

LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS EN LA ZONA NORTE DE ALAJUELA Y EL TERREMOTO DE FRAIJANES DE 1888. EFECTOS Y PREVISION

*Rolando Mora**
*Luis Diego Morales***

RESUMEN

El terremoto de Fraijanes de 1888 (30 de diciembre), con una magnitud moderada ($5.0 < M \leq 6.5$), generó una serie de deslizamientos que afectaron los caminos vecinales, viviendas, potreros, zonas de cultivo y aun las áreas de bosques, ríos y quebradas. El deslizamiento más grande fue el que originó la Laguna de Fraijanes y para el cual proponemos su mecanismo de falla.

Examinando el relieve relativo, las características geológico-geomorfológicas, así como los deslizamientos identificables de la región, se ha obtenido un mapa de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.

* Profesor e investigador, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

** Profesor e investigador, Escuela Centroamericana de Geología y Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica.

Lo anterior permite delimitar zonas de diferente susceptibilidad, las cuales manifiestan diferente aptitud a la construcción de urbanizaciones, obras civiles, etc., así como la necesidad de realización de estudios geotécnicos para su correcto diseño.

INTRODUCCION

Las características geológicas y tectónicas de Costa Rica, hacen que nuestro territorio sea afectado por la actividad sísmica, tanto por eventos «interplaca» resultado de la interacción entre las placas del Coco y del Caribe, como por eventos «intraplaca» que resultan de la deformación interna de la placa Caribe, en las fallas locales (Morales, 1985). Si consideramos, además, el relieve topográfico y las características geomorfológicas y climáticas del país, aunado a la actividad irracional o improvisada que el hombre ha generado al explotar sus recursos naturales o ampliar su espacio vital, podremos comprender las causas por las que los sismos han desencadenado deslizamientos y avalanchas, que han causado significativas pérdidas naturales y humanas en el pasado.

El desarrollo de infraestructuras, líneas vitales y un fuerte impulso en las actividades agrícolas, ganaderas y turísticas en la zona norte de Alajuela, conforman un cuadro de convivencia del hombre en una zona sísmica. Hace cien años se generó el terremoto de Fraijanes (30-12-1888), siendo los deslizamientos uno de los efectos más notables producto de la sacudida sísmica, afectando carreteras, caminos vecinales, potreros, zonas de cultivo, viviendas y, al represar ríos o quebradas, avalanchas.

Es nuestro objetivo delimitar zonas donde la susceptibilidad a la inestabilidad de las laderas podría representar una amenaza en caso de una sollicitación dinámica producida por un sismo local.

AMBIENTE GEOLOGICO

La región al norte de la ciudad de Alajuela se ubica entre las estribaciones de los macizos volcánicos del Poás y del Barva, en la cuenca superior del río Poás (fig. 1). La densidad de drenaje es de media a alta y los ríos y quebradas llegan a desarrollar profundos barrancos o cañones, descendiendo con fuertes pendientes hacia los valles. En cauce principal de Poás y su afluente superior, el río Desengaño, aparentan tener un control estructural, sin embargo, no es posible hablar de fallas geológicas, pues no existen evidencias en el campo, más bien parecieran límites entre los productos volcánicos debido a la diferente orientación de los materiales provenientes del Poás y del Barva. Un rasgo geomorfológico notable en las fotos aéreas, lo constituye una depresión en los alrededores de la confluencia de los ríos Desengaño y Yurro Hondo, que según Morales et al., puede indicar la zona epicentral del terremoto de Fraijanes de 1888 ($5,5 < M < 6,5$).

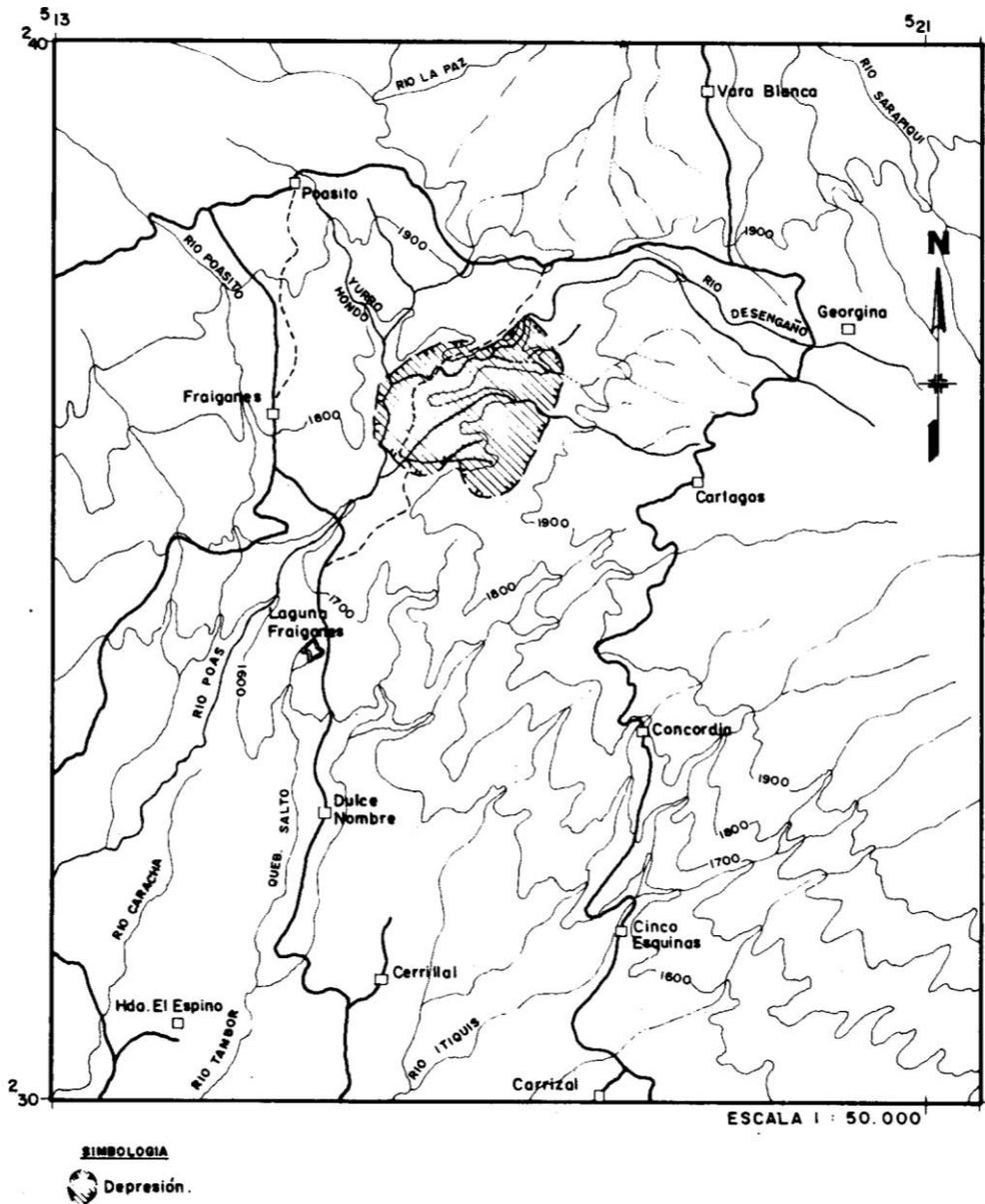


FIGURA 1.

Rasgos fisiográficos y morfológicos de la zona mesosísmica del terremoto de 1888. (Intensidades VIII-VII). La depresión cerca de Fraijanes, en las cabeceras del río Poás, es considerada por Morales et al., como el área epicentral. Se indican también las principales carreteras y poblados, así como la Laguna de Fraijanes, originada por causa del terremoto y que es hoy día un bello parque recreativo.

La región está constituida por rocas volcánicas cuaternarias, que incluyen rocas piroclásticas y lavas, con una rica cobertura de suelos. El relieve topográfico es, en general, muy irregular, con laderas de suave a fuerte pendiente, esto es (un índice relativo que varía desde los 50 hasta los 370 m/km²) como resultado de los efectos volcánicos y erosivos, facilitados por las actividades antrópicas y donde la precipitación promedio anual oscila entre los 3.000 y 3.800 mm (Zárate y Ramírez, 1983).

Efectos sobre el terremoto y deslizamientos por la sacudida sísmica

La inclusión de una vibración sísmica en un conjunto de suelos o rocas, sobre todo aquellos bajo una condición crítica de equilibrio límite (factor de seguridad cercano a la unidad), generará un esfuerzo adicional, como resultado de la componente horizontal de la aceleración del suelo y se originará un aumento drástico de la presión intersticial y una disminución importante de la cohesión y del ángulo de fricción de los materiales y consecuentemente un deslizamiento potencial de masas de rocas y suelos, el cual es estable dentro de condiciones estáticas, esto puede desencadenarse después de un número de ciclos de vibración causados por el terremoto, asimismo, pueden quedar áreas debilitadas, cuyo estado de inestabilidad generaría un deslizamiento provocado por algún otro evento, semanas o meses más tarde (Mora y Morales, 1986).

La fuente sísmica de Fraijanes es capaz de generar eventos de magnitud moderada ($5 < M < 6,5$) y foco superficial ($h < 20$ km) como ha sido el caso del terremoto de 1888, que afectó la región con intensidades de VIII a VII (Morales et al., 1986), desencadenando deslizamientos, de los cuales el que originó la Laguna de Fraijanes fue el más grande y espectacular, causando además la muerte de cinco personas (Pittier, en González, 1910). Otros efectos fueron: derrumbes paralelos a los cauces de los ríos, con avalanchas en el Poás, Tambor y Quebrada Salto y afluentes del río La Paz; grietas o deslizamientos del suelo y sobre todo en las filas o diversorios; árboles y casas tumbadas; caminos interrumpidos por la caída de paredones o terraplenes (Pittier, en González, 1910). Dichos efectos fueron también los más notorios luego del terremoto de 1983 en Buena Vista de Pérez Zeledón (Morales y Leandro, 1985).

La estabilidad del terreno dependerá, pues, de la geometría del perfil crítico de la ladera, de las propiedades físico-mecánicas de las rocas o suelo que lo componen y de la presencia y diversas formas en que se manifiesta la acción del agua (saturación, límite líquido, presión intersticial, regímenes de flujo, etc.); además de la socavación y pérdida de sustento en la base de las laderas por la erosión de los ríos y de las actividades antrópicas (como explotación agropecuaria, deforestación, labores de tajos, debilitamiento por los cortes de los caminos), todo lo cual favorece el agrietamiento o derrumbe ante la sacudida sísmica.

El deslizamiento de «La Laguna de Fraijanes»

Como ya ha sido mencionado anteriormente, el evento sísmico de 1888 en la

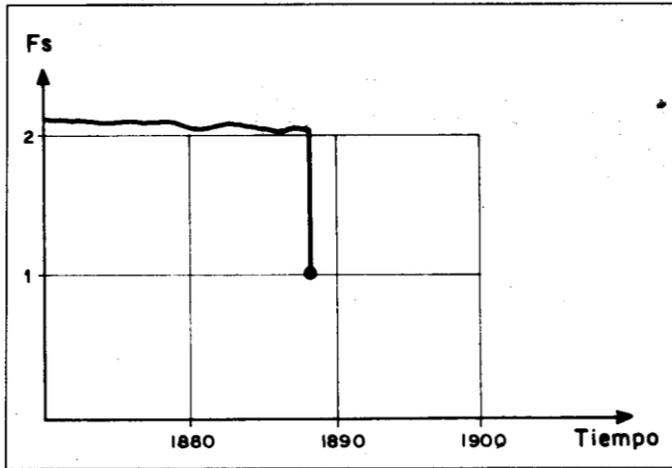


FIGURA 2.
Variación del factor de seguridad de la ladera noroeste de la Laguna de Fraijanes hasta el año 1888, cuando se produjo el deslizamiento. El factor de seguridad de la ladera se encontraba más o menos constante, cuando se produjo el evento sísmico, éste descendió súbitamente, desencadenándose un estado de inestabilidad.

región de Fraijanes produjo una gran cantidad de deslizamientos. Uno de éstos es el responsable de la formación de la hoy en día conocida Laguna de Fraijanes.

El factor de seguridad de una ladera natural puede mantenerse más o menos constante a través del tiempo, pero sin embargo, a raíz de una sollicitación dinámica generada por un sismo, éste puede descender súbitamente, desencadenándose una condición de inestabilidad. Precisamente este fue el caso suscitado en diciembre de 1888 con motivo del terremoto de Fraijanes (ver fig. 2), donde las laderas, que aunque presentan pendientes no muy fuertes, se deslizaron en una extensión aproximada de 80 km². Es conveniente mencionar aquí que el contenido de humedad de los materiales debió de ser elevado, ya que se transitaba el mes de diciembre, inmediatamente luego de la temporada lluviosa.

El deslizamiento que originó la Laguna de Fraijanes se ubica en el flanco noroeste de ésta. Se manifestó a lo largo de una superficie de falla cilíndrica que penetró profundamente en el terreno, posiblemente hasta un estrato de arcilla que ofrece, por sus características físicas, la posibilidad de generación de la superficie de falla (Pittier, 1889; ver fig. 3). En este lugar, ya antes del evento existía una pequeña laguna, la cual fue desecada con el fin de utilizar el terreno como potrero (Pittier, 1889) con esto no se eliminaron las causas naturales que le daban origen, ocasionando que el terreno posiblemente contara con un contenido de humedad muy próximo al límite líquido. Los anteriores factores, conjugados con el efecto gatillo de la sollicitación dinámica del sismo, desencadenaron el deslizamiento, que involucró aproximadamente 250.000 m³ de suelo.

Este deslizamiento ocurrió en sentido transversal a la depresión, obstruyéndola y dando lugar a la nueva laguna que existe allí todavía (Pittier, 1889). Además como producto del estado de consistencia del suelo se generó un alud, el cual fue canalizado

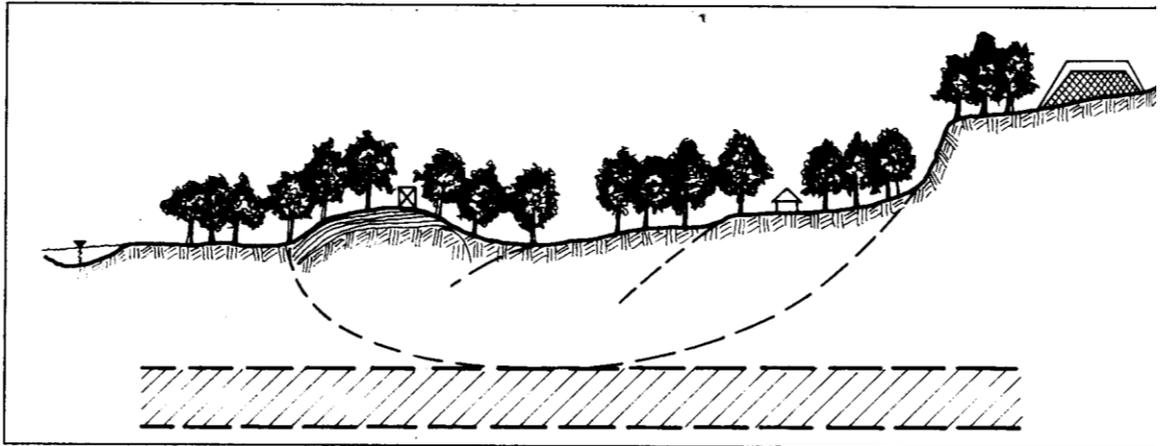


FIGURA 3.

Posible mecanismo de falla de la ladera noreste de la Laguna de Fraijanes, falla cilíndrica, generada posiblemente en forma incipiente por la presencia de un estrato menos consistente y disparada por la sollicitación dinámica del sismo de 1888.

por la topografía ladera abajo, con una anchura 20 a 30 metros, recorriendo un tramo de 150 m y dejando atrás un hondo foso. Luego se ensanchó más y más, hasta que la zona móvil alcanzó aproximadamente 200 m de ancho, arrasando con la casa del señor Rafael Castro, incluyéndolo a él y parte de su familia, para finalmente ser conducido por el cauce de la quebrada El Salto hasta el río Tambor (Pittier, 1889). Aún hoy día, pueden observarse algunos bordes de este alud como pequeños montículos paralelos al cauce de la quebrada Salto, así como la corona y la parte frontal del deslizamiento principal (fig. 3).

Susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. Región norte de Alajuela

Con el objetivo de analizar la susceptibilidad a la inestabilidad de las laderas de una zona ubicada al norte de la ciudad de Alajuela (hoja topográfica Barva, coordenadas Lambert $5_{11} - 5_{19}$ E y $2_{25} - 2_{32}$ N), se ha utilizado información cartográfica, geomorfológica y la información disponible sobre movimientos en masa de suelos recientes. Asimismo, la zona estudiada se ha visitado con el fin de comprobar descripciones y realizar nuevos reconocimientos.

La información cartográfica se ha procesado utilizando la hoja topográfica Barva del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y confeccionando a partir de ésta el «relieve relativo». El índice conocido como «relieve relativo» relaciona la diferencia máxima del nivel por unidad de área y se expresa en m/km^2 . Para la confección de este mapa se han tomado áreas de $1 km^2$ en una extensión total de $108 km^2$, obteniéndose 475 puntos en total, con los que se ha trazado un mapa de curvas de igual «relieve

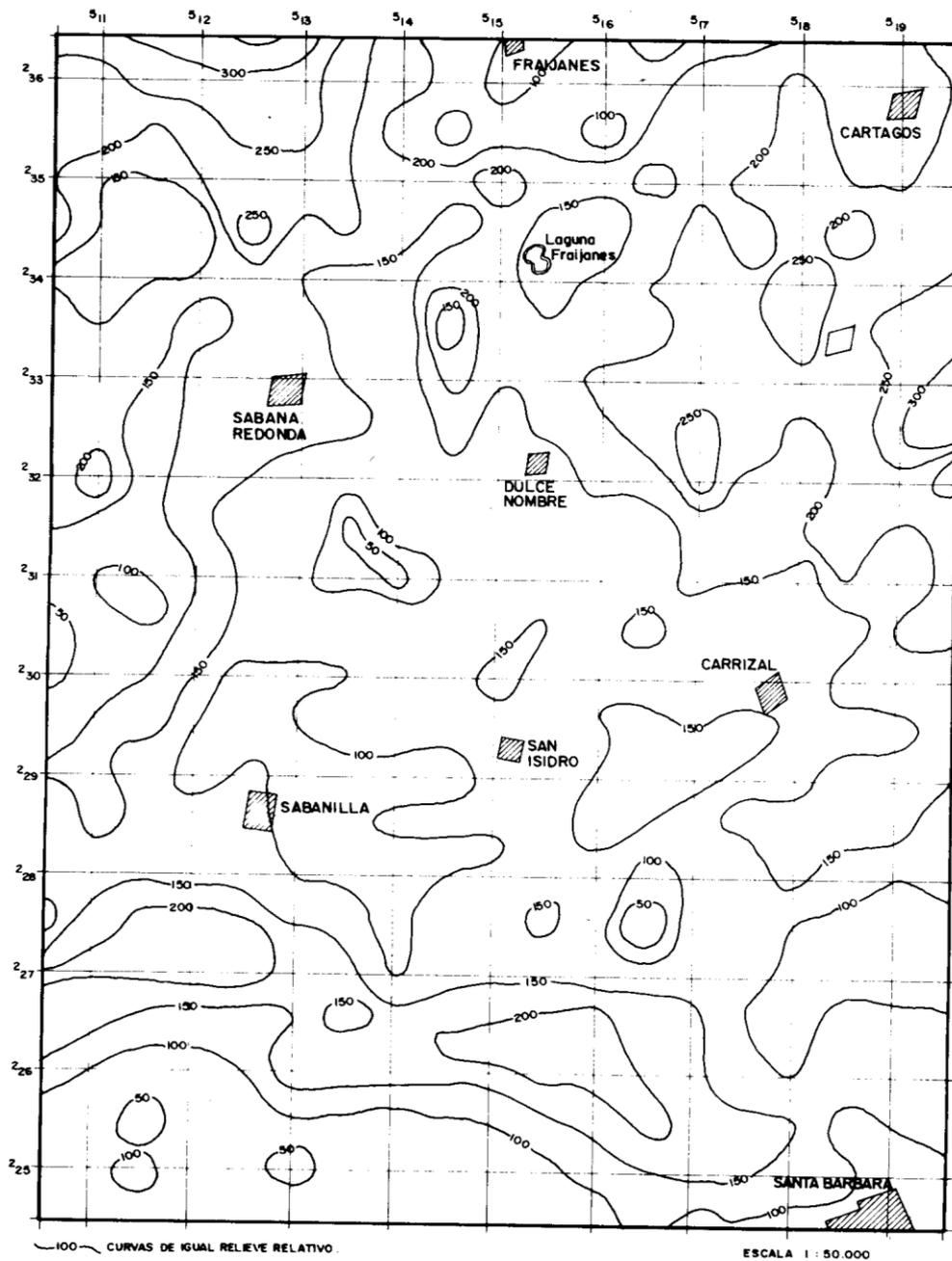


FIGURA 4.

Mapa de «relieve relativo» de una parte de la hoja Barva. En él se observan las curvas de igual «relieve relativo» en m/km^2 , presentándose anomalías en las zonas donde éstas se densifican o adquieren valores altos.

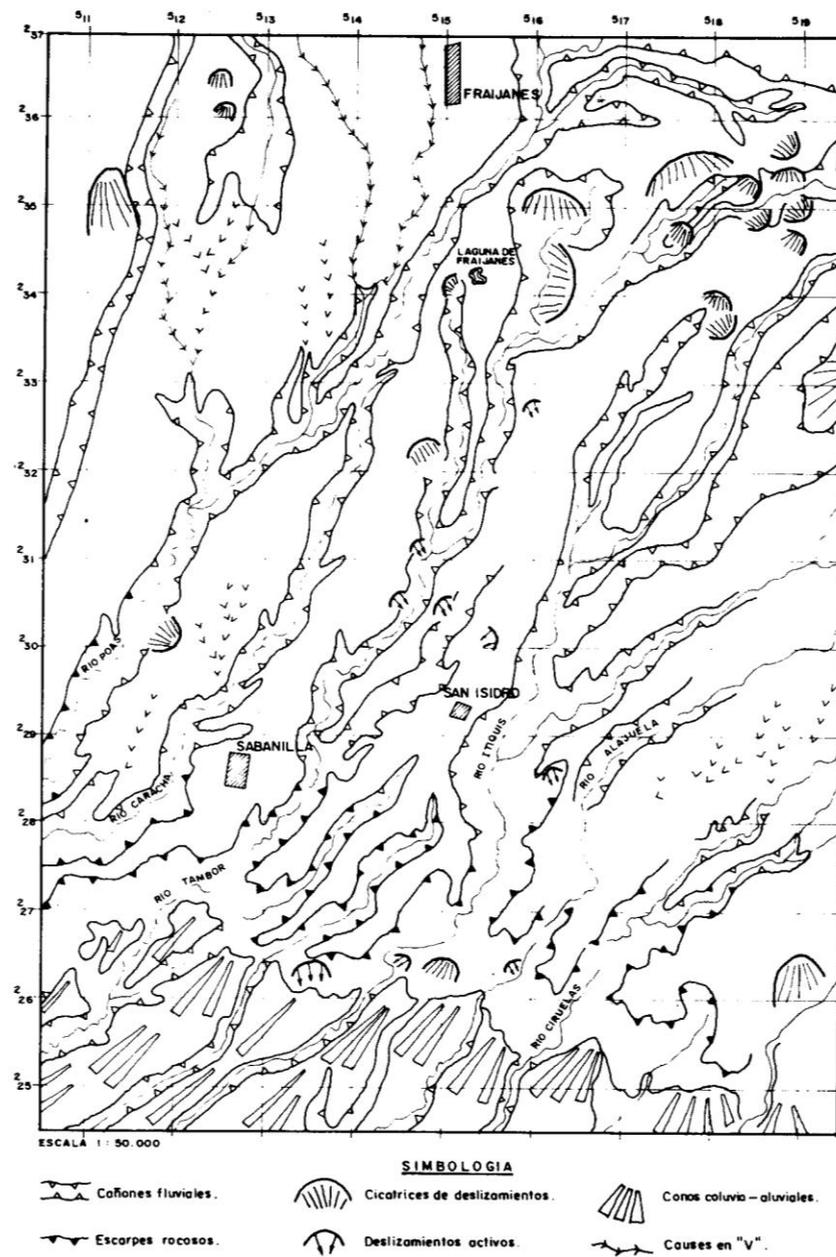


FIGURA 5.
Mapa geomorfológico de una parte de la hoja Barva, adaptado de Bergoing (1981). Se evidencian en él los principales rasgos de la geodinámica externa que pueden contribuir a la inestabilidad potencial de la zona estudiada.

relativo» (ver fig. 4). En este tipo de mapas las anomalías se manifiestan donde las curvas de igual relieve relativo se densifican o donde éstas adquieren valores elevados. En nuestro caso, se pueden resaltar claramente las anomalías debidas al escarpe de Alajuela, las estribaciones de los macizos del Poás y Barva, así como el cañón del río Poás.

Como otro medio de caracterizar la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas, se ha confeccionado también un mapa de la geodinámica externa de la zona, basado en la Carta Geomorfológico del Valle Central de Costa Rica (Bergoing, 1981) e incorporando todas las observaciones y registros realizados en material de deslizamientos (ver fig. 5).

Discusión de resultados

Combinando la información presentada en los dos mapas anteriores, podemos realizar una estimación de la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas en la zona, basados, como ya se ha mencionado, en criterios topográficos y geomorfológicos. Como resultado se ha obtenido la zonificación de la región en áreas que presentan diferentes susceptibilidades a la inestabilidad potencial (ver fig. 6).

Zona I: En esta zona el relieve es menos de 100 m/km², la susceptibilidad a la inestabilidad es baja, presenta una aptitud media para la construcción de urbanizaciones, obras civiles, etc., por lo que es conveniente la realización de estudios geotécnicos para su correcto diseño.

Dentro de esta zona se diferencian las siguientes subzonas:

Subzona I/a: no cuenta con rasgos geomorfológicos desfavorables.

Subzona I/b: cuenta con rasgos geomorfológicos desfavorables.

Subzona I/c: presenta evidencias recientes de inestabilidad.

Zona II: El relieve relativo varía de 100 a 200 m/km², presenta una susceptibilidad potencial moderada, su aptitud para la construcción de urbanizaciones, obras civiles, etc., es de media a deficiente, por lo que es necesaria la realización de estudios geotécnicos antes de su diseño.

Dentro de esta zona se diferencian las subzonas siguientes:

Subzona II/a: no cuenta con rasgos geomorfológicos desfavorables.

Subzona II/b: cuenta con rasgos geomorfológicos desfavorables.

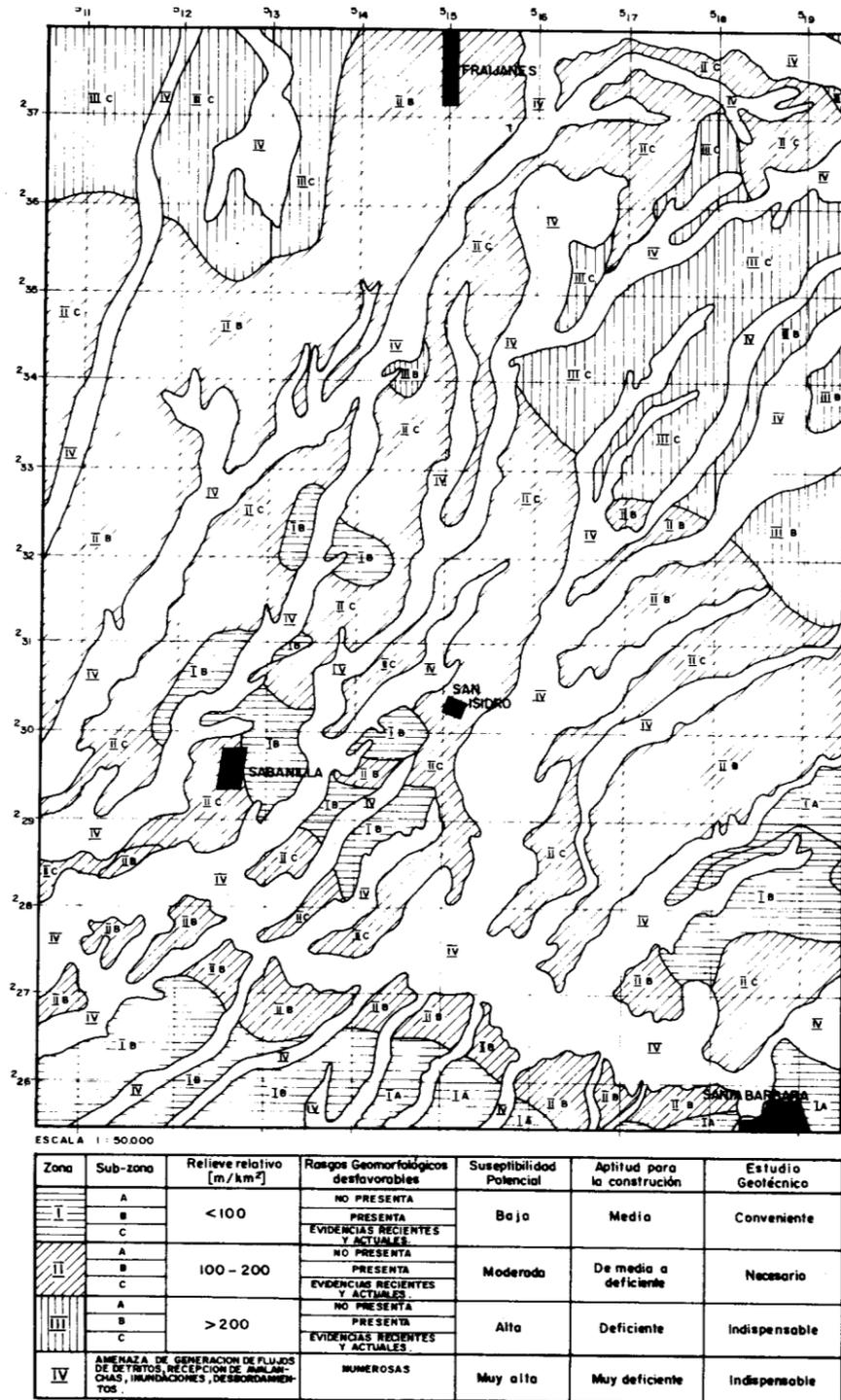


FIGURA 6.

Mapa de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas de una parte de la hoja Barva. Es una combinación de los dos mapas anteriores, para así delimitar las zonas de diferente susceptibilidad potencial al deslizamiento, así como de diferente aptitud para la construcción (ver texto).

Subzona III/c: presenta evidencias recientes de inestabilidad.

Zona III: El relieve es mayor de 200 m/km², presenta una susceptibilidad potencial alta, su aptitud para la construcción de urbanizaciones, obras civiles, etc., es deficiente, por lo tanto, el estudio geotécnico es indispensable antes de su diseño.

Dentro de ella se diferencian las subzonas siguientes:

Subzona III/a: no cuenta con rasgos geomorfológicos desfavorables.

Subzona III/b: cuenta con rasgos geomorfológicos desfavorables.

Subzona III/c: presenta evidencias recientes de inestabilidad.

Zona IV: Esta zona presenta amenaza de deslizamientos, desprendimientos de bloques, recepción de avalanchas, inundaciones y desbordamientos.

Este es el primer intento de cartografía geotécnica en una parte del Valle Central, y se procura evidenciar la necesidad imperante de la realización de estudios geotécnicos, para así disminuir el riesgo a que se enfrentan las diferentes obras civiles, urbanizaciones, etc., ante una amenaza natural, como la de la inestabilidad de las laderas naturales y su posible desencadenamiento ante la solución dinámica causada por un sismo.

BIBLIOGRAFIA

- Bergoing, J. P., 1981. **CARTA GEOMORFOLOGICA DEL VALLE CENTRAL**. Costa Rica. Escala 1:50.000, IGN, San José.
- González, C., 1910. **TEMBLORES, TERREMOTOS, INUNDACIONES Y ERUPCIONES VOLCANICAS EN COSTA RICA, 1608-1910**. 200 págs. Tipografía Avelino Alsina, San José, Costa Rica.
- Mora, S. y Morales, L. D., 1986. **LOS SISMOS COMO FUENTE GENERADORA DE DESLIZAMIENTOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA Y LINEAS VITALES, DE COSTA RICA**. Memoria, 4 Sem. Latinoam. Ing. Sismo-resistente, 201-214, San José.
- Morales, L.D., 1985. **LAS ZONAS SISMICAS DE COSTA RICA Y ALREDEDORES**. Revista Geológica de América Central, 3:69-101, San José.
- Morales, L.D., 1985. **RIESGOS GEOLOGICOS ASOCIADOS AL TERREMOTO DE BUENA VISTA, PEREZ ZELEDON**, Memoria 3er. Sem. Nac. de Geotecnia-19 págs. San José.
- Morales, L.D., Alvarado, G., Montero, W. y Climent, A., 1986. **RECURRENCIA DE TEMBLORES Y EVALUACION DEL PELIGRO SISMICO DEL NOROESTE DEL VALLE CENTRAL, COSTA RICA**. Memoria, 4 Sem. Latinoam. Ing. Sismo-resistente, 215-225, San José.
- Pittier, H., 1889. **INFORME SOBRE LOS FENOMENOS SISMICOS Y VOLCANICOS OCURRIDOS EN LA MESETA CENTRAL EN DICIEMBRE DE 1888**. En González, 1910, 62-69, San José.
- Valdés, M. R., 1984. **ESTUDIO GEOLOGICO GEOTÉCNICO PRELIMINAR DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SAVEGRE, COSTA RICA**. Tesis de Licenciatura, Escuela de Geología, UCR, 120 págs. San José.