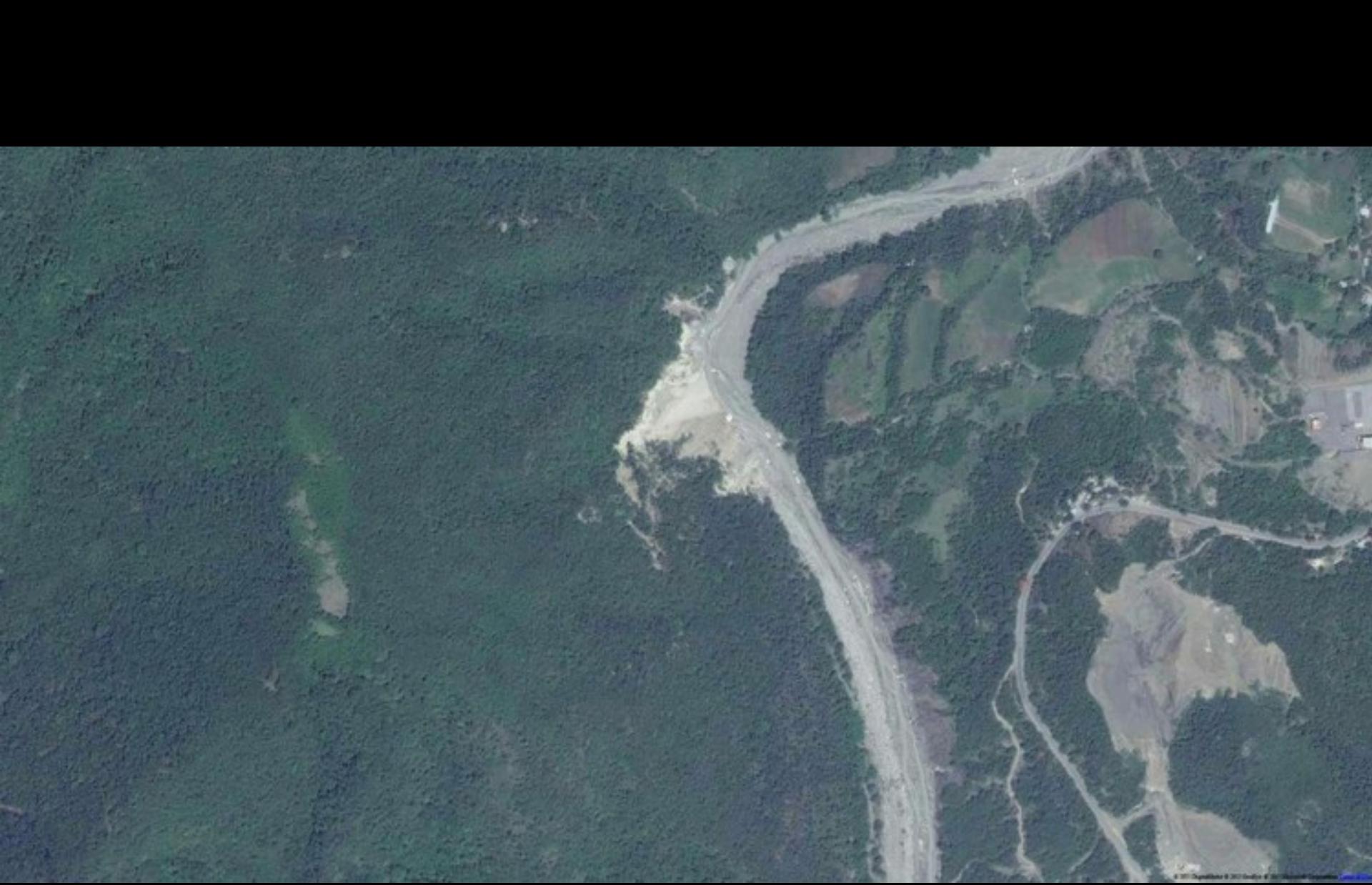
Fechas de imágenes: 11/24/2013 | 19 @ 34019053 m.E 2046566.57 m.N elevación: 370 m alt. ojo: 3.16 km

2002

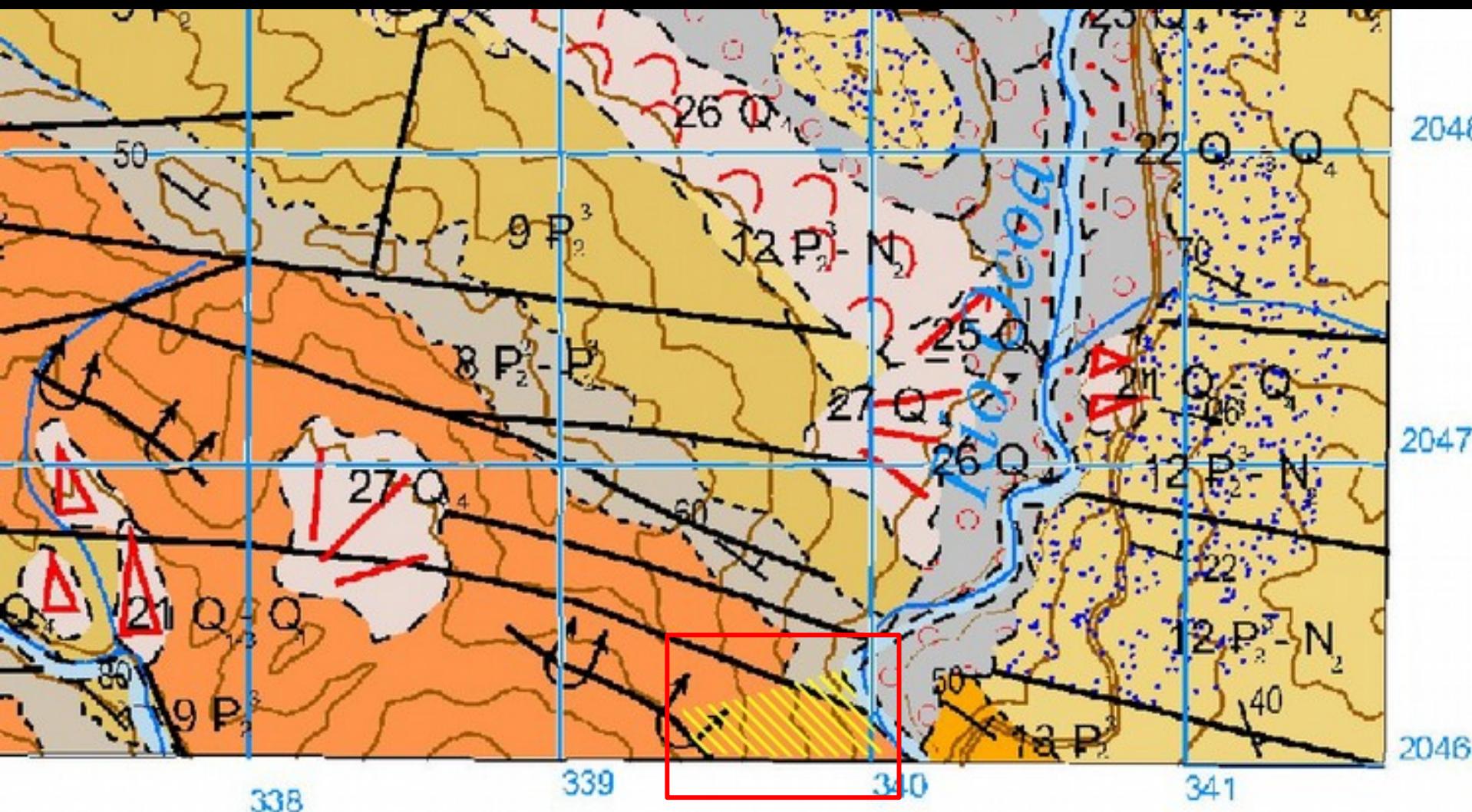








© 2011 DigitalGlobe. All Rights Reserved.





# MÉTODO

- Generación de pares estereoscópicos digitales 1967 y 2000 (LPS)
- Generación de datos espaciales tridimensionales (ArcGIS+SAFA)
- Tratamiento de los datos espaciales para obtener muestra estadística (lenguaje SQL en Postgres/ArcGIS/QGIS)
- Generación de script para facilitar la replicabilidad (R)
- Generación de gráficos (R)
- Comprobación del supuesto de normalidad (R)
- Pruebas para descartar errores de digitalización o de corrección geométrica (R):
  - Prueba de homogeneidad en la digitalización
  - Prueba de calidad de digitalización
  - Prueba de cambios en los valores de altura en la ladera control
- Comparación de las medianas de los valores de altura de cada tratamiento vertiente objetivo (deslizamiento) (R)

#CARGA DE PAQUETES

```
library(ggplot2) #GRÁFICOS ESTILIZADOS
library(reshape) #GENERAR TABLAS DE RESUMEN
library(foreign) #LECTURA DE ARCHIVOS DBF
library(raster) #GESTIÓN Y PRODUCCIÓN CON RASTERS
library(rgdal) #LEE FORMATOS DE LA LIBRERIA GDAL
library(moments) #FUNCIONES ESTADÍSTICAS AVANZADAS
library(dplyr) #MANIPULACIÓN DE DATOS EN TABLAS, TABLAS RESUMEN (USADO EN LA FUNCIÓN group_by)
#library(proto) #PARA PROGRAMACIÓN. INICIALMENTE INCLUIDO, PERO APARENTEMENTE NO ES NECESARIO
```

#DESCARGA DE DATOS DESDE URL Y GENERACIÓN DE OBJETOS

```
temp <- tempfile() #GENERA UN OBJETO PARA ASIGNAR AL ARCHIVO TEMPORAL A DESCARGAR
download.file("http://geografiafisica.org/r/d_puntos.zip",temp) #DESCARGA EL COMPRIMIDO QUE CONTIENE LA BASE DE DATOS
d<-read.dbf(unzip(temp, "d_puntos.dbf")) #LEE LOS ATRIBUTOS DEL ARCHIVO d_puntos.dbf EXTRAIDO DESDE EL ZIP DESCARGADO, QUE PERTENECE AL VECTORIAL d_puntos.s
d$tipo2<-factor(d$tipo,levels=c('control','deslizamiento'),labels=c('control','objetivo')) #GENERA UN CAMPO CON EL TIPO DE LADERA
d$replica<-factor(d$id) #GENERA UN CAMPO FACTORIAL CON EL NOMBRE DE LA RÉPLICA
unlink(temp) #DESvincula temp COMO OBJETO DEL ARCHIVO TEMPORAL
```

#CARGA DE DATOS DESDE ACCESO EN DISCO DURO. NOTA: PARA EJECUTAR ESTA OPCIÓN, ES NECESARIO DESCOMENTAR LAS SENTENCIAS:

```
#d<-read.dbf("D:\\proyecto_FONDOCyT\\proyecto_Ocoa\\SIG\\deslizamientos\\d_puntos.dbf")
#d$tipo2<-factor(d$tipo,levels=c('control','deslizamiento'),labels=c('control','objetivo'))
```

#VISUALIZACIÓN DEL OBJETO d Y CREACIÓN DEL OBJETO d2

```
head(d) #MUESTRA LOS PRIMEROS 6 REGISTROS DEL OBJETO d
d2<-d[,-c(3,5)] #GENERA UN OBJETO d2 A PARTIR DE d, EXCLUYENDO LAS COLUMNAS 3 Y 5, QUE CORRESPONDEN A "m" Y "ORIG_FID"
head(d2) #MUESTRA LOS PRIMEROS 6 REGISTROS DEL OBJETO d2
str(d2) #MUESTRA LA ESTRUCTURA DE d2
```

#ANÁLISIS DE LA CANTIDAD DE VÉRTICES POR AÑO Y POR LADERA

##LADERA OBJETIVO

```
eo<-cast(d,anio-Id,fun.aggregate=length,value="tipo",subset=tipo=='deslizamiento') #GENERA UNA TABLA RESUMEN DE LA CANTIDAD DE VÉRTICES POR CADA RÉPLICA EN
eo #MUESTRA EL OBJETO "VÉRTICES SEGÚN RÉPLICA PARA CADA AÑO DE LA LADERA OBJETIVO"
rownames(eo)<-eo[,1] #INSERTA LOS VALORES DE LA COLUMNA "1" COMO NOMBRES DE FILAS DEL OBJETO eo
eo<-as.data.frame(eo[,2:11]) #GENERA UN NUEVO OBJETO eo SIN LA COLUMNA "1"
eo #MUESTRA EL NUEVO OBJETO eo
rowSums(eo) #CANTIDAD DE VERTICES POR AÑO EN LA LADERA OBJETIVO
sum(rowSums(eo)) #CANTIDAD DE VERTICES EN LA LADERA OBJETIVO COMBINADOS
mean(t(eo)) #MEDIA DE LA CANTIDAD DE VERTICES POR RÉPLICA EN LA LADERA OBJETIVO
```

##LADERA CONTROL

```
ec<-cast(d,anio-Id,fun.aggregate=length,value="tipo",subset=tipo=='control') #GENERA UNA TABLA RESUMEN DE LA CANTIDAD DE VÉRTICES POR CADA RÉPLICA EN CADA D
ec #MUESTRA EL OBJETO "VÉRTICES SEGÚN RÉPLICA PARA CADA AÑO DE LA LADERA CONTROL"
rownames(ec)<-ec[,1] #INSERTA LOS VALORES DE LA COLUMNA "1" COMO NOMBRES DE FILAS DEL OBJETO ec
ec<-as.data.frame(ec[,2:8]) #GENERA UN NUEVO OBJETO ec SIN LAS COLUMNAS "1,9,10 Y 11"
ec #MUESTRA EL NUEVO OBJETO ec
rowSums(ec) #CANTIDAD DE VERTICES POR AÑO EN LA LADERA control
mean(t(ec)) #MEDIA DE LA CANTIDAD DE VERTICES POR RÉPLICA EN LA LADERA CONTROL
sum(rowSums(ec)) #CANTIDAD DE VERTICES EN LA LADERA CONTROL COMBINADOS
```

#ESTADÍSTICOS BÁSICOS EXPORTADOS A TABLA EN CLIPBOARD

```
eb<-d2 %>% group_by(ladera=tipo2,año=anio) %>% summarise(media=round(mean(z),2),mediana=round(median(z),2),desviación=round(sd(z),2),mínimo=round(min(z),2),
write.table(eb,file='clipboard',sep='\t',row.names=F) #EXPORTA AL CLIPBOARD LA TABLA eb
```

## MÉTODO

- Muestra (N):
  - 1834 vértices tridimensionales, que incorporan valor "z":
  - Ladera control: 677 vértices
  - Ladera objetivo: 1157 vértices
  - Todos digitalizados bajo la modalidad de réplicas
- Tratamientos:
  - Año 1967
  - Año 2000
- Réplicas:
  - Ladera objetivo: 10 por cada tratamiento, cada una con ca. 60 vértices
  - Ladera control: 10 por cada tratamiento, cada una con ca. 35 vértices





© 2013 DigitalGlobe. All Rights Reserved. Confidential Proprietary



© 2011 Google © 2011 National Geographic Society



681.27  
669.87 606.36  
681.37 675.18 633.19  
632.32 628.03  
621.59 628.97  
583.58  
569.08 572.17 568.25  
563.95 564.38  
579.38 513.35 525.31  
537.67 509.02 491.42  
568.3 531.77 502.83 443.25  
552.53 5470.37 430.73  
536.63 504.34 463.84 425.58  
537.18 494.57 463.27 427.29  
495.4 438.61 416.16 360.01  
457.51 402.24  
483.63 414.02  
445.25 347.87  
425.08 383.88  
466.22  
416.24 374.07  
422.77  
419.35 373.35  
400.59 400.97

2015 Google  
Image © 2015 CNES / Astrium

Google earth

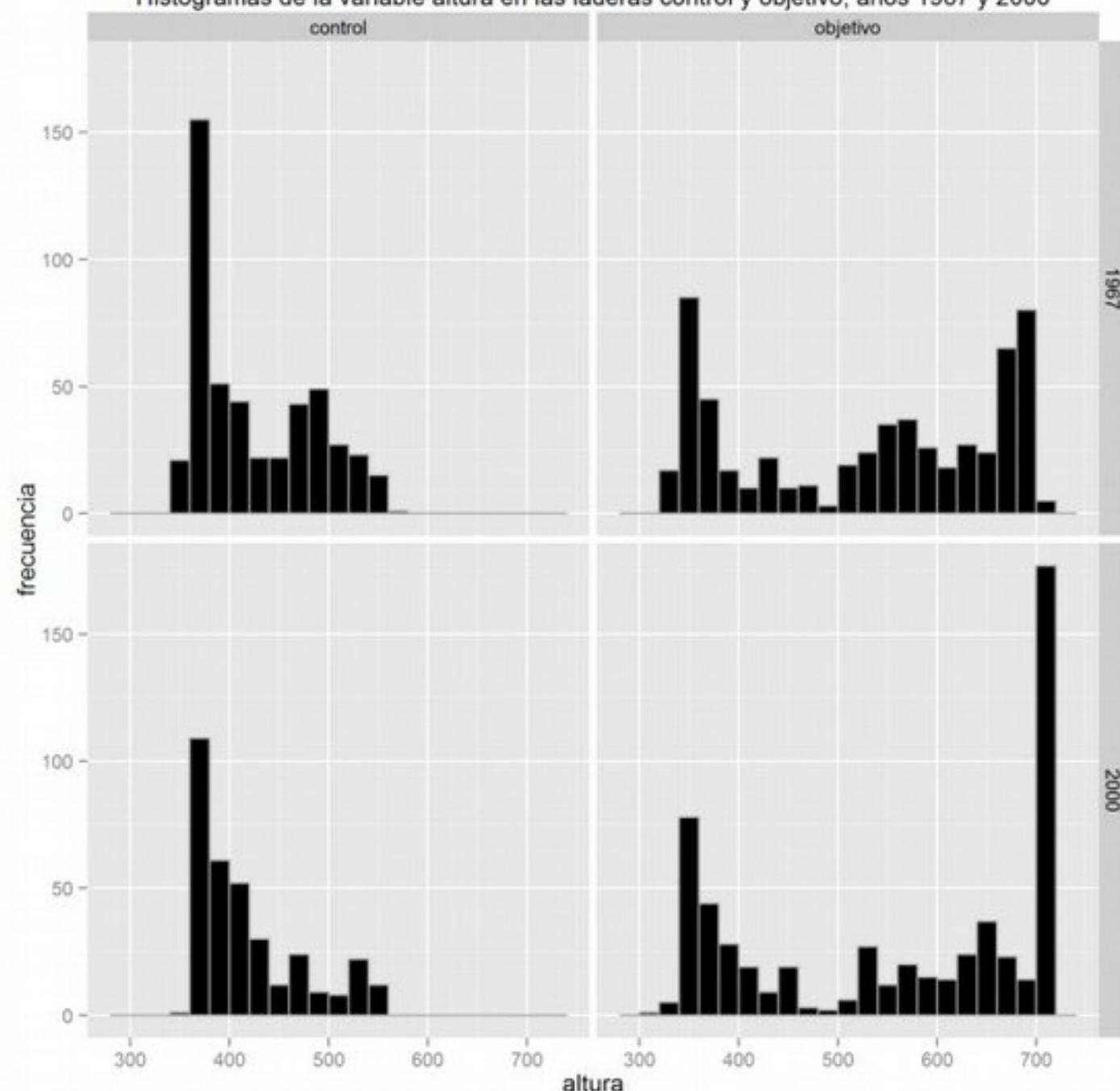
## RESULTADOS

| ladera   | año  | media  | mediana | desv. est. | mínimo | máximo | sesgo |
|----------|------|--------|---------|------------|--------|--------|-------|
| control  | 1967 | 424.07 | 402.85  | 60.28      | 353.27 | 568.3  | 0.58  |
|          | 2000 | 417.99 | 399.67  | 54.43      | 349.47 | 557.81 | 1.09  |
| objetivo | 1967 | 529.20 | 551.95  | 130.08     | 325.82 | 705.63 | -0.23 |
|          | 2000 | 555.61 | 602.24  | 144.23     | 319.47 | 709.22 | -0.35 |

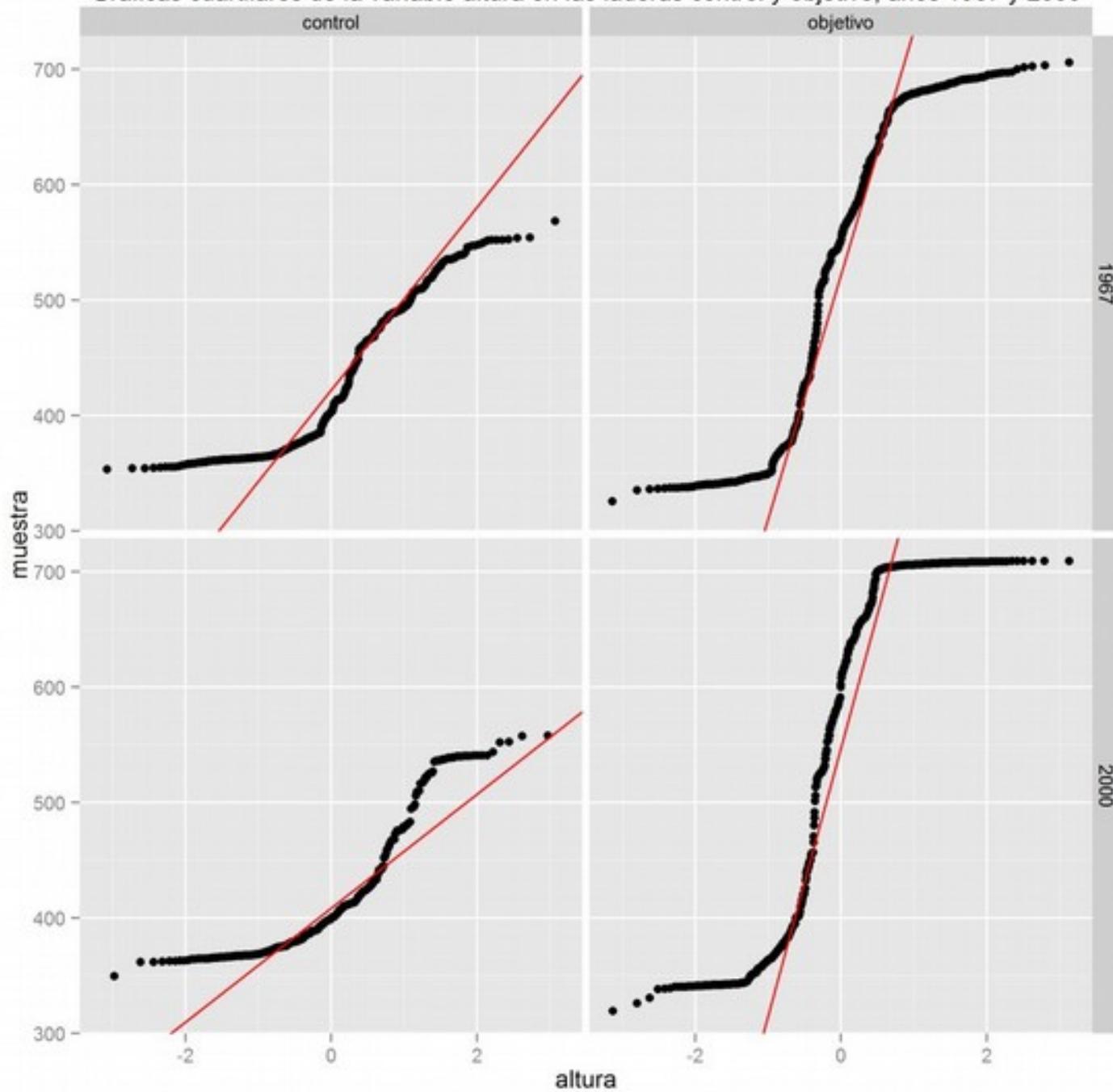
## RESULTADOS

- Comprobación del **supuesto de normalidad** de Shapiro-Wilk para los valores de altura de ambos tratamientos y laderas resultó significativa por lo que la muestra presenta distribución libre:
  - Ladera objetivo:
    - Año 1967:  $W=0.88$ ,  $p<<0.01$
    - Año 2000,  $W=0.83$ ,  $p<<0.01$
  - Ladera control:
    - Año 1967,  $W=0.88$ ,  $p<<0.01$
    - Año 2000,  $W=0.85$ ,  $p<<0.01$

Histogramas de la variable altura en las laderas control y objetivo, años 1967 y 2000



Gráficas cuartilares de la variable altura en las laderas control y objetivo, años 1967 y 2000

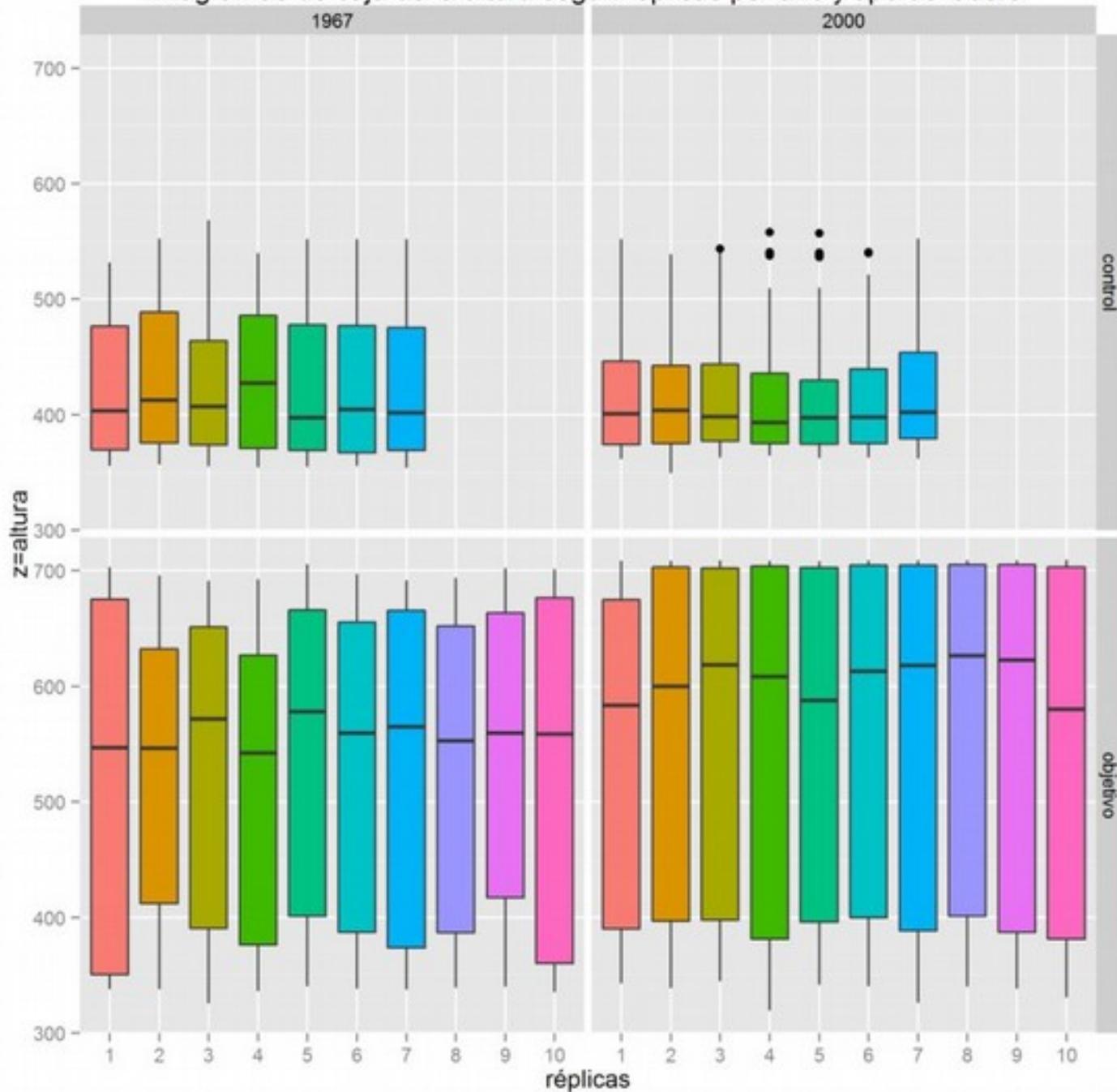


## RESULTADOS

- Pruebas para descartar errores de digitalización o de corrección geométrica:
  - **Homogeneidad digitalización (4 KW)**

| año/ladera | control  | Objetivo  |
|------------|--|---|
| 1967       | N=337<br>Réplicas, 7 (n=48, 42, 42, 47, 59, 48, 51)<br>Todas con distribución libre<br>Prueba Kruskal-Wallis:<br>Estadístico de prueba = 0.85<br>gl = 6<br>valor de p = 0.99 | N=580<br>Réplicas, 10 (n=25, 64, 61, 61, 57, 71, 62 61, 61, 57)<br>Todas con distribución libre<br>Prueba Kruskal-Wallis:<br>Estadístico de prueba = 1.70<br>gl = 9<br>valor de p ≈ 1 |
| 2000       | N=340<br>Réplicas, 7 (n= 48, 44, 47, 46, 53, 52, 50)<br>Todas con distribución libre<br>Prueba Kruskal-Wallis:<br>Estadístico de prueba = 0.46<br>gl = 6<br>valor de p ≈ 1   | N=577<br>Réplicas, 10 (n=56, 63, 54, 57, 58, 58, 57 56, 57, 61)<br>Todas con distribución libre<br>Prueba Kruskal-Wallis:<br>Estadístico de prueba = 0.95<br>gl = 9<br>valor de p ≈ 1 |

Diagramas de caja de la altura según réplicas por año y tipo de ladera



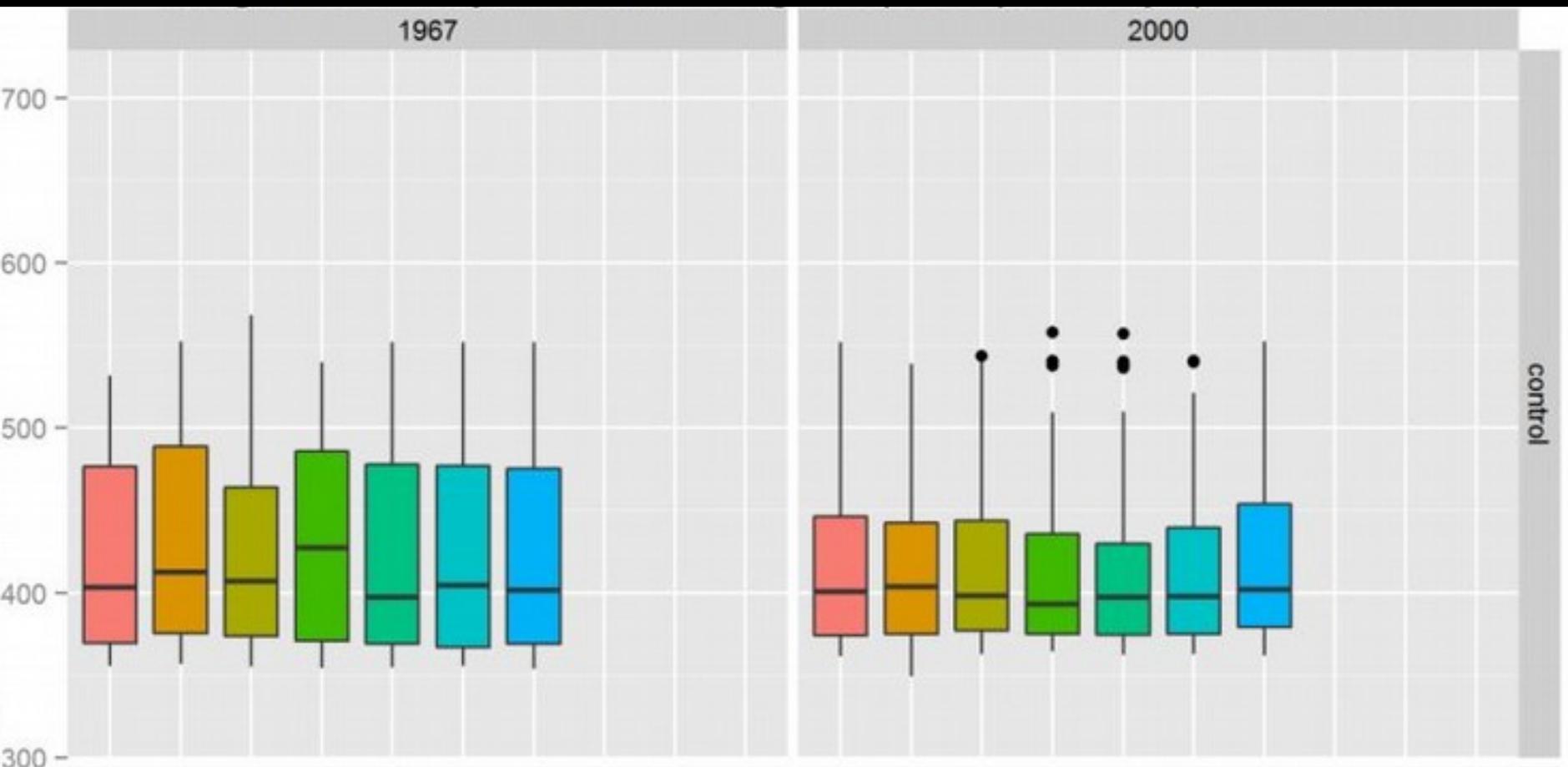
## RESULTADOS

- Pruebas para descartar errores de digitalización o de corrección geométrica:
  - **Calidad de digitalización (132 KS)**

| año/ladera | control   | objetivo   |
|------------|---|--|
| 1967       | Pares de réplicas: 21<br><br>valores de p en orden ascendente: 0.43, 0.6, 0.67, 0.69, 0.77, 0.77, 0.82, 0.84, 0.85, 0.86, 0.87, 0.91, 0.91, 0.93, 0.96, 0.96, 0.98, 0.98, 0.99, 0.99, 1 | Pares de réplicas: 45<br><br>valores de p en orden ascendente: 0.44, 0.45, 0.53, 0.54, 0.55, 0.55, 0.55, 0.56, 0.62, 0.65, 0.66, 0.69, 0.69, 0.7, 0.7, 0.73, 0.77, 0.78, 0.81, 0.82, 0.84, 0.85, 0.86, 0.89, 0.9, 0.91, 0.91, 0.93, 0.93, 0.93, 0.93, 0.93, 0.94, 0.95, 0.95, 0.96, 0.98, 0.98, 0.98, 0.99, 0.99, 0.99, 0.99, 1, 1 |
| 2000       | Pares de réplicas: 21<br><br>valores de p en orden ascendente: 0.76, 0.79, 0.8, 0.86, 0.89, 0.89, 0.92, 0.94, 0.97, 0.98, 0.98, 0.99, 0.99, 0.99, 0.99, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1             | Pares de réplicas: 45<br><br>valores de p en orden ascendente: 0.26, 0.28, 0.29, 0.36, 0.37, 0.38, 0.43, 0.43, 0.44, 0.47, 0.48, 0.49, 0.55, 0.55, 0.57, 0.57, 0.59, 0.63, 0.63, 0.65, 0.72, 0.73, 0.77, 0.79, 0.79, 0.8, 0.8, 0.81, 0.83, 0.88, 0.9, 0.9, 0.97, 0.97, 0.97, 0.97, 0.98, 0.98, 0.98, 0.99, 0.99, 0.99, 1, 1, 1, 1  |

## RESULTADOS

- Pruebas para descartar errores de digitalización o de corrección geométrica:
  - Prueba de **cambios en los valores de altura en la ladera control** para descartar falsos positivos debidos a error geométrico:
    - Comparación de las medianas de la altura de cada año en la ladera control, la cual se asume no ha experimentado cambios significativos en este estadístico.
    - Se aplicó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon:  $W=56969$ , valor de  $p=0.9$ , no significativa
    - Esto sugiere que la mediana de la altura de la ladera control en 1967 es básicamente igual a la de 2000

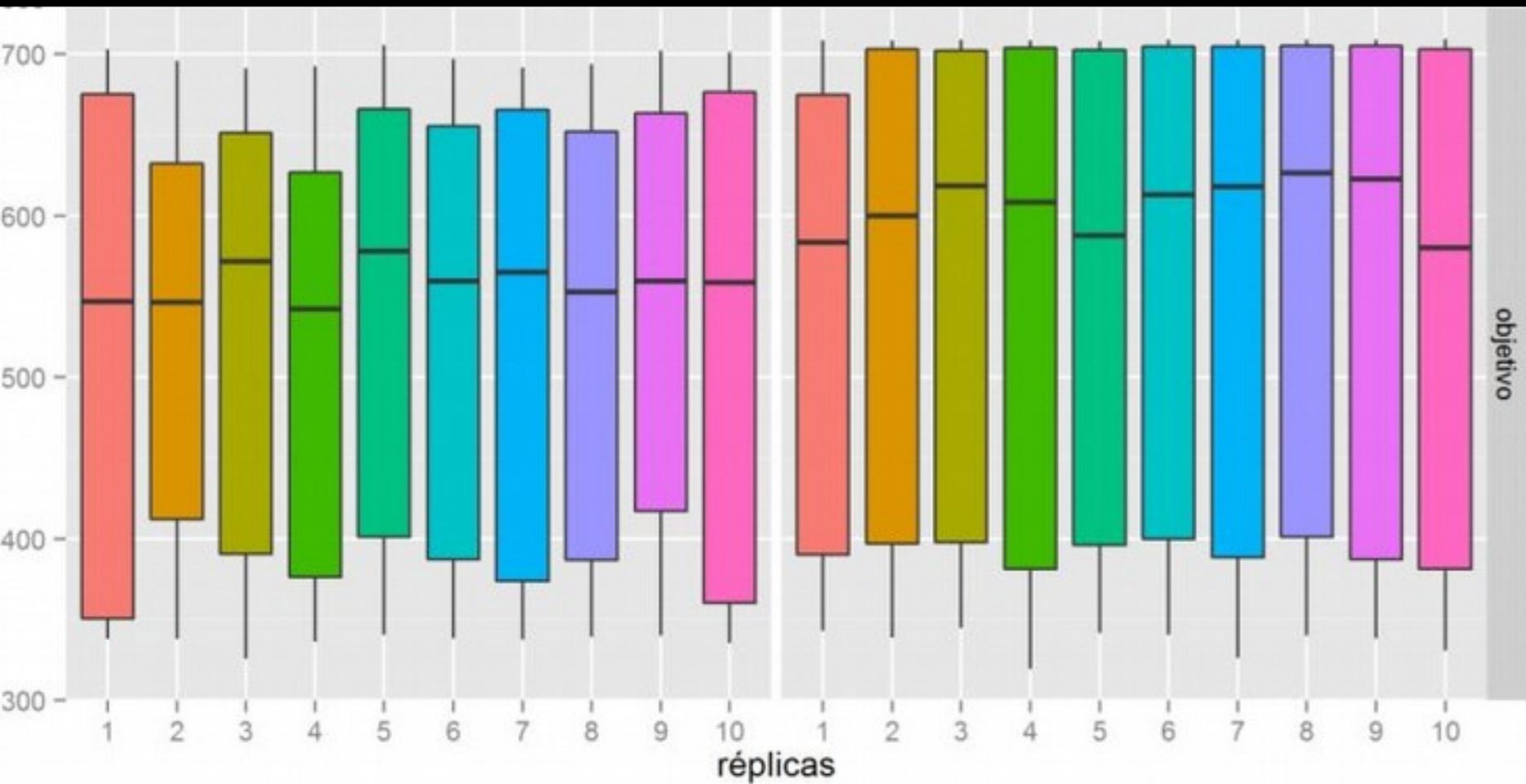


## RESULTADOS

- Comparación de las medianas de los **valores de altura** de cada tratamiento (años 1967 y 2000) en la **vertiente objetivo**, donde se localiza el deslizamiento:
  - Prueba de rangos con signo de Wilcoxon.
  - $W=137033$ , valor de  $p << 0.01$ , significativa
  - Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medianas
  - Cambio significativo de la mediana de la altura en la ladera objetivo

## INTERPRETACIÓN

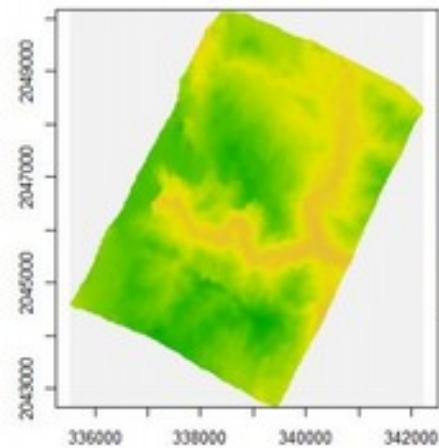
- **Incremento del primer cuartil**, probablemente por una **mayor acumulación de materiales** en la base de la ladera objetivo. Esto se vincula directamente a la activación del deslizamiento
- **Incremento del tercer cuartil** en el par de 2000, que podría deberse a **crecimiento del bosque** en los sectores cimeros



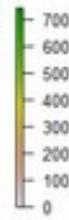
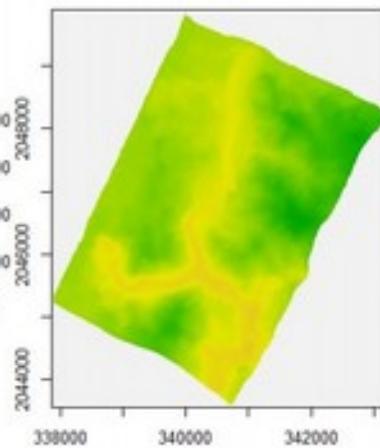
## RESULTADOS

- Comparación de las medianas de la pendiente de cada tratamiento (años 1967 y 2000) en ambas vertientes (control y objetivo) a partir de DEMs generados por LPS, usando la prueba de rangos con signo de Wilcoxon.
  - Control:  $W=110787$ , valor de  $p=0.38$ , no significativa
  - Objetivo:  $W=719857$ , valor de  $p << 0.01$ , significativa, reducción de la mediana de la pendiente

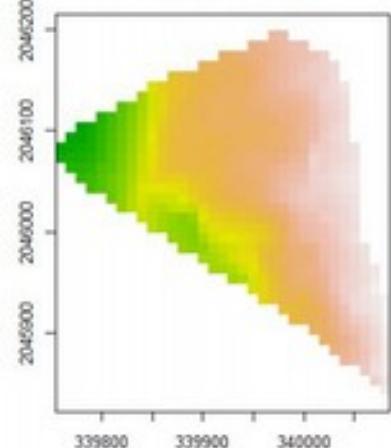
MDE 1967



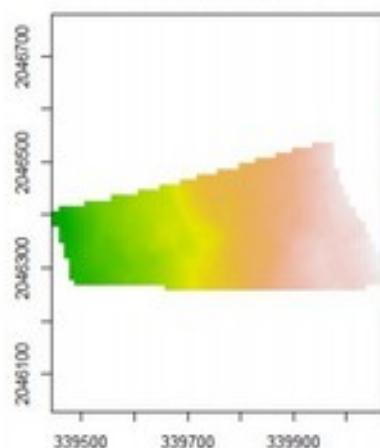
MDE 2000



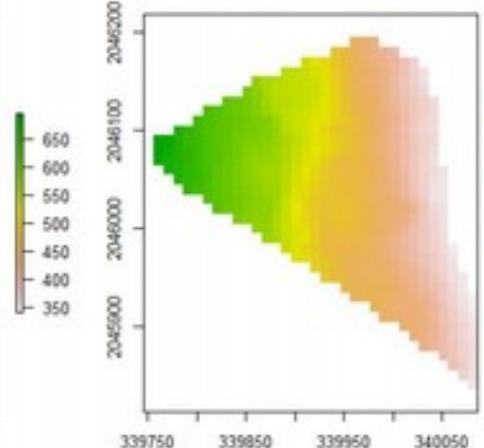
MDE 1967 control



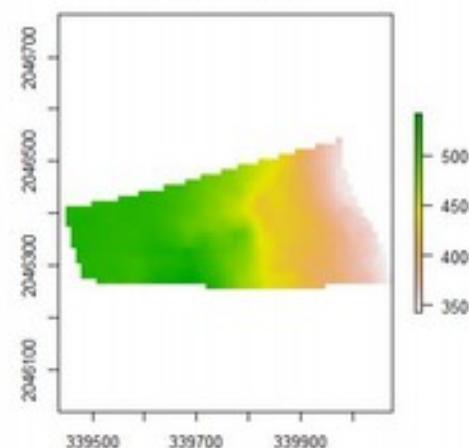
MDE 1967 objetivo



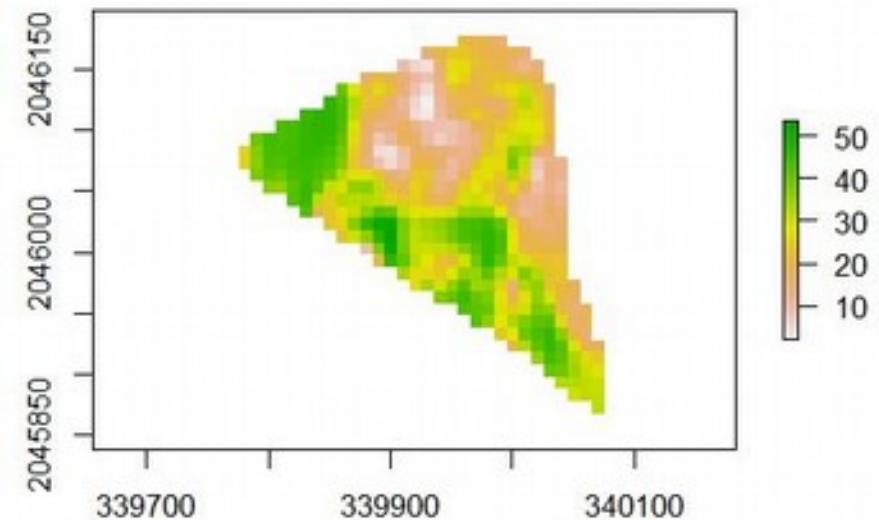
MDE 2000 control



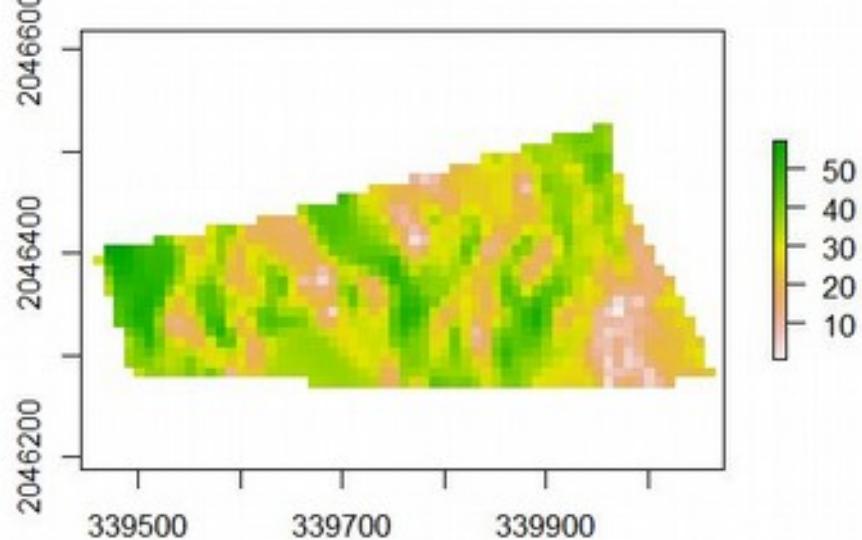
MDE 2000 objetivo



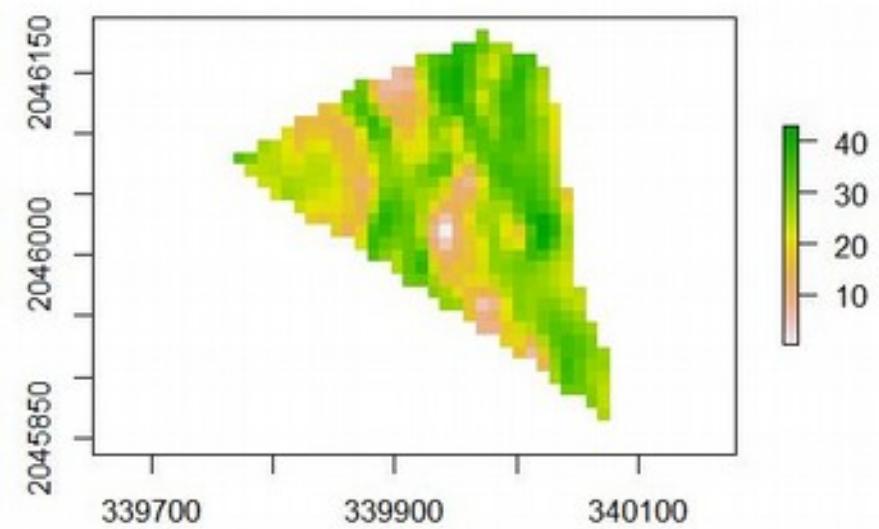
**sc67**



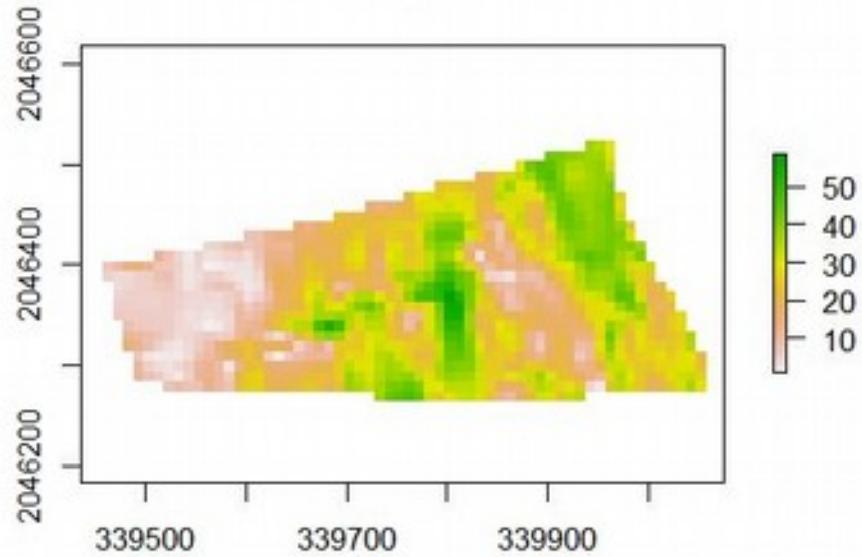
**so67**



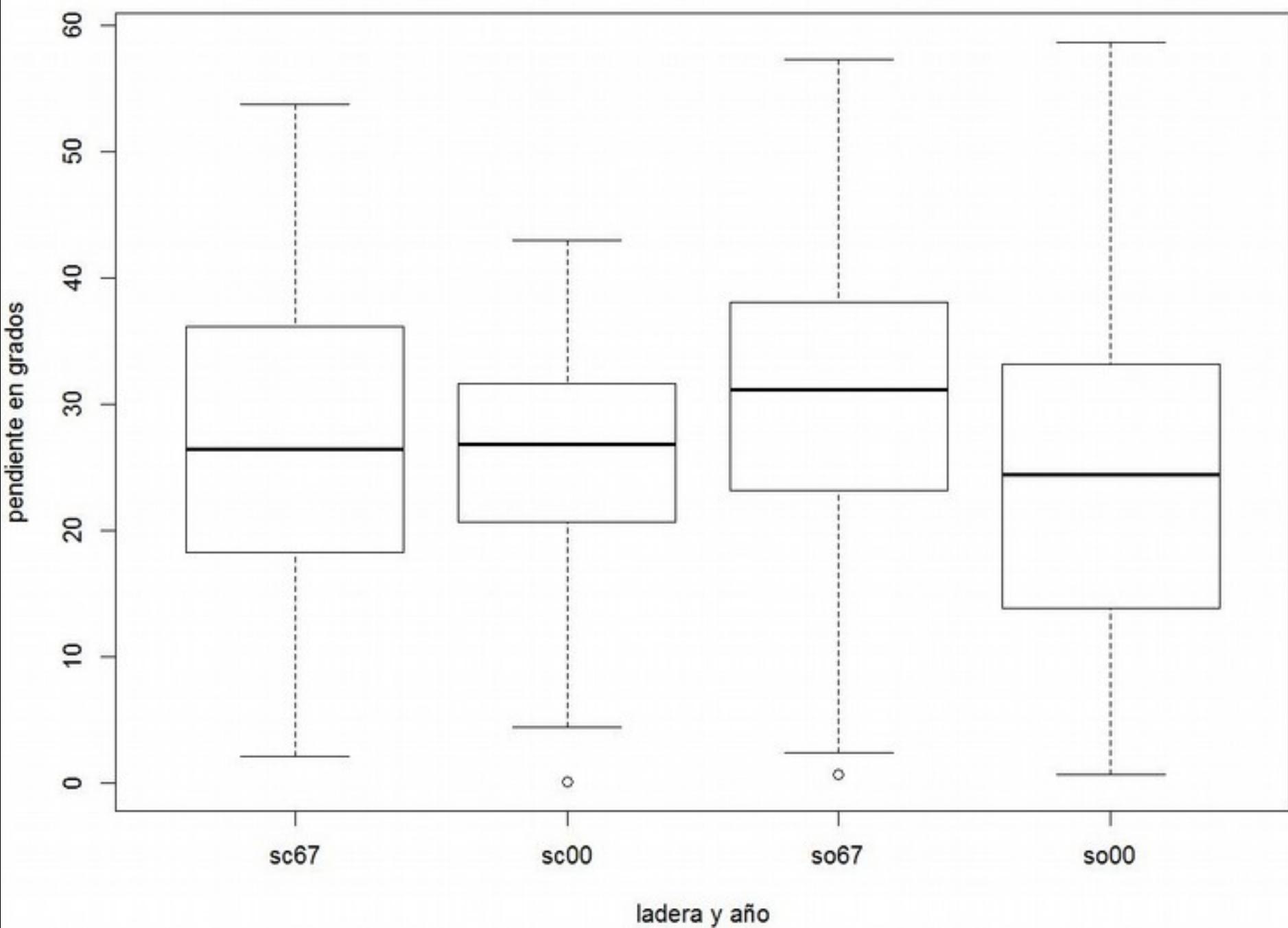
**sc00**

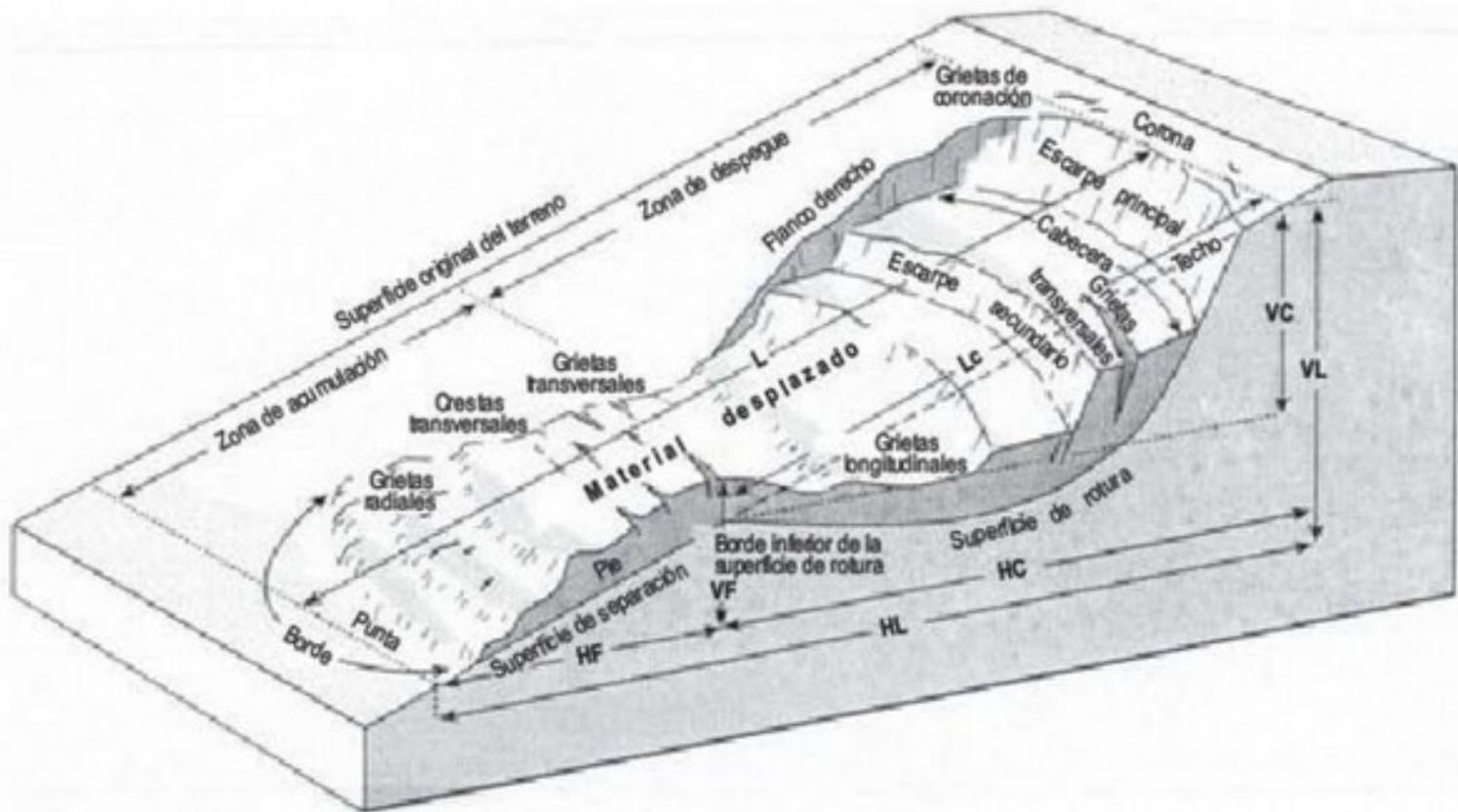


**so00**



# Pendientes en las ladera 'control' y 'objetivo' en los dos años analizados





**FIGURA 7.9** Principales características de un deslizamiento rotacional con flujo (*slump-earthflow*). Nota:  $H$  es la distancia horizontal y  $V$  es la distancia vertical en las distintas partes del deslizamiento. (Modificado de Varnes, 1958).