

LAS LADERAS INESTABLES DE COSTA RICA

Sergio Mora Castro
Oficina de Geología Aplicada, I.C.E.
Escuela Centroamericana de Geología-CIGEFI, UCR

ABSTRACT

Particular conditions of topography, climate and geology in Costa Rica, make this country prone to slope instability. At present, this situation has been accelerated by direct or indirect influence of human activity. Instability is shown by a wide variety of forms, intensities and extension.

Affected zones are not usually limited to where slope instability occurs but to wider areas such as river margins, flat lowlands and in general, those areas where the deposits arrive with important amounts of energy.

Primary factors of development of instable slopes in this country are: topography (slope angles, irregularities), climate (rain, humidity), hydrological factors (infiltration, seepage flows, fluvial erosion), geology (soils, lithology structures, geomorphology), surface alteration (weathering, hydrothermalism) and others.

As a result, various types and forms of land instability have been recognized: laminar or concentrated erosion, (crevasses, badlands, torrents), solifluction (creep), rock block falls, crown landslides with channelized debris avalanches, shallow landslides in residual soils (regolithic), shallow and deep circular landslides, etc.

Trigger mechanisms are quite numerous and rarely acting alone, so the complexity of instabilized areas become higher and the possibility of their control smaller. Seismicity, volcanism, heavy rainfall periods and human activities (road constructions, deforestation, irrational agrarian exploitation systems, quarries and open pit mines), should be accounted also as main causes of generation of this kind of phenomenon, which has multiplied significantly in the last few decades. This situation has affected or menaced very important civil structures, populations, vital lines and agrarian production centers throughout the country.

RESUMEN

Las condiciones particulares de la topografía, clima y geología con que cuenta Costa Rica, hacen que este país sea susceptible y sensible a la inestabilidad de laderas, sean éstas naturales o aquellas en donde la actividad humana ha ejercido algún tipo de acción directa o indirecta.

Hay que tomar en cuenta que las zonas afectadas no se limitan exclusivamente a los sectores en donde efectivamente ocurren las desestabilizaciones propiamente dichas, sino que pueden extenderse a las zonas inferiores en las márgenes de los cursos de agua o en las zonas planas y bajas, las cuales son por lo general aquellas en donde se depositan los productos (depósitos) de las primeras.

Para el caso de este país, los factores primarios de desarrollo más importantes son los siguientes: Topografía (relieve, pendientes de las laderas), clima (precipitación, humedad), factores hidrológicos (escorrentía, socavación fluvial, infiltraciones), geología (tipos de suelo, litologías, estructuras, geomorfología), estado de alteración superficial (meteorización, hidrotermalismo) y varios otros.

En función de estos factores, se han podido diferenciar e identificar varios tipos y formas de remoción en masa de terrenos, algunos más frecuentes que otros: erosión laminar, erosión canalizada (cárcavas, tierras malas), reptación (solifluxión de suelos), desprendimiento de bloques, deslizamientos de corona con avalanchas canalizadas, deslizamientos someros en perfiles residuales (regolíticos), fallas circulares someras y profundas y otros más.

Los mecanismos de disparo de estos fenómenos son muy variados; rara vez actúan incluso por sí solos y entre mayor sea la cantidad de ellos, por lo general menores son las probabilidades de un control eventual. Se puede citar, entre otros: los períodos de alta precipitación meteórica, los sismos, el volcanismo y actualmente en forma cada vez más importante, la actividad humana (construcción de carreteras, deforestación, explotación agropecuaria irracional, explotación desordenada de tajos, etc.).

Las actividades gubernamentales y privadas cuya labor es la implementación de planes de desarrollo urbano, industrial y agropecuario de grandes proyectos de infraestructura, proyectos viales, etc., deberán ya tomar en cuenta esta realidad para intentar corregir y prevenir su desarrollo, propagación e influencia socio-económica.

INTRODUCCION

Esencialmente, son las condiciones climáticas, topográficas y geológicas las causantes principales de la alta incidencia de las laderas inestables en Costa Rica.

Son muchas las regiones de este país las que se ven afectadas por este fenómeno, el cual, aunque corresponde con uno de los mecanismos de equilibrio normales de la geodinámica externa, se ha visto fuertemente impulsado por la actividad humana.

Las manifestaciones de inestabilidad son numerosas en cuanto a forma, intensidad y extensión, lo mismo que se conocen, hasta la fecha, varias de las causas que las originan.

Es evidente que deben tenerse en cuenta los dos tipos de laderas que en general, son susceptibles de inestabilizarse:

- Laderas naturales, correspondientes con los flancos de las elevaciones montañosas (talud, talweg).
- Laderas generadas por la actividad humana (cortes, rellenos, botaderos).

Independientemente del tipo de ladera de que se trate, las causas de las desestabilizaciones son comunes, al igual muchas veces, que sus consecuencias. Respecto a esto último, no debe dejar de considerarse que las zonas afectadas no se limitan únicamente al área aledaña a la propia zona inestable, sino que por lo general, las consecuencias se extienden tanto a las zonas topográficamente superiores como a las inferiores, lo que trae como resultado un determinado costo socio-económico.

FACTORES DE GENERACION Y ACELERACION DEL FENOMENO

FACTORES BASICOS:

En términos generales, el grado de influencia relativa de los factores básicos: clima, topografía y geología, es conocido y no será necesario entrar en mucho detalle en cuanto a por lo menos él primero de ellos.

Del clima (factores hidrometeorológicos) en forma primaria, se puede recordar que sus parámetros mayores son la humedad, la precipitación, escorrentía y

temperatura. Este último, participa esencialmente en los procesos de meteorización y secado de los materiales que componen las laderas. En cuanto a la humedad, al incluirse como parte en interacción con el suelo ejerce su peso y presión al terreno, mientras que la precipitación y la escorrentía superficial son los mecanismos erosivos de mayor importancia, al menos en las áreas intertropicales.

La topografía y la geología están íntimamente ligadas, por cuanto la primera es una manifestación de los fenómenos internos y externos de la segunda. Su denominador común es la geomorfología, que como se verá más adelante, es una de las armas fundamentales para la identificación de áreas inestables o susceptibles de inestabilizarse.

Los factores geológicos propiamente dichos, en vista de su variedad, se pueden diferenciar según una serie de factores secundarios, aunque no por esto de menor importancia. Entre ellos, se pueden mencionar:

- Litología: Variedad e interrelaciones de los diferentes tipos de suelos y rocas. Su propensión a la meteorización y erosión puede variar sustancialmente en forma vertical y horizontal.
- Estructuras: Invocando con ellas, las zonas que por fallamiento o plegamientos han generado zonas débiles preferenciales o que han colocado los materiales en posiciones favorables a la inestabilidad (inclinación de los estratos y diaclasas, zonas de fracturación y milonitización, formación de cuñas y diedros, etc.).
- Factores Hidrogeológicos: Zonas de infiltración, redes de flujos hipodérmicos y subterráneos, generación de presiones intersticiales, manantiales, posición de los niveles freáticos libres y confinados (piezometría), etc.
- Sismicidad: En las regiones con una alta incidencia de la actividad sísmica; es decir las áreas tectónicamente activas, de las cuales ya se tienen precedentes conocidos en Costa Rica. Los componentes de los factores dinámicos son capaces de aportar mecanismos adicionales que contribuyen a la aceleración de los procesos.
- Volcanismo: Las áreas aledañas a los grandes aparatos volcánicos, generalmente son muy susceptibles a la inestabilidad, no solo durante los perio-

dos de actividad (por aporte de materiales adicionales, deformaciones de los edificios volcánicos, microsismicidad, etc.), sino también durante los períodos de latencia (repose) de los volcanes (calidad físico-mineralógica de los materiales, alteración hidrotermal, pendientes y ángulos de repose, etc.).

FACTORES ANTROPICOS:

En realidad, todos los factores anteriormente citados y cualquier otro natural que escape, conforman tan solo algunas de las etapas del ciclo geomorfológico normal, es decir, del equilibrio geológico.

El problema surge cuando el hombre, con su actividad constructiva y destructiva, se encarga de alterar el ambiente y por consecuencia, el resultado es la aceleración de los fenómenos. Es necesario tener claro el concepto de que el hombre, ante casi cualquier situación que plantee, sobre todo cuando se trata de desarrollo material, termina por alterar el ambiente de una u otra forma. De lo que se trata pues, es de no detener ese desarrollo material pero tratando de alterar lo menos posible el ambiente y por el contrario, dejar sentadas las condiciones de una recuperación lo más rápida y efectiva posible (Schuster y Krizek, 1978).

En Costa Rica, la actividad humana tiende a manifestarse con mayor intensidad desde el punto de vista de la inestabilidad de laderas, debido a que no se toman en cuenta estos factores en las políticas de planificación, en las áreas del desarrollo infraestructural (construcción de carreteras, explotación de tajos, desarrollos urbanísticos, etc.) y en los quehaceres agropecuarios (deforestación, sistemas inadecuados de pastoreo y agricultura, penetración y colonización en zonas de vocación netamente forestal, etc.).

Todos estos aspectos, serán discutidos más ampliamente en los capítulos siguientes.

CLASIFICACION DE LAS PRINCIPALES FORMAS DE INESTABILIDAD DE LADERAS EN COSTA RICA

GENERALIDADES:

A continuación se presentan las principales formas en que se manifiesta la inestabilidad de las laderas en Costa Rica. Debe aclararse el hecho de que no se

trata de un conjunto exhaustivo, pues el inventario hasta ahora realizado, no cubre la totalidad del territorio, tan solo sus partes accesibles o de las cuales hay referencia fidedignas.

Sin embargo, para efectos de identificación y para conocer su distribución espacial, han sido utilizados métodos de interpretación basados en fotografías aéreas convencionales e imágenes del satélite LANDSAT; además se ha utilizado toda la literatura disponible que haga referencias al tema.

Con ello, ha sido posible diferenciar tres tipos de áreas involucradas en el fenómeno: las áreas de erosión superficial, de remoción en masa y las zonas de recepción de los sedimentos. Estos casos serán particularizados enseguida, exponiendo al mismo tiempo los ejemplos más notables, su origen, mecanismos y consecuencias.

SUPERFICIES DE EROSION:

Este tipo de inestabilización de terrenos ha sido generado y extendido a prácticamente todo el territorio del país, particularmente en aquellas regiones que han sido desprovistas de su cobertura vegetal original. Se pueden citar los siguientes casos:

a- Areas de Erosión Laminar:

Se trata de zonas extensas de pendiente moderada y con suelos y sustratos relativamente homogéneos. Aquí, la erosión ocurre por medio de la remoción progresiva pero continua de capas delgadas de suelo, sobre todo en los períodos de mayor precipitación (Pérez et al., 1978, Pérez & Van Ginneken, 1978).

Este tipo de erosión resulta de la disgregación de los elementos terrosos menos cohesivos a causa del impacto de las lluvias y por la acción de la escoorrentía superficial final. Aunque puede pasar desapercibida, sus efectos son muy perniciosos, sobre todo para la agricultura, puesto que el arrastre consiste esencialmente de partículas finas y materia orgánica. Algunos indicios que ayudan a detectarla son: plantas con su sistema de raíces en superficie, presencia de montículos de suelo removido, colonización de especies vegetales propias de suelos degradados y abundancia de "piedras" de naturaleza igual al sustrato roso. En Costa Rica, se puede apreciar este fenómeno con todo su desarrollo en extensas áreas de la Península de Santa Elena y Nicoya (Cóbano, Nandayure, Hojan-

cha, Santa Cruz, Portegolpe) en la Fila Costeña (Paso Real, Térraba, Boruca, China-Kichá) al sur del Valle Central (Puriscal, Turrubares, Candelaria, Acosta, Cerro Herradura-Bijagual-Jacó) y en la Cordillera de Guanacaste (Hacha, Curubandé, Cuipilapa, Miramar) (Fig. 1).

b- Erosión por concentración preferencial:

Esta ocurre cuando el agua de escorrentía fluye por áreas preferenciales orientadas más o menos perpendicularmente a las curvas de nivel. La energía de la escorrentía es suficiente como para abrir incisiones en el suelo, cuyas dimensiones pueden variar desde pocos centímetros hasta varios metros de ancho; con ello, adquieren la denominación de surcos, zanjas y cárcavas. Esta última se presenta en zonas en donde la magnitud de los daños provocados por la erosión es ya considerable. Cuando alcanzan su máximo desarrollo, se les llama frecuentemente con el nombre de "Tierras Malas" ("bad lands").

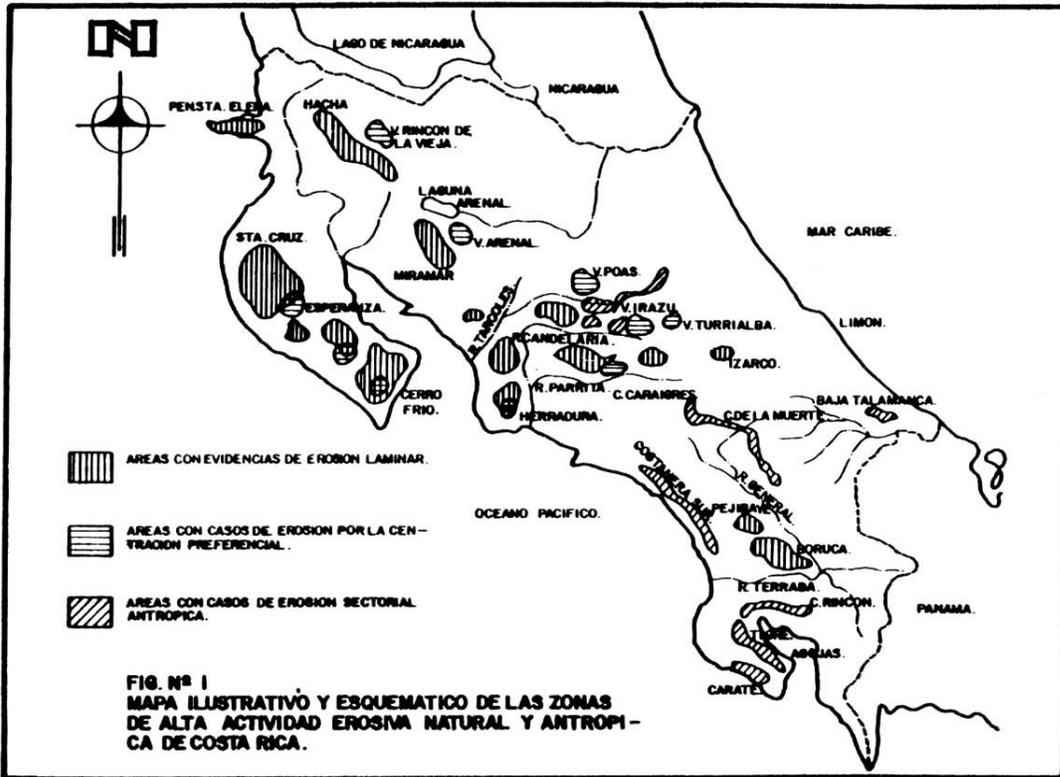
En Costa Rica, son estos casos también muy frecuentes, sobre todo en las áreas desprovistas de vegetación y cuya pendiente es muy fuerte. Tal es el caso de los flancos de ciertas montañas como los volcanes Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú, Turrialba y los Cerros Esperanza, Azul, Frío (Península de Nicoya), Caraigres (Dragón) y Herradura (Fig. 1).

c- Areas de erosión sectorial:

Este tipo de erosión no siempre ocurre en asociación a la presencia de una ladera, sin embargo es siempre una fuente muy importante de sedimentos, con lo que sus consecuencias son equivalentes a las de los casos anteriores y a la postre pueden generar desestabilizaciones mayores en las laderas aledañas.

Estas áreas se presentan en asociación estrecha con áreas de explotación de materias primas (tajos, minas a cielo abierto) aperturas de trochas, caminos y carreteras (cortes, rellenos, trincheras) desplantes para diversas obras de infraestructura (edificios, puentes) y explotación agrícola inadecuada del suelo. La construcción de la nueva carretera a Guápiles a través del Parque Nacional Braulio Carrillo es un buen ejemplo (Mora & Ramírez, 1983).

Se pueden citar algunos ejemplos en donde el fenómeno se ha manifestado con una magnitud considerable: tajos para materiales de préstamo granular (arenas, gravas, bloques, lastres, etc.) en los Ríos Virilla, Torres, Reventado, Chiquito, minas placéricas de la Península de Osa (Ríos Rincón, Tigre, Agujas, Barrigo



nes, Carate, Madrigal, etc.), mina a cielo abierto de Macacona; apertura de la trocha del Cerro San Miguel (La Cruz, Alajuelita), de las carreteras a Rincón de Osa, San José-Guápiles (Bajo de la Hondura), Costanera Sur, Panamericana en los alrededores del Cerro de la Muerte, etc. (Fig. 1; Brenes et al. 1983; Brenes et al. 1984).

Las consecuencias directas y/o indirectas de estos tipos de problemas erosivos son difíciles de evaluar, aunque en algunos casos comienzan a ser evidentes. El aumento en la velocidad de erosión de los suelos tiene consecuencias socio-económicas obvias en cuanto a las actividades productivas agropecuarias, sobre todo por la degradación de los suelos.

La relación causa-efecto de la disminución de la cobertura vegetal hará que aumente la escorrentía superficial, con lo que disminuirá la infiltración y los flujos hipodérmicos y subterráneos. Con ellos, se pierde la capacidad de regulación hidrogeológica de las cuencas y de recarga de los acuíferos. Además, la aceleración de la erosión tenderá inevitablemente a la desestabilización gravitatoria y masiva de las laderas.

Los productos de esta erosión ocasionan también graves perjuicios al ambiente, por ejemplo, por medio de la colmatación de las zonas de recarga fisurales y aluviales de los acuíferos; contaminación de los manantiales captados para uso doméstico-potable; alteración de los ambientes fluviales y marinos con la consecuente destrucción de las floras y faunas respectivas; pérdida de capacidad de embalses hidroeléctricos y de irrigación, etc.

REMOCION EN MASA DE TERRENOS

Esta segunda gran familia de laderas inestabilizadas, tiene la particularidad de ser mucho más evidente, espectacular y rápida. En síntesis, sus causas y consecuencias son más fácilmente detectables, aunque su prevención y corrección son por el contrario, mucho más difíciles de implementar en forma económica.

Se han reunido aquí aquellos casos en donde se desplazan masas considerables de suelos y rocas en longitudes relativamente cortas, bajo la acción de la gravedad y en mayor o menor grado de la cantidad de agua. Este último factor actúa, en la mayoría de los casos, como elemento de disparo del fenómeno.

Dada la velocidad, el volumen y la violencia del material removido, las consecuencias de este proceso son por lo general muy dañinas y a veces catastróficas desde el punto de vista socio-económico.

Los mismos factores de velocidad, volumen y cantidad de agua, así como su geometría, han permitido distinguirlos y clasificarlos en las categorías siguientes:

a- Reptación (Soliflucción):

Se trata de aquellos casos de laderas con suelos de granulometría fina parcial o totalmente saturados que se movilizan sobre pendientes relativamente moderadas (5 a 30°) y a velocidades del orden alrededor de un metro por año. El espesor de las capas del suelo deslizante, generalmente no es muy grande, rara vez superior a los 10 metros. El mecanismo de movimiento comienza a actuar a partir del momento en que la componente de los esfuerzos gravitacionales en relación con el sustrato y la superficie de la ladera, alcanza una magnitud superior a la resistencia al corte (cohesión y fricción interna) del suelo. Es un caso muy corriente en Costa Rica, sobre todo en áreas desprovistas de vegetación y sometidas a prácticas agropecuarias inadecuadas y en algunos casos a diseños incorrectos en los cortes de algunas carreteras.

A menudo, este fenómeno se asocia también con deficiencias en el drenaje natural y artificial de los suelos (Fig. 2).

Este fenómeno ha sido detectado en muchas regiones del país, tal es el caso de algunos sectores de las cuencas de los Ríos Chiquito (Arenal), Cote, Peñas Blancas, Poco Sol, Aranjuez, Toro, Patria, Virilla, Sucio, Hondura, Toro Amarillo, Savegre, División, Changuena, Limón y Coto Brus. Además, se ha observado en ciertas áreas, como las que fueron sometidas a los temblores de San Isidro, Golfito (1983) y Tilarán (1975) y la actividad del Volcán Irazú (Figs. 2 y 3) (Krushensky, 1968, 1972; Mora et al. 1984a).

b- Deslizamientos someros en suelos residuales (regolíticos) y coluviales:

Los deslizamientos someros en taludes de alta pendiente, son muy frecuentes en Costa Rica. Se asocian a suelos residuales de desarrollo moderado, desprovistos generalmente de cobertura forestal, cuyas raíces serían casi siempre suficientes para el sostenimiento de los materiales. Se distinguen estos desli

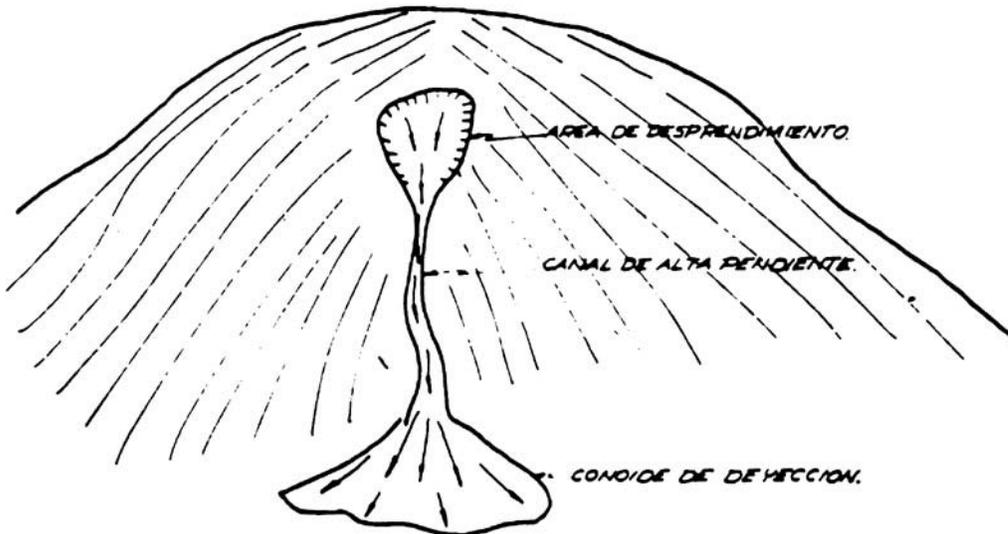
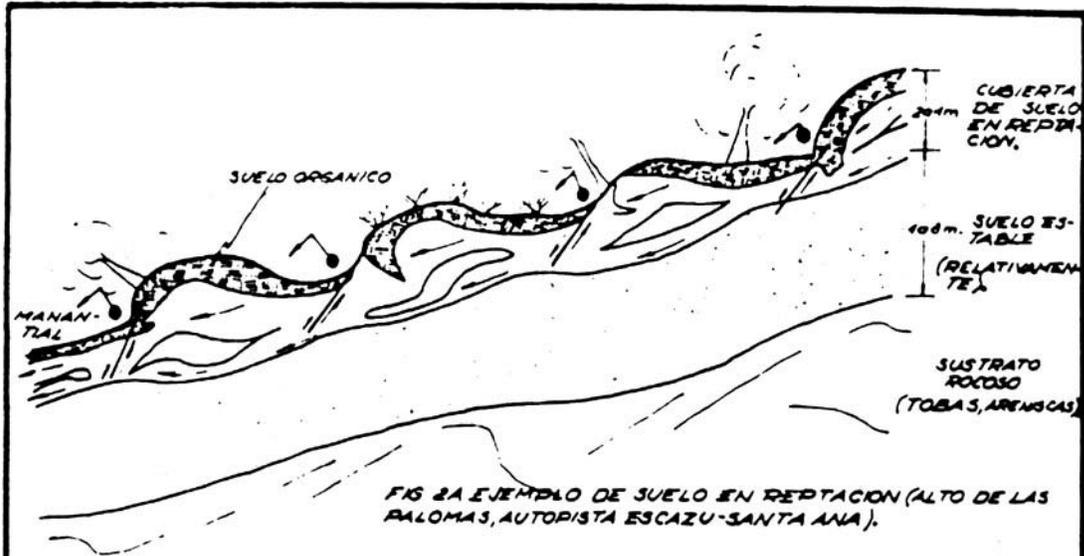
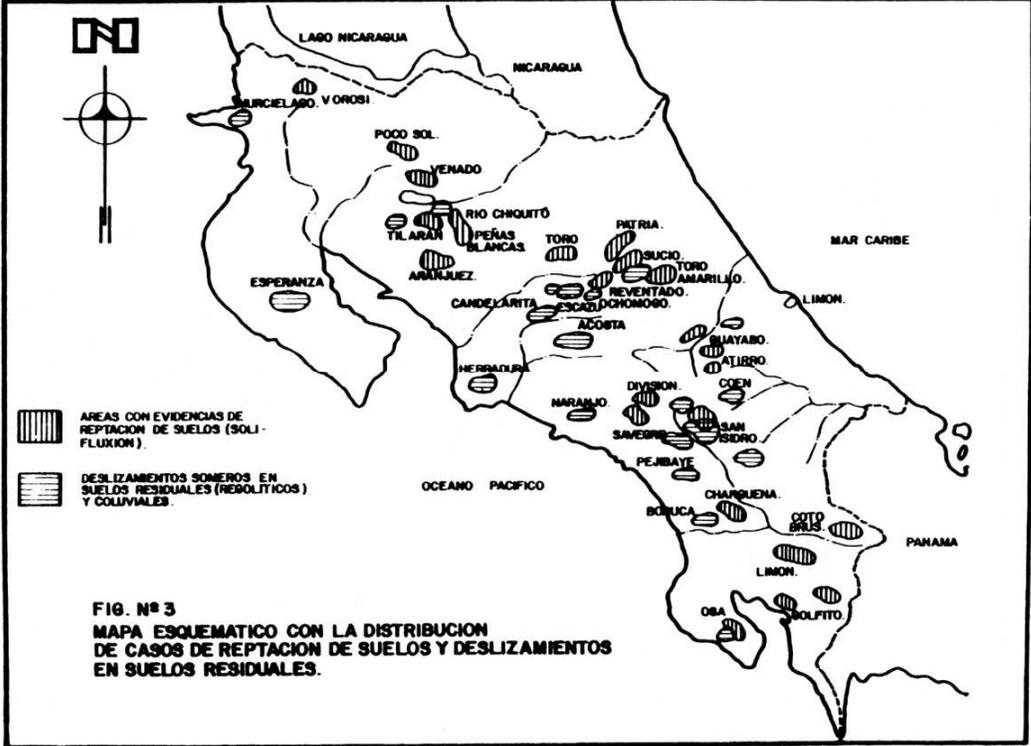


FIG 2B EJEMPLO ESQUEMATICO DE UN DESLIZAMIENTO SOMERO CUYOS DETRITOS SE HAN DESPLAZADO EN FORMA DE AVALANCHA A LO LARGO DE UN CANAL O QUEBRADA DE ALTA PENDIENTE. LOS MATERIALES SE DEPOSITAN AL PIE DE LA LADERA FORMANDO UN CONOIDE DE DEYECCION.



zamientos someros en dos tipos diferenciables:

Deslizamientos en Suelos Coluviales:

Los materiales coluviales en los taludes son generalmente muy comunes, por cuanto son el producto de la acumulación de escombros y detritos derivados de otros derrumbes ocurridos en partes más altas de la ladera.

Por lo general la reducción de la resistencia al cizallamiento de estos materiales, es el producto del desarrollo de los esfuerzos creados por la percolación (flujos hipodérmicos) de aguas de escorrentía o por el desequilibrio dinámico producido por un sismo (Fig. 4-A).

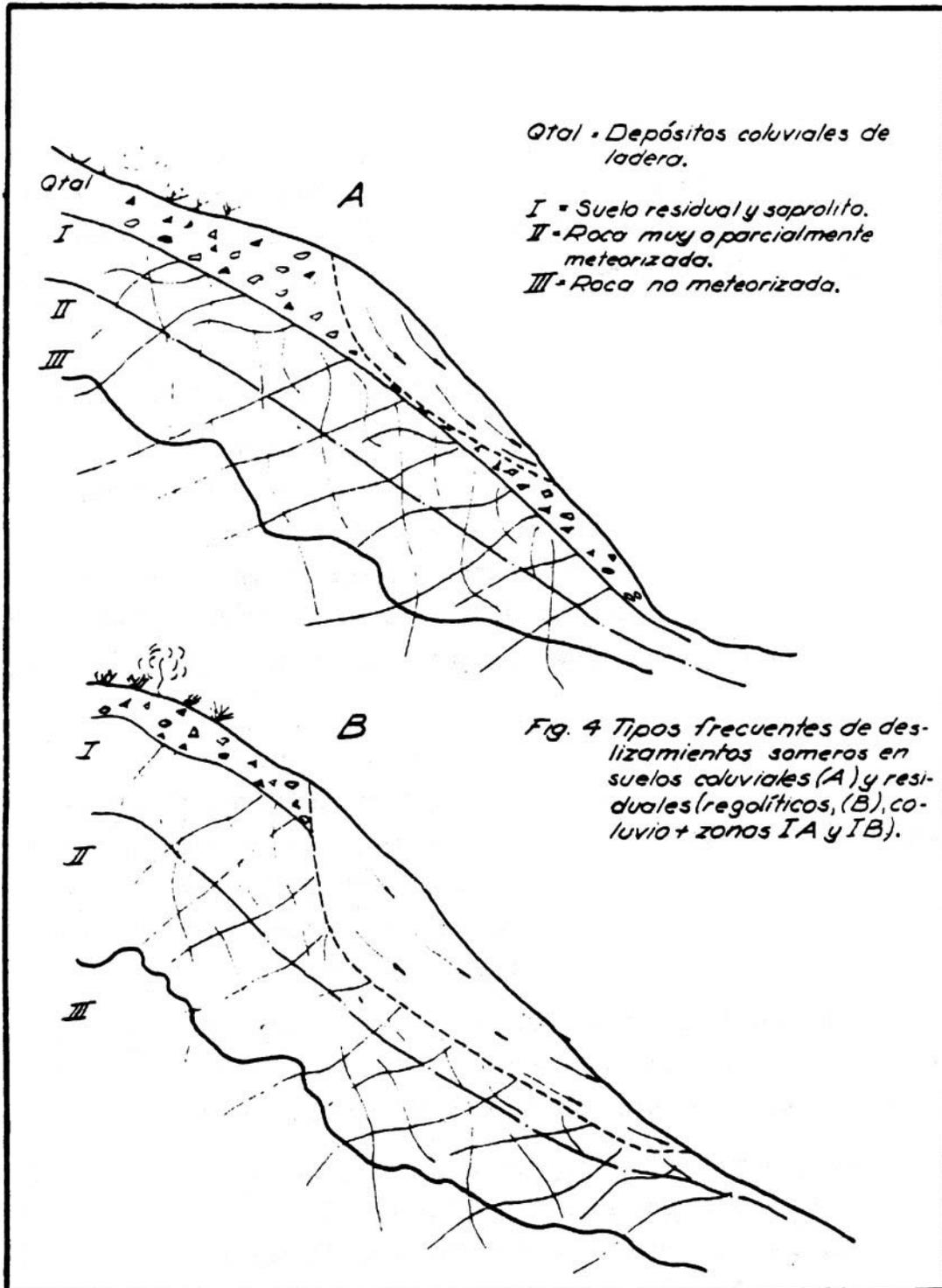
Deslizamientos en los Horizontes Superiores de Suelos Residuales:

Comúnmente son los materiales de los horizontes IA y IB de estos tipos de suelos, los que se deslizan sobre la roca parcialmente meteorizada subyacente. La razón de ello es casi siempre el aumento de presiones intersticiales durante las épocas de precipitación intensa y particularmente asociadas a períodos de fuerte actividad sísmica. En estos casos, la erosión regresiva, ladera arriba, de los materiales inestables es capaz de alcanzar proporciones considerables (Fig. 4-B).

Los mejores ejemplos de estos casos en Costa Rica, si bien el fenómeno es corriente por sí solo, se hicieron manifiestos durante los tres períodos de actividad sísmica más intensa de los últimos años; estos son los temblores de Tilarán (1975) y de Golfito y la División (1983) en donde la cantidad y extensión de los deslizamientos, en especial en este último, no tienen precedente en la historia reciente del país (Mora et al., 1984a).

En el área mayormente afectada por el temblor de La División (3/7/83) la relación del área deslizada/área total, alcanzó valores de hasta un 85% con un promedio general del 46% aproximadamente (Leandro et al. 1983).

Cabe destacar que en algunas ocasiones, el material desprendido es transportado a manera de torrente o avalancha, a lo largo de una quebrada o canal de alta pendiente como ha sido observado en la región de Savegre, Pejiballe y División (Fig. 2-B). En este último caso, también se presentaron ejemplos de avalanchas canalizadas producto de las labores de limpieza de los escombros que obstruyeron algunos tramos de la Carretera Interamericana. que cayeron durante



el terremoto de La División (3/7/83), los cuales eran botados desordenadamente y sin precaución desde la ruta hacia el fondo del valle.

Otras regiones del país, que han mostrado fenómenos semejantes aunque no necesariamente asociados a la actividad sísmica son: Murciélago (Península Santa Elena), Esperanza, Poco Sol, Cerros de Escazú y Candelaria, Herradura, Naranjo, Zapote, Península de Osa, Coto Brus, Guayabo, etc. (Fig. 3).

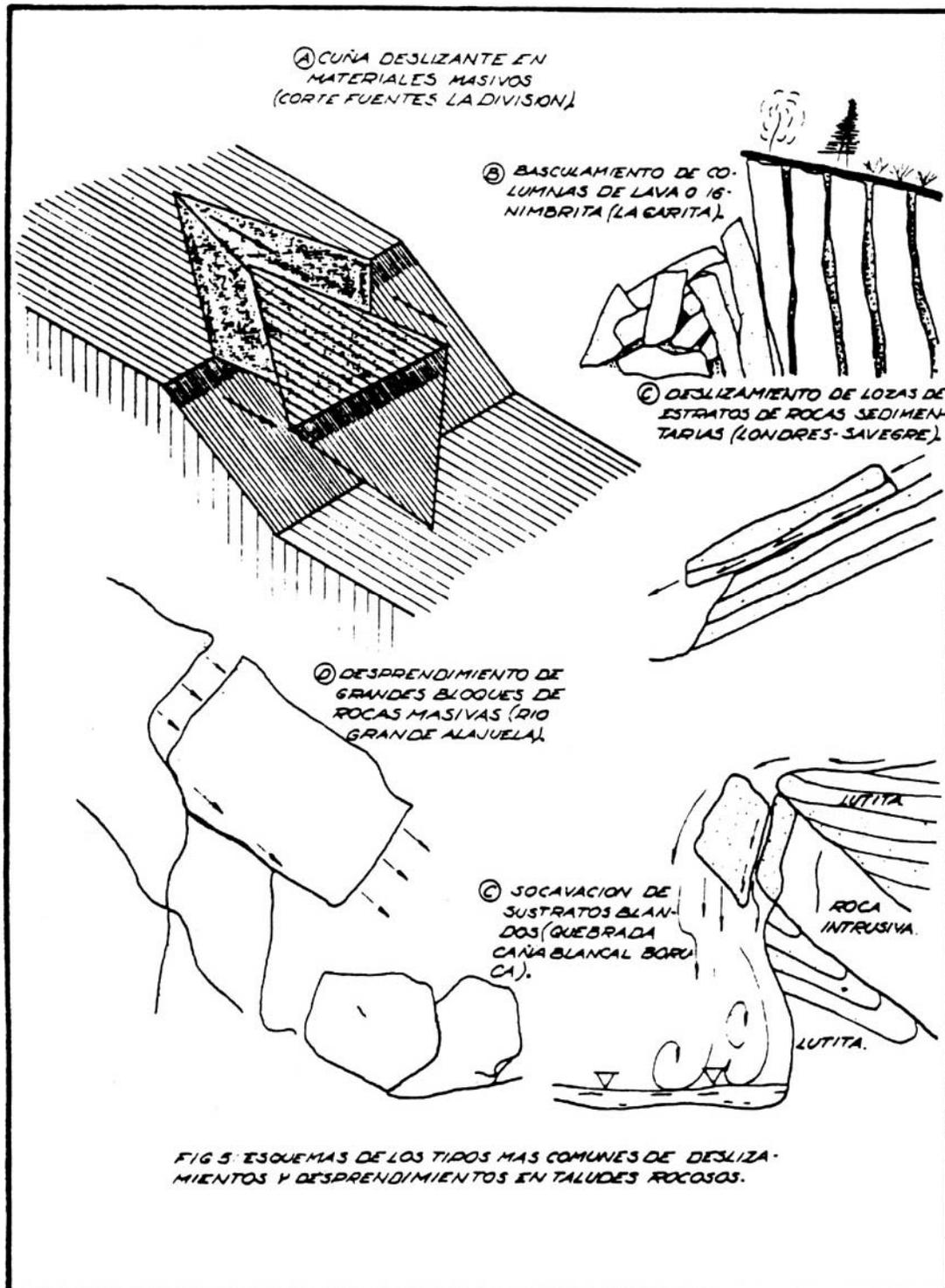
c- Deslizamiento y desprendimientos en taludes rocosos:

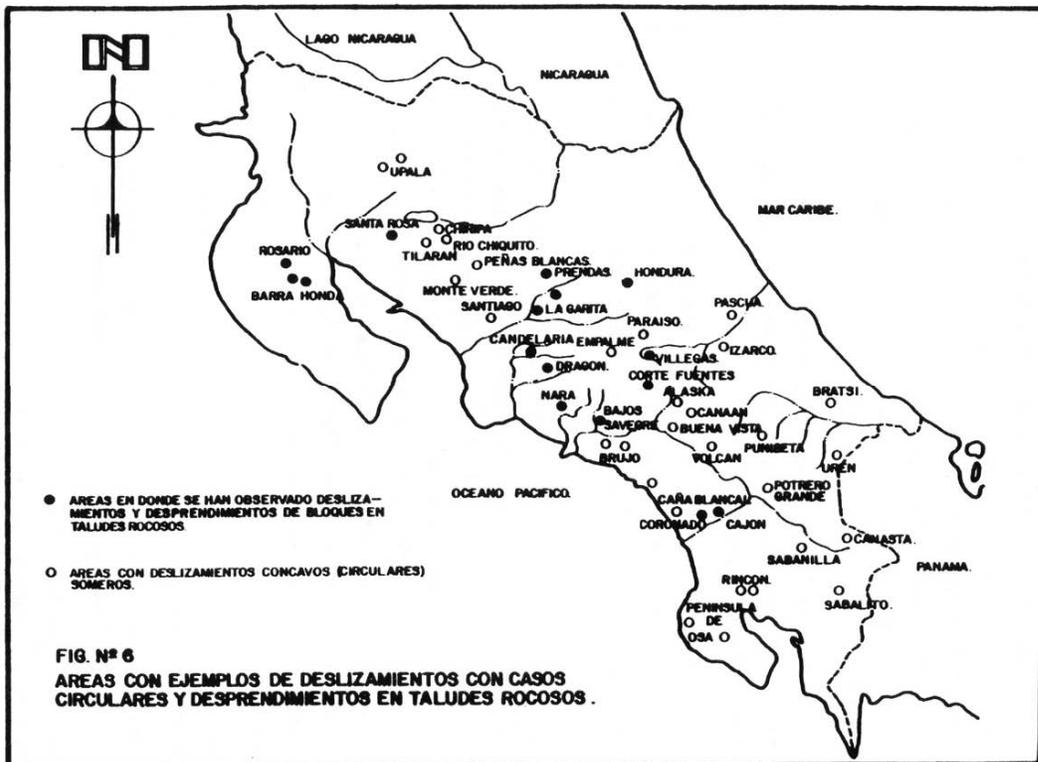
Estos deslizamientos y desprendimientos ocurren por lo general en áreas de laderas rocosas de muy fuerte pendiente, sobre todo en cañones y gargantas fluviales (Fig. 5).

Las variedades de este fenómeno son numerosas y obedecen sobre todo a las condiciones estructurales de los macizos rocosos. Se pueden mencionar los casos de "cuñas deslizantes" en el Corte Fuentes (Siberia, Cerro de la Muerte), basculamientos de columnas de ignimbritas y lavas contiguo al talud de la tubería de presión de la Planta la Garita, desprendimiento de cuñas de ignimbrita aguas arriba de la Presa la Garita (Río Grande), deslizamiento de "lozas" de estratos sedimentarios según las direcciones de buzamientos en Bajo Savegre (Mora et al. 1984b), movimientos de grandes diedros macizos como el de las calizas del paso Cajón (boruca), socavación de materiales infrayacentes en cataratas o saltos de agua como los de las quebradas Canchén y Caña Blanca (Palmar Norte; Mora, 1979) y del Río Prendas (Alajuela; Figs. 5 y 6).

Las presiones hidrostáticas producidas por las aguas de infiltración dentro de las diaclasas y fracturas del macizo, el lavado de materiales de relleno y la lubricación de éstos, son las causas más comunes de este tipo de problemas.

Entre otros ejemplos, menos comunes, se puede citar el caso del Cerro Chirripó y sus alrededores, en donde el efecto de congelamiento y expansión (crioclastia, gelifracturación) del agua dentro de las fisuras provoca la desintegración de las rocas y forma depósitos de "canchales" y derrubios (escombros rocosos).





d- Deslizamientos de fallas cóncavas:

Esta familia tan común de deslizamiento, comprende aquellos tipos en donde la superficie o zona de ruptura sobre la cual se moviliza la parte esencial del material, posee una geometría curva cóncava hacia arriba. En posición frontal, los deslizamientos adquieren una morfología en "cuchara" y su perfil a veces alcanza a ser un arco de círculo, de ahí la generalización de "falla circular" (Fig. 7).

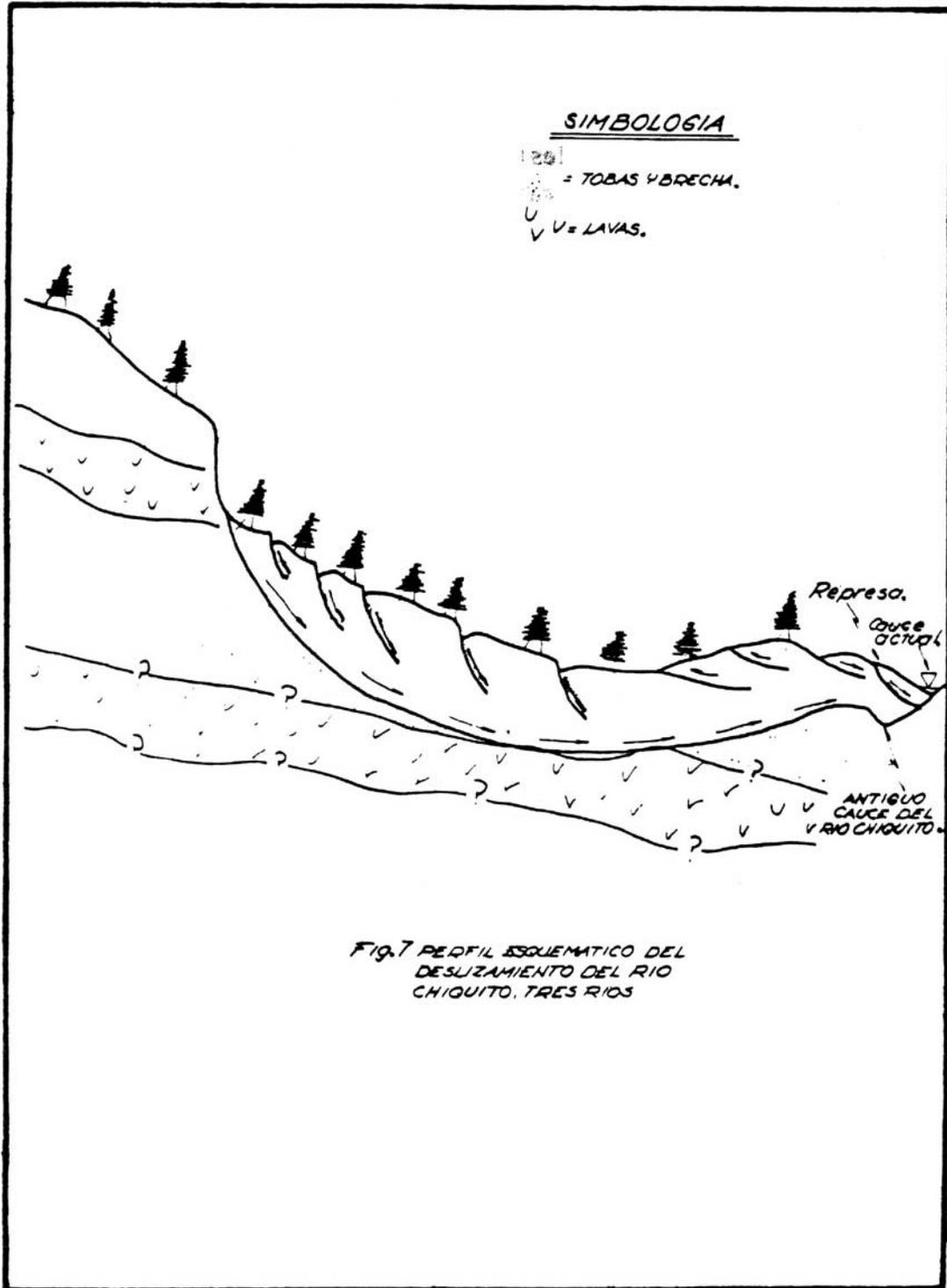
En función de la longitud del radio y del arco de círculo, así como de la profundidad de la superficie o zona de ruptura, se puede distinguir entre deslizamientos profundos y someros.

Es de hacer notar que este tipo de deslizamientos ocurren en áreas con es pesores considerables de suelo, cuyo origen puede ser muy variado: suelos transportados (aluviones, coluvios), residuales (regolitos), alteración hidrotermal y/o meteorización.

Las presiones de poros, los flujos hidrodinámicos preferenciales y la socavación fluvial de las partes inferiores de los sectores inestables, son causantes primordiales de esta clase de deslizamientos. Ocurren a menudo en la laderas de suelos de espesor moderado y de pendientes intermedias (15 a 25°). Frecuentemente, se les observa y también en cortes de caminos y carreteras (Rincón de Osa, Puriscal, etc.) y en laderas naturales de suelos rojos lateríticos mal drenados, como en la Península de Osa, en el Valle del General, Paraíso de Cartago, en el Valle de Talamanca y en la Cuenca de los Ríos Savegre y Reventazón (Fig. 6).

Se han visto también asociados a la actividad sísmica en suelos de desarrollo moderado, como en Tilarán, Monte Verde, Peñas Blancas, Chiripa, Río Chiquito (Arenal) en el área de Pérez Zeledón, Cerro Sombrero, Alaska, Buena Vista, en el Alto de Santiago (San Ramón), la Georgiana, etc.

Cuando las laderas son artificiales, sobre todo en cortes de carretera de dimensiones considerables, se les ha visto manifestarse en la Carretera a Rincón de Osa, en la Costanera Sur, en el Tramo Casamata-Ventolera de la Panamericana al Cerro de la Muerte, la ruta a Upala y a Terrón Colorado (Fig. 6).



e- Deslizamientos de gran tamaño:

Existen en Costa Rica, no menos de diez deslizamientos reconocidos cuya magnitud los hace ser considerados como capaces de ocasionar **graves** daños al ambiente y sobre todo a la infraestructura humana.

Dada su extensión, volúmen y ubicación, la mayoría de ellos han sido reconocidos y su potencialidad destructiva identificada desde hace ya bastantes años. Desafortunadamente, la falta de políticas de prevención y planificación ha impedido siquiera el destinar un mínimo de recursos que permita por lo menos delimitarlos y descifrar su contexto geológico-geotécnico, evaluar su grado de desarrollo e inestabilidad y definir las zonas directa o indirectamente bajo la influencia de los fenómenos (Figs. 8, 9 y 10).

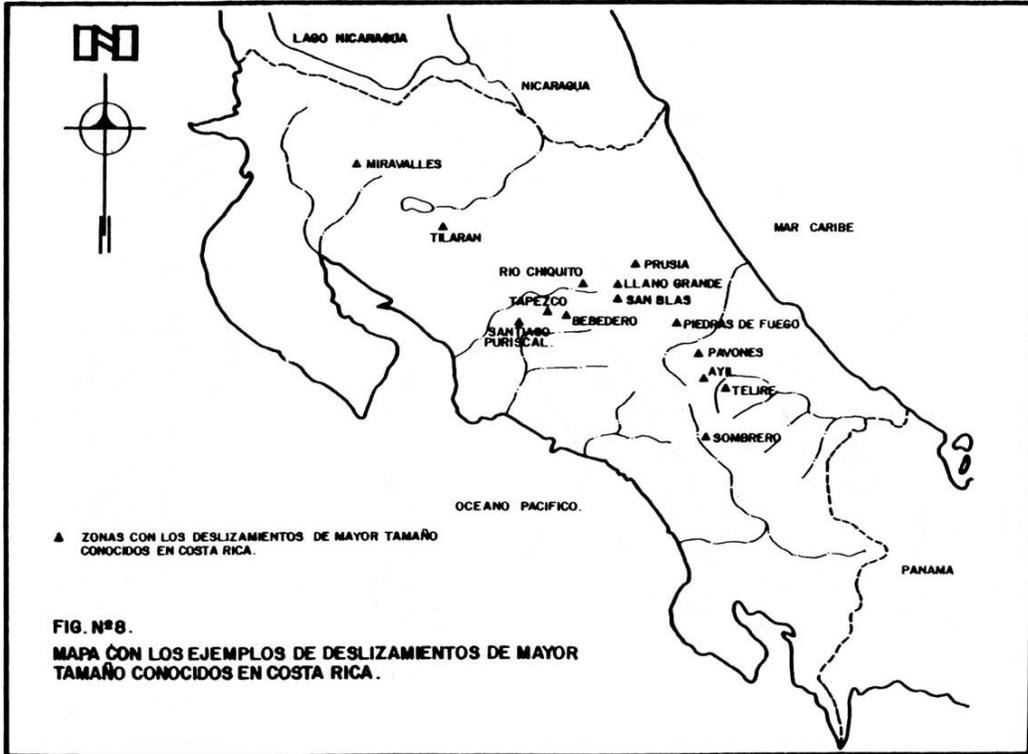
Desde el punto de vista urbanístico, hay incluso deslizamientos mayores sobre los cuales hay asentada toda una población importante. Tal es el caso de Santiago de Puriscal.

En otros, las poblaciones se encuentran en áreas bajo la influencia del desarrollo secundario de los deslizamientos, es decir, las avalanchas por ejemplo de el Alto de Tapezco y la Ciudad de Santa Ana (Fig. 9) y el Cerro Sombrero (fig. 7) y San Isidro de Pérez Zeledón y el del Río Chiquito con Tres Ríos y Curridabat (Ureña, R., 1984, Mora, 1985a, Granados et al. 1981).

Las obras de infraestructura, áreas agropecuarias, poblaciones menores, etc., se ven también amenazadas, como en el caso del deslizamiento del Cerro Tilarán y los de Piedras de Fuego y Pavones (Mora & Piedra, 1977).

El deslizamiento del Cerro Tilarán es un subproducto del sismo de Tilarán (1975) en donde una ladera de pendiente relativamente fuerte (25°) compuesta de materiales volcánicos (lavas y tobas) se desestabilizó a causa de una sobrecarga producida por las fuertes lluvias del invierno de ese año.

El deslizamiento del Río Chiquito (Tres Ríos), fue ocasionado por la explotación irracional de un tajo de materiales de construcción que todavía se mantiene activo. Este deslizamiento represó el río y formó un embalse que amenaza con romper su frágil barrera y generar una avalancha de proporciones importantes (Granados et al. 1981).



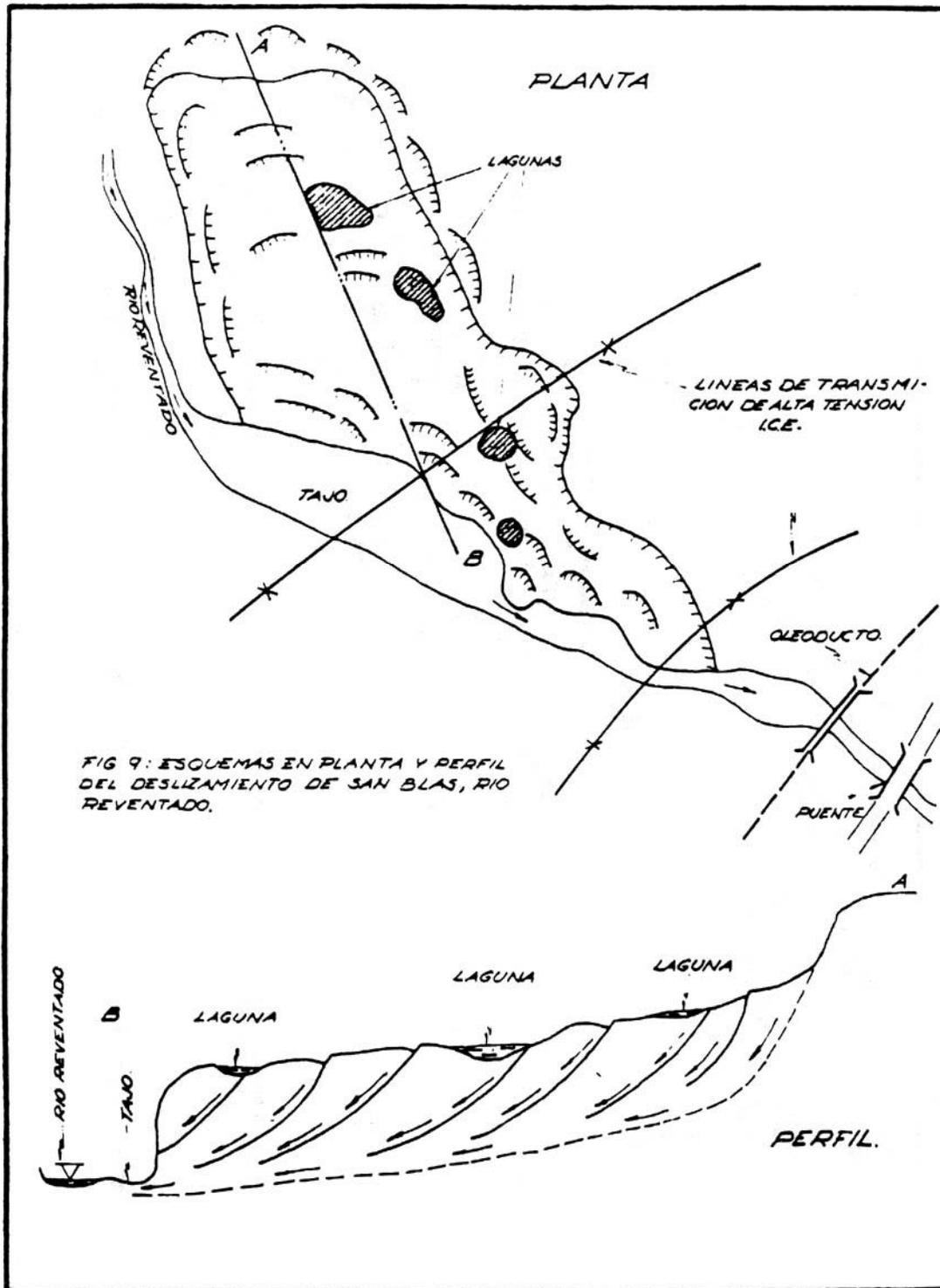
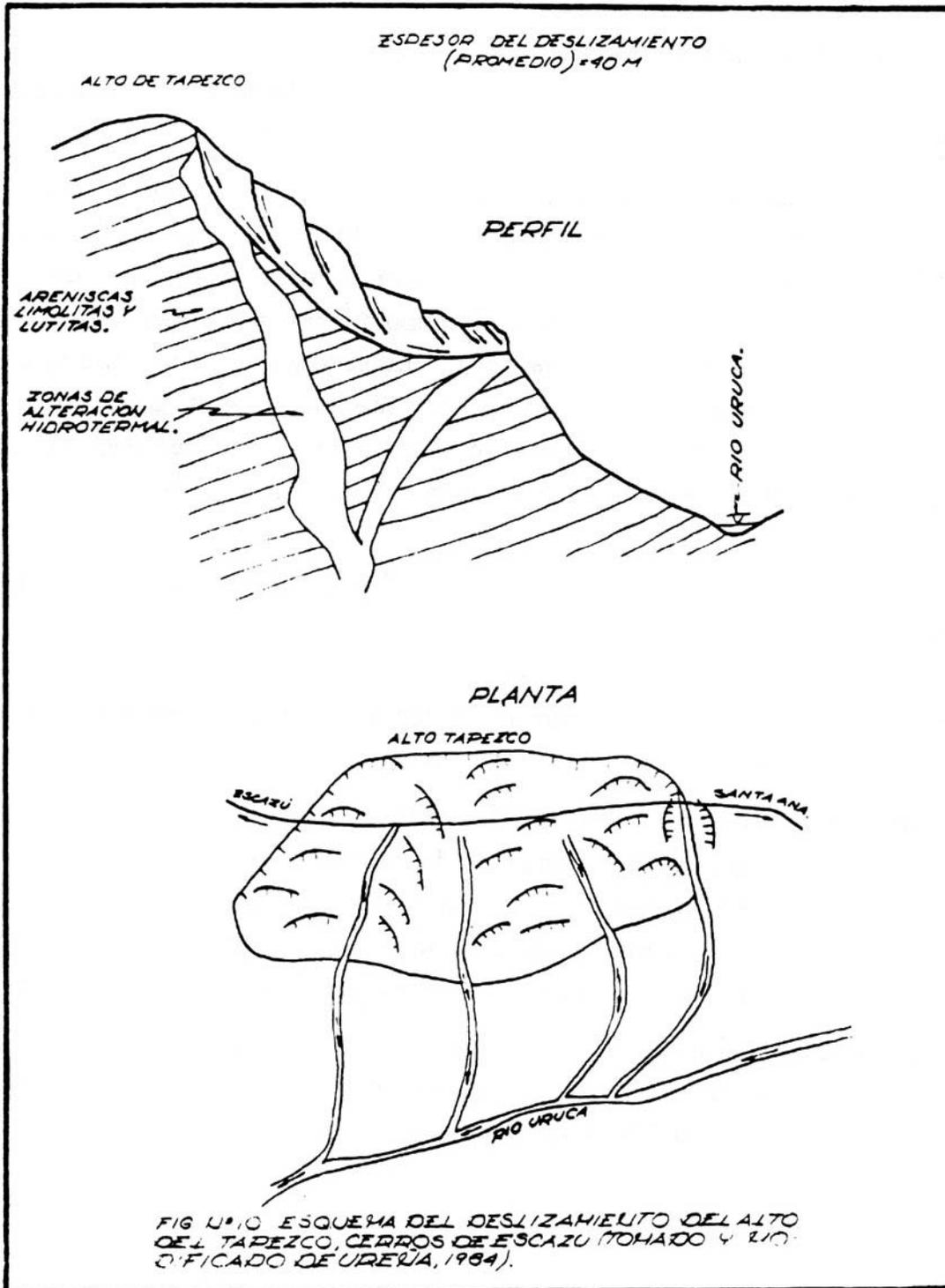


FIG 9: ESQUEMAS EN PLANTA Y PERFIL DEL DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS, RIO REVENTADO.



En el Alto de Tapezco (Cerros de Escazú), la deforestación y mal manejo de los suelos agravaron la acción de la alteración hidrotermal, contribuyendo a la pérdida de la resistencia al corte de un conjunto de rocas sedimentarias (areniscas, limolitas y lutitas), con sectores sumamente meteorizados ricos en arcillas limosas de alta plasticidad y casi permanentemente humedecidos por la acción de varios manantiales (Fig. 10; Ureña, 1984).

La actividad del Volcán Irazú, con sus emisiones de ceniza y otros factores más (lluvias anormales, deformaciones, vibraciones) hicieron de la Cuenca del Río Reventado una de las zonas con mayor inestabilidad de laderas en Costa Rica. Entre los deslizamientos más importantes se pueden citar los de San Blas, Llano Grande, Prusia, Retes, etc. La situación, para algunos de ellos se ha agravado peligrosamente con la actividad de algunos tajos que, al extraer los materiales, socavan las laderas e inestabilizan los terrenos (Krushensky, 1968, 1972; Lezama y Mora, 1982; Waldron, 1967; Cortés, 1984; Mora en preparación).

El deslizamiento del Cerro Sombrero, fue uno de los más importantes que se generaron durante el período de actividad sísmica de la División (3/7/85). Afortunadamente, la actividad y energía de los temblores no fue suficiente para que se lograra por el momento una desestabilización completa del cerro, (Mora et al. 1984).

En el Río Moravia (Chara) al final de los años 50, durante un fuerte temporal ocurrió un gran desprendimiento de bloques que formó una represa natural que a su vez generó un lago. Esta represa ha sido paulatinamente erosionada por el río, lo que ha formado varias avalanchas e inundaciones y el lago se ha convertido más bien en una laguna pantanosa (Granados, R., 1985, com. verb.).

En la Cuenca media del Río Telire (Río Llei y flanco norte de la Lleskila) existe un deslizamiento activo muy grande y en su interior se ha formado una laguna de regular tamaño (Dabari), (Madrigal y Rojas, 1980).

LOS DEPOSITOS Y PRODUCTOS DE LA ACUMULACION DE DETRITOS DE LADERA

GENERALIDADES:

La acumulación de escombros y detritos de ladera se realiza y adquiere su morfología, de acuerdo a varios parámetros. Esencialmente se reconocen como fundamentales los que dependen del tipo de deslizamiento, la cantidad de agua durante el transporte, la composición granulométrica del material y la topografía de la zona de recepción. La asociación de estos tipos de fenómenos con la generación eventual de inundaciones y avalanchas catastróficas en el país, ha tenido una correlación con los sismos y temporales históricos de los que se tiene referencia para varias regiones.

En Costa Rica han sido identificadas las siguientes morfologías de depósitos de ladera:

DEPOSITOS COLUVIALES (TALWEG, TALUS)

Son los productos de la acumulación de los detritos, en donde la distancia de acarreo gravitatorio no es considerable. Los materiales se quedan más bien, en las mismas faldas y laderas de las montañas. Algunos ejemplos de este tipo de depósitos se pueden observar en los Cerros Barra Honda, Quebrada Honda, Rosario, y Caballito de Guanacaste, en la Fila de la Cal, Cerros Anguciana, Zapote y Cajón de la Fila Costeña, Fila Matama (Limón) y otros (Fig. 11; Mora, 1977, 1979, 1981; Mora et al. 1985b).

CONOIDES DE DEYECCION

Consisten de acumulaciones de detritos al pie de las laderas, propiamente en los sitios de cambio de pendiente hacia gradientes moderados, en donde los escombros, transportados tanto "en seco" como en avalanchas, forman medios o cuartos de cono. Se les puede apreciar en Canaán de Pérez Zeledón, Tapantí y Orosi de Paraíso y en los Ríos Blanco de Savegre, Coobó y Campana de Boruca (Figs. 2b y 12).

ABANICOS ALUVIALES

La depositación, progresiva y continua de materiales en las áreas planas, de materiales provenientes de las grandes montañas y acarreados por ríos de considerable caudal, forma los abanicos aluviales. En la mayoría de los casos, esta depositación se realiza en forma de avalanchas, y por lo general, con el concurso

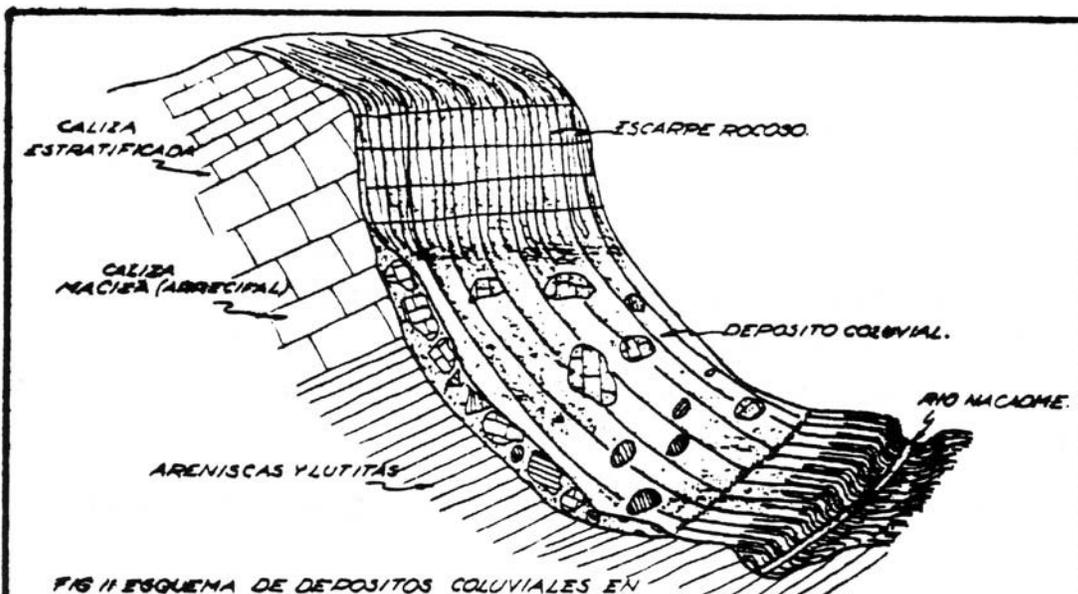


FIG 11 ESQUEMA DE DEPOSITOS COLUVIALES EN LA LADERA MISMA DE LAS MONTANAS (MODELO: CERRO BARRA MONDA-NICOWA)

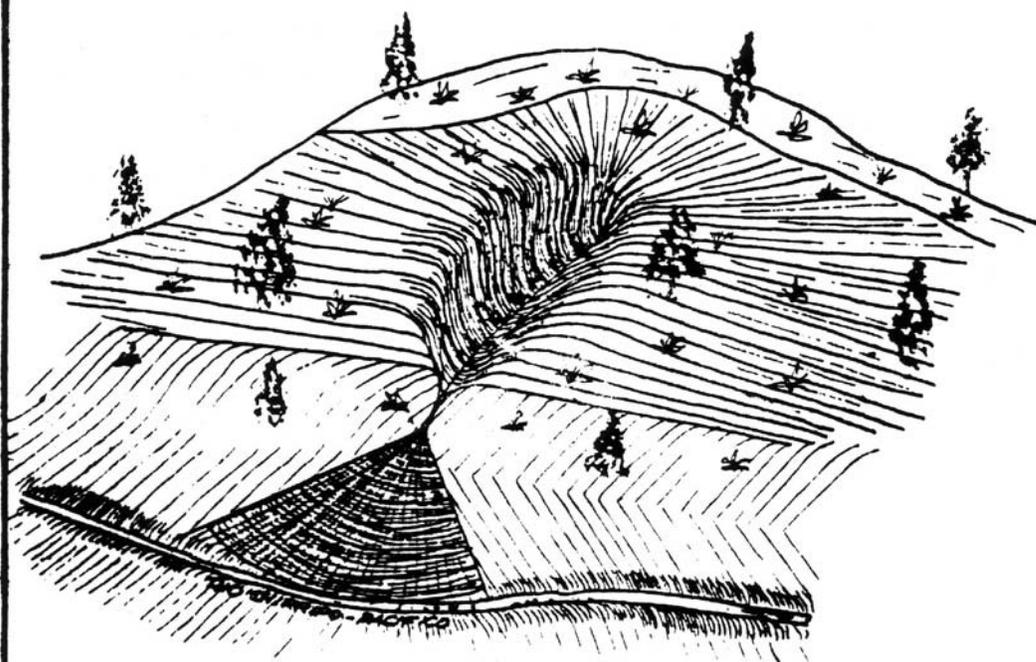


FIG 12 ESQUEMA DE UN DEPOSITO DEL TIPO CONCAVE DE DEYECCION (MODELO: CANAAN-PEREZ ZELEDON).

de gran cantidad de agua.

Este tipo de depósito torrencial es muy corriente en las depresiones de este país. Para citar tan solo los casos más notables, se pueden mencionar los abanicos del Valle del General (San Isidro, Volcán, Buenos Aires, Cabagra, Mosca, Cotón y Coto Brus) los de los Valles de Talamanca (Telire, Coen, Urén) Estrella, Los Santos (Copey, Santa María, San Marcos), Central (Santa Ana, Escazú, Alajuelita, Aserrí), Orosi, Cachí, Parrita, Naranjo, Savegre, Corredores, Canoas, etc. (Fig. 13).

LAHARES

Es un caso particular de los abanicos aluviales en donde la totalidad de los materiales es de origen volcánico y han sido transportados en forma de avalancha y depositados caóticamente. El caso más típico y mejor conocido, dada su reciente generación, es el de Taras de Cartago (Reventado), pero también se pueden citar los de Alajuela, Heredia, Virilla, Toro Amarillo, Chirripó, Jiménez, Sucio, Toro y otros (Fig. 13).

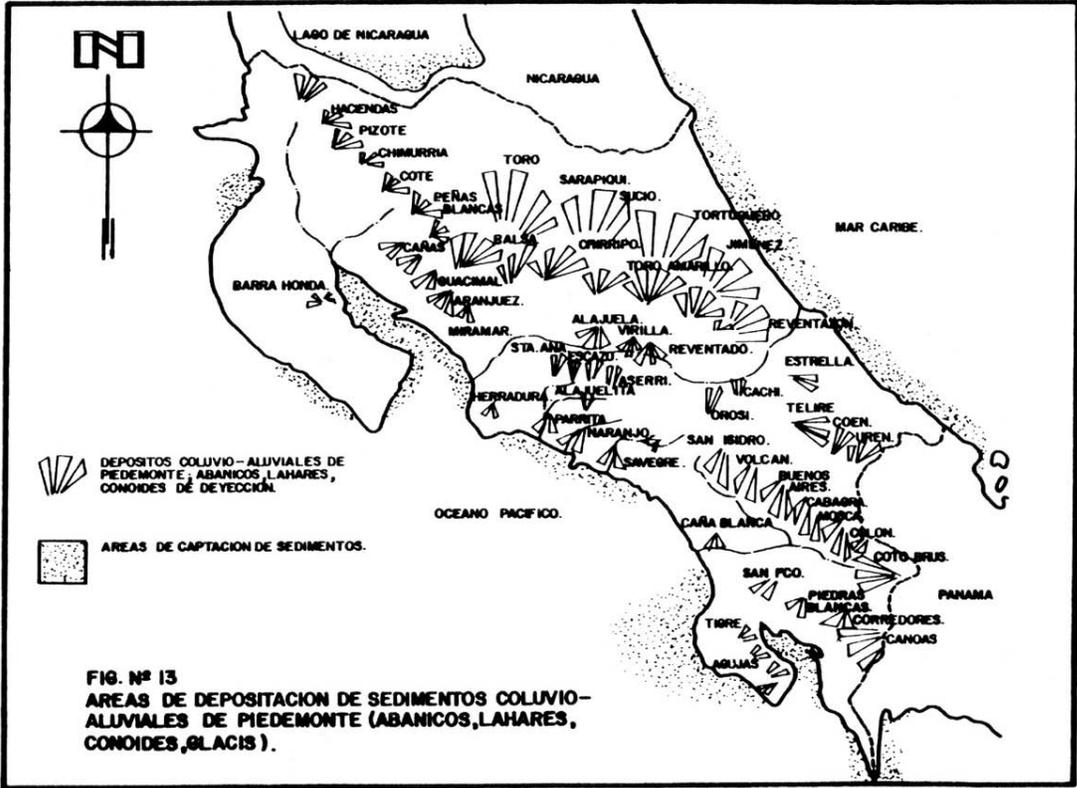
MÉTODOS DE ESTUDIO Y PREVENCIÓN

Si el objetivo fuera el de desarrollar un mecanismo de protección civil y con ello procurar salvaguardar los intereses socio-económicos de las distintas poblaciones, no hay otro camino que el de intentar conocer a fondo los detalles del fenómeno de inestabilidad de laderas.

No se podrá, bajo ninguna circunstancia, pretender pronosticar la evolución de un deslizamiento, o peor aún, ignorar o subestimar su importancia y simplemente decidir esperar el desenlace final.

En el flujograma de la figura 14, se presenta una red de aportes y factores con los cuales se pueden conocer y evaluar las características de un deslizamiento y con ello, tener una base para sentar las políticas de planificación de la defensa civil del país.

La Geomorfología, utiliza las técnicas de fotointerpretación análisis cartográficos (anomalías topográficas, relieve, drenajes superficiales) para identificar las zonas de mayor susceptibilidad a base de criterios geológicos, que toman en cuenta los tipos de litología (susceptibilidad a la erosión y meteorización)



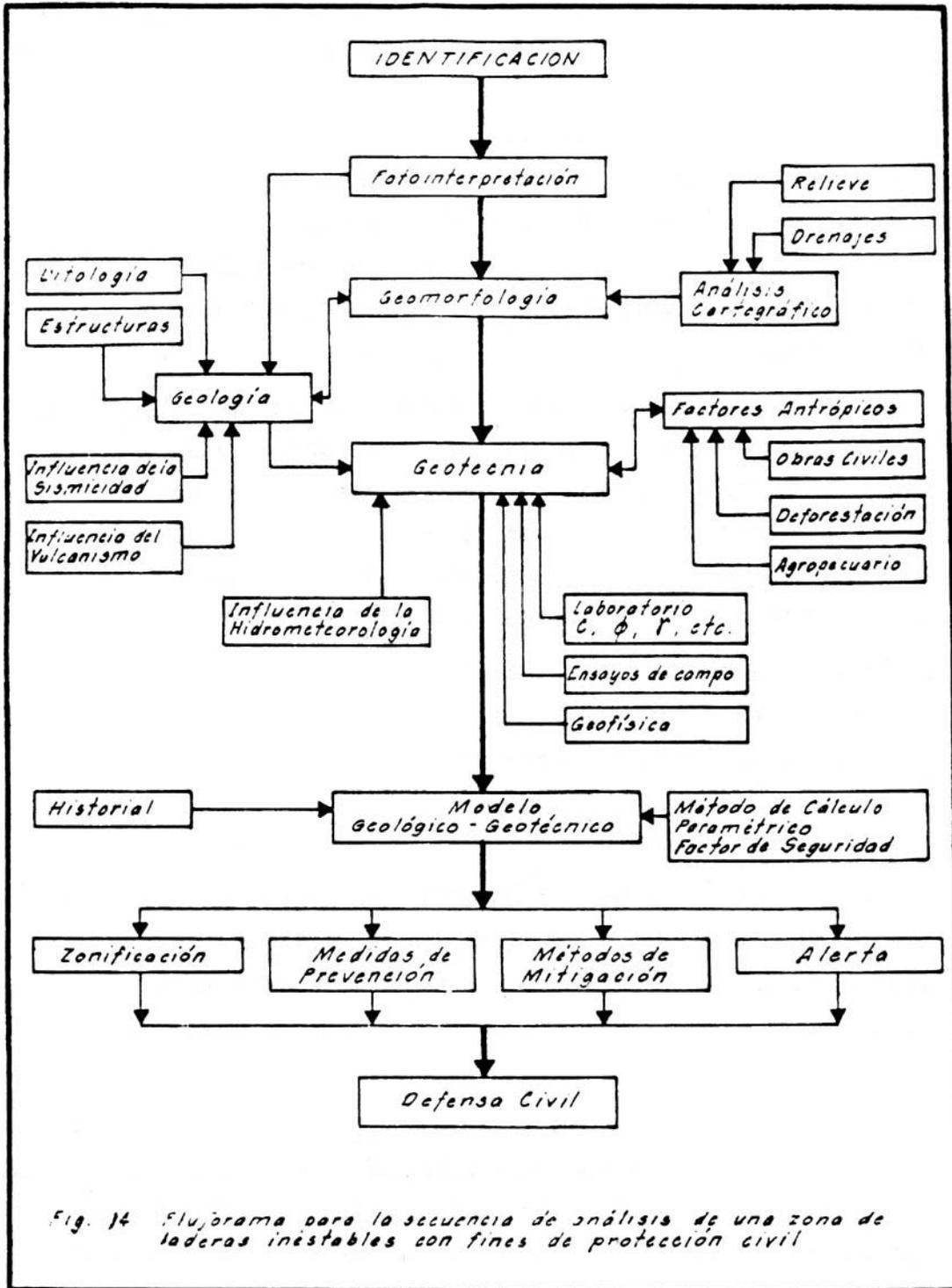


Fig. 14 Flujo-rama para la secuencia de análisis de una zona de laderas inestables con fines de protección civil

y estructura (buzamientos de los estratos, orientaciones preferenciales y densidad de diaclasas). Además, se puede definir otra serie de argumentos y relaciones que pueden explicar el fenómeno y su arraigo con las condiciones regionales. Obviamente, la definición de los sistemas y regímenes hidrodinámicos (precipitación, escorrentía superficial, hipodérmica, subterránea, etc.) ofrecen muchas veces la clave sobre las causas directas de determinados casos, en donde el agua juega el papel más relevante. La sismicidad y el volcanismo son dos factores de mucha importancia a considerar en Costa Rica y el área Centroamericana en general.

Nótese que en realidad, es la Geotecnia, con sus métodos propios, tanto de laboratorio, como de campo y con los aportes de otras ramas de las ciencias, la que puede considerarse como capaz de centralizar y correlacionar la información obtenida. Obviamente, poco se podrá hacer sin el aporte fundamental de la Geología y Geomorfología, con cuyo concurso se alcanza el desarrollo de un modelo geológico-geotécnico y la estimación de un factor de seguridad.

Con base en esto y no menos, se puede establecer el principio para una zonificación del área de influencia y con ello comenzar a implementar las medidas para la zonificación, control, prevención y mitigación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las condiciones del clima, topografía y geología de Costa Rica, son los factores básicos, según los cuales se generan y desarrollan los fenómenos de inestabilidad de laderas. A esto hay que agregar lo que al menos durante el transcurso de este siglo, se ha convertido en el factor de mayor influencia: la actividad humana.

La deficiente e incluso a veces ausente planificación de la utilización del espacio y del medio, ha provocado una expansión desordenada e irracional de la infraestructura: áreas urbanas, carreteras, deforestación, mal manejo de las áreas agropecuarias, etc., con lo que se han acelerado notablemente los fenómenos de desestabilización.

En Costa Rica, los tipos de fenómenos de inestabilidad más corriente son: la erosión (laminar, concentrada y sectorial) y la remoción en masa de terrenos (reptación, deslizamiento someros y profundos y desprendimientos de taludes rocosos).

Algunos deslizamientos de gran tamaño, amenazan ya en forma directa la infraestructura humana, con su costo socio-económico respectivo. Tal es el caso de algunos sectores de Tilarán-Arenal, Puriscal, Alto Tapezco, Cuenca del Río Reventado, Río Chiquito (Tres Ríos), Pavones-Piedras de Fuego y Pérez Zeledón.

El establecimiento de programas de estudio y evaluación de estos fenómenos, permitirá la elaboración de políticas realistas de planificación y prevención para propósitos de protección civil.

Gracias a esta serie de criterios y conceptos ha sido posible identificar de manera muy general y a una escala muy pequeña (1:200.000) tres tipos de macrosectores (Fig. 15): las áreas de alta susceptibilidad a la inestabilidad de laderas; las áreas marginales de moderada susceptibilidad a la inestabilidad pero sujetas a las consecuencias indirectas de recepción de materiales y por último, las áreas planas, cuyo riesgo se ve limitado a efectos secundarios como las inundaciones y desbordamientos generados por la inestabilidad de las regiones más altas.

AGRADECIMIENTOS

El texto de este artículo fue revisado por los Geólogos Ricardo Granados y Guillermo Alvarado, así como por los Ingenieros Julio Delgado, Gastón Laporte y Miguel Bolaños, quienes de una u otra forma contribuyeron con sugerencias e ideas con miras a su mejoramiento.

También se agradece a Damaris González la mecanografía de este trabajo.

El contenido del este artículo fue expuesto en forma de conferencia en el Congreso Nacional de Ingeniería Civil, el día 15 de mayo de 1985, en San José Costa Rica.

BIBLIOGRAFIA

- Brenes, G., Mora, S., Valerio, C. & Vargas, G., 1983: Estudio de impacto ambiental de las explotaciones placéricas en el Río Agujas, Península de Osa. - 56 págs., CONSULTECNICA, SA-CARREZ, SA (informe inédito, San José, CR).
- _____, 1984: Estudio de impacto ambiental de las explotaciones auríferas en el Río Tigre, Península de Osa. - 49 págs., CONSULTECNICA, SA-CARREZ, SA (informe inédito, San José, CR).
- Cortés, V., 1984: Alteración del medio ambiente en la cuenca superior del Río Reventado y su restauración.- 30 págs. Curso Conservación del Medio Ambiente, Depto. de Geografía, UCR, (informe inédito).
- Granados, R., Leandro, G., León, C. & Torres, C., 1981: Estudio del deslizamiento del Río Chiquito, Tres Ríos. - 19 págs. Escuela Centroamericana de Geología, UCR (informe inédito).
- Krushensky, R., 1968: Geology of the Reventado Watershed, Costa Rica.- 19 págs., U.S. Geol. Surv. Proj. Rept. (1R) CR - 9A.
- Krushensky, R., 1972: Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. - 46 págs., U.S. Geol. Surv. Bull. 1358.
- Leandro, G., León, C., Montalto, F., Elizondo, J. & Chavez, R., 1983: Informe Geológico-Geotécnico preliminar sobre el sismo de la División, Pérez Zeledón (3/7/83).- 69 págs., Comisión Nacional de Emergencia-Depto. de Geología, ICE-RECOPE (informe inédito).
- Lezama, G. & Mora, S., 1982: Análisis de estabilidad del puente del oleoducto sobre el Río Reventado, Cartago, Costa Rica.- 60 págs., RECOPE (informe inédito).
- Madrigal, R. & Rojas, G., 1980: Mapa geomorfológico de Costa Rica; escala 1:200.000; con manual descriptivo. OPSA-MIDEPLAN.
- Mora, S., 1977: Estudio de reconocimiento geológico-geotécnico de los sitios de presa Bribrí y Scheuab. Proyecto Talamanca.- 42 págs., Depto. Geología, ICE (informe inédito).
- Mora, S., 1979: Estudio geológico-geotécnico de factibilidad del Proyecto Boruca. 121 + 98 págs. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica (tesis inédita).
- Mora, S., 1981: Barra Honda. - 92 págs. Editorial U.N.E.D., Costa Rica.
- Mora, S. & Piedra, J., 1977: Estudio geológico-geotécnico de reconocimiento de la alternativa Angostura-Izarco, Proyecto Angostura.- 56 págs., Depto. Geología, ICE (informe inédito).

- Mora, S. & Ramírez, O., 1983: Estudio geológico-geotécnico preliminar del sitio del puente sobre el Río Sucio, Proyecto San José-Siquirres.- 96 págs., INGEOSA-MOPT (informe inédito).
- Mora, S., Valdés, R., Chávez, R. & Elizondo, J., 1984a: Informe geológico-geotécnico para la reubicación de las poblaciones afectadas por el sismo de la División (3/7/83), Pérez Zeledón.- 62 págs., Comisión Nacional de Emergencia (informe inédito).
- Mora, S., Valdés, R. & Madrigal, C., 1984b: Estudio geológico-geotécnico preliminar del Proyecto Savegre, 82 + 412 págs., Depto. Geología, ICE (informe inédito).
- Mora, S., Vargas, G. & Brenes, G., 1985a: Estudio de evaluación ambiental para el proyecto de desarrollo turístico del cerro San Miguel (La Cruz) de Alajuelita.- 52 págs., CONSULTECNICA, SA-I.T.C.R. (informe inédito).
- Mora, S., Valverde, R. & Brenes, G., 1985b: Análisis geológico y geomorfológico de la cuenca del Río Parrita (Pirris).- 46 págs. Depto. Ingeniería Forestal, I.T.C.R. (informe inédito).
- Mora, S., Estrada, A. & Delgado, J., (en preparación): Informe geológico-geotécnico del deslizamiento de San Blas, Río Reventado, Cartago. Deptos. Geología e Ing. Geotécnica, ICE.
- Pérez, S., Alvarado, A. & Ramírez E., 1978: Mapa de Asociación de subgrupos de suelos de Costa Rica, escala 1:200.000; con manual descriptivo. OPSA-MIDEPLA
- Pérez, S. & Van Ginneken, P., 1978: Mapa de capacidad de uso del suelo de Costa Rica, escala 1:200.000. OPSA-MIDEPLAN.
- Schuster, R. & Krizek, R., 1978: Landslides, analysis and control.- 234 págs., Sp. Rpt. 176, Ntl. Ac. Sc.
- Uraña, R., 1984: Estudio del deslizamiento del Alto de Tapezco, Santa Ana, Costa Rica.- 46 págs., Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (tesis inédita).
- Waldron, H., 1967: Debris flow and erosion control problems caused by de ash eruption of Irazú volcano, Costa Rica.- 37 págs., U.S.G.S. Contrib. Gen. Geol., Bull. 1241-I.