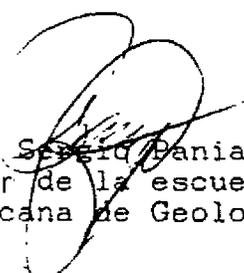


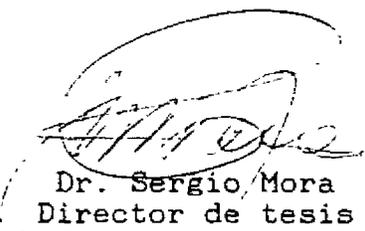
**"Este documento contiene
imágenes en mal estado"**

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA

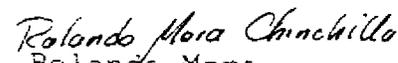
El tribunal examinador del siguiente trabajo está constituido por:



MSc. Sergio Paniagua
Director de la escuela centro-
Panamericana de Geología



Dr. Sergio Mora
Director de tesis



MSc. Rolando Mora
Director de tesis



Geof. German Leandro
Co-director de tesis



Ing. Julio Delgado
Miembro del Tribunal Examinador

CIUDAD UNIVERSITARIA "RODRIGO FACIO"

RESUMEN

El cerro Tapezco se encuentra ubicado dentro de la cuenca del río Uruca, en sus faldas occidentales se ha desarrollado un deslizamiento, el cual cuenta actualmente con una área de 25.8 ha, representando una amenaza inminente para los pobladores de Matinilla, Salitral, Pozos y Santa Ana. Este se conoce técnicamente en 1974. Sin embargo, por cálculos realizados, se estima que dio inicio hace unos 65 años.

En los últimos años de la década de los ochenta, la Municipalidad del cantón de Santa Ana, en conjunto con otras instituciones y particulares, le han prestado la importancia pertinente, dando a conocer el problema a la comunidad, realizando seminarios con profesionales capacitados de nuestro país. Estudios geofísicos del deslizamiento, un control tipográfico de la masa deslizante, perforaciones, etc. Trabajos que han reparado información valiosa y en conjunto con estudios de fotointerpretación, geológicos y geotécnicos han ayudado a obtener una mejor caracterización del fenómeno.

Actualmente se conoce que el deslizamiento se ha desarrollado en una área afectada por fluidos hidrotermales y un intenso intemperismo, reuniendo las características de un deslizamiento múltiple o compuesto, originado en las partes altas del cerro y produciendo un efecto de empuje inestabilizador sobre el pie

Además en la presente investigación se parametriza; el efecto de un sismo y posición del nivel freático sobre el factor de seguridad del deslizamiento.

También se ha confeccionado un mapa de zonificación de la amenaza que representan las laderas inestables en las cuencas de los ríos Oro y Uruca.

DEDICATORIA

a:

Mi Padre; José Rodrigo Molina Sibaja

Mi Madre; Flora Zúñiga Henly

Mi Hermana; Guadalupe Molina Zúñiga

Mi Novia; Rocio Bravo Quirós

AGRADECIMIENTOS

Determinantes fueron las apreciaciones hechas por los directores de la presente investigación: Dr. Sergio Mora, Ing. Rolando Mora, Ing. Julio delgado y Geof. German Leandro. Del mismo modo extendiendo el agradecimiento a los profesionales que al igual que ellos brindaron sus consejos, como lo fue: Ing. Leonel Rojas y Dr. Siegfried Kussmaul.

Muy especialmente agradezco a la Comisión Nacional de Emergencia, por financiar el estudio, pues sin su ayuda no hubiera sido posible realizarlo. Además por su "eficiente" servicio al suministrar vehículo para trasladarse al lugar donde se realizó la investigación.

De gran valor fue la cooperación brindada por la Escuela centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica y**** el Departamento de Geología del Instituto costarricense de Electricidad, por su apoyo logístico. Cabe destacar el interés manifestado por la Municipalidad de Santa Ana.

Igualmente de especial importancia, fue la colaboración secretarial realizada por Cira Castro y Marianela González. Asimismo extendiendo el agradecimiento a Sergio Hernández y a todas las personas que desinteresadamente, de una u otra manera han colaborado en la realización este trabajo de investigación.

INDICE

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN | i |
| DEDICATORA | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| | |
| I INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 Generalidades | 1 |
| 1.2 Objetivos del trabajo | 1 |
| 1.3 Ubicación geográfica | 2 |
| 1.4 Vías de acceso | 4 |
| 1.5 Clima y vegetación | 4 |
| 1.6 Método de trabajo | 5 |
| 1.7 Trabajos anteriores | 6 |
| | |
| II FOTOINTERPRETACION | 8 |
| 2.1 Generalidades | 8 |
| 2.2 Descripción | 9 |
| 2.3 Incremento areal del deslizamiento | 23 |
| | |
| III MARCO GEOLOGICO | 30 |
| 3.1 Geología regional | 30 |
| 3.2 Geología local | 31 |
| 3.3 Estratigrafía basada en la descripción de núcleos de perforación. | 37 |

| | Pág. |
|---|------|
| 3.4 Geología estructural | 39 |
| 3.5 Alteración | 43 |
| IV GEOFISICA | 46 |
| 4.1 Generalidades | 46 |
| 4.2 Resultados | 48 |
| V CONTROL TOPOGRAFICO | 53 |
| VI ASPECTOS GEOTECNICOS | 62 |
| 6.1 Generalidades | 62 |
| 6.2 Caracterización de los materiales | 64 |
| 6.3 Simulación del plano de ruptura | 66 |
| 6.4 Análisis retrospectivo (Retrocálculo) | 71 |
| VII CONCLUSIONES | 80 |
| 7.1 Caracterización del deslizamiento | 80 |
| 7.2 Comportamiento del deslizamiento | 86 |
| VIII AREA BAJO AMENAZA | 88 |
| 8.1 Amenaza | 88 |
| 8.2 Vulnerabilidad | 90 |
| IX RECOMENDACIONES | 93 |

| | Pág. |
|--------------------------------------|------|
| X BIBLIOGRAFIA | 97 |
| XI ANEXO | 100 |
| 8.1 Descripción de las perforaciones | |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|----------|
| CAPITULO I | |
| Figura 1.1 Mapa de Ubicación | 3 |
| CAPITULO II | |
| Figura 2.1 Foto de 1945 | 12 |
| Figura 2.2 Foto de 1956 | 12 |
| Figura 2.3 Foto de 1965 | 12 |
| Figura 2.4 Foto de 1973 | 15 |
| Figura 2.5 Foto de 1974 | 15 |
| Figura 2.6 Foto de 1979 | 15 |
| Figura 2.7 Foto de 1982 | 17 |
| Figura 2.8 Foto de 1983 | 17 |
| Figura 2.9 Foto de 1986 | 17 |
| Figura 2.10 Foto de 1987 | 19 |
| Figura 2.11 Foto de 1988 | 19 |
| Figura 2.12 Foto de 1989 | 21 |
| Figura 2.13 Crecimiento del deslizamiento Alto de Tapezco | 22 |
| Figura 2.14 Gráfico Area vs Tiempo | 26 |
| Figura 2.15 Regresión de Area vs Tiempo | 28 |
| CAPITULO III | |
| Figura 3 1 Mapa y Perfiles Geológico | En sobre |
| Figura 3. 2 Columna Estratigráfica | 42 |

| | Pág. |
|--|----------|
| Figura 3.3 Correlación de Perforaciones | 41 |
| Figura 3.4 Localización de Grietas | En Sobre |
| CAPITULO IV | |
| Figura 4.1 Derrumbe Alto de Tapezco | En Sobre |
| Figura 4.2 Distribución y equipo de resistividad eléctrica | 47 |
| Figura 4.3 Perfiles Geoelectricos | En Sobre |
| CAPITULO V | |
| Figura 5.1 Ubicación de estacas | 54 |
| Figura 5.2 Desplazamiento líneas 1-2 y 2-3 | 55 |
| Figura 5.3 Desplazamiento de la línea 6-7 | 58 |
| Figura 5.4 Control Topográfico | 59 |
| CAPITULO VI | |
| Figura 6.1 Curva Granulométrica | 63 |
| Figura 6.2 Perfil 1 - Tapezco | 68 |
| Figura 6.3 Perfil 2 - Tapezco | 69 |
| Figura 6.4 Perfil 3 - Tapezco | 70 |
| Figura 6.5 Tapezco Talud General | 73 |
| Figura 6.6 Tapezco Talud General | 74 |
| Figura 6.7 Tapezco Talud General | 75 |

| | Pág. |
|--|----------|
| Figura 6.8 Tapezco Talud General | 76 |
| Figura 6.9 Deslizamiento Tapezco Talud General | 78 |
| CAPITULO VII | |
| Figura 7.1 Perfil F - R | 81 |
| CAPITULO VIII | |
| Mapa de Zonificación de la amenaza | En Sobre |
| ANEXO | |
| Figura 11.1 Columna; perforación N°1 | |
| Figura 11.2 Columna; perforación N°2 | |
| Figura 11.3 Columna; perforación N°3 | |
| Figura 11.4 Columna; perforación N°4 | |
| Figura 11.5 Columna; perforación N°5 | |
| Figura 11.6 Control del nivel freático | |

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Generalidades

Este informe es el producto del estudio realizado en el deslizamiento del Cerro Tapezco, ladera noroccidental de la cuenca del río Uruca, cantón de Santa Ana, provincia de San José.

El interés surge, a raíz de ser este un fenómeno natural que ha causado problemas con el transcurso de los años. Además de representar una amenaza inminente para los pobladores de la región.

Con el fin de recalcar la preocupación de la gente potencialmente afectada, a continuación se ha extraído un pequeño párrafo de la presentación del Seminario Problemática del Deslizamiento (1986):

"...Nos encontramos con evidencias de deslizamientos anteriores como los ocurridos en 1913, a finales de la década de los 50 y durante los setentas. Todos ellos ocasionaron pérdidas materiales, pero no se tenía una explicación científica del problema natural y por consiguiente, la población basada en sus principios religiosos, realizaron misas y erigieron una estatua a nuestro Señor Jesucristo a orillas del Río Uruca..."

1.2 Objetivos del trabajo

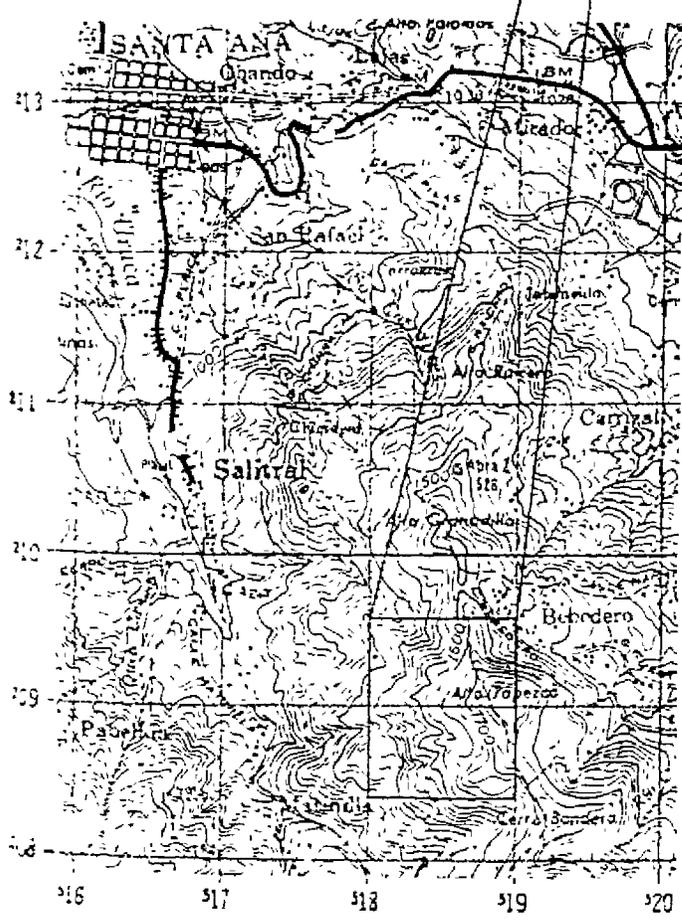
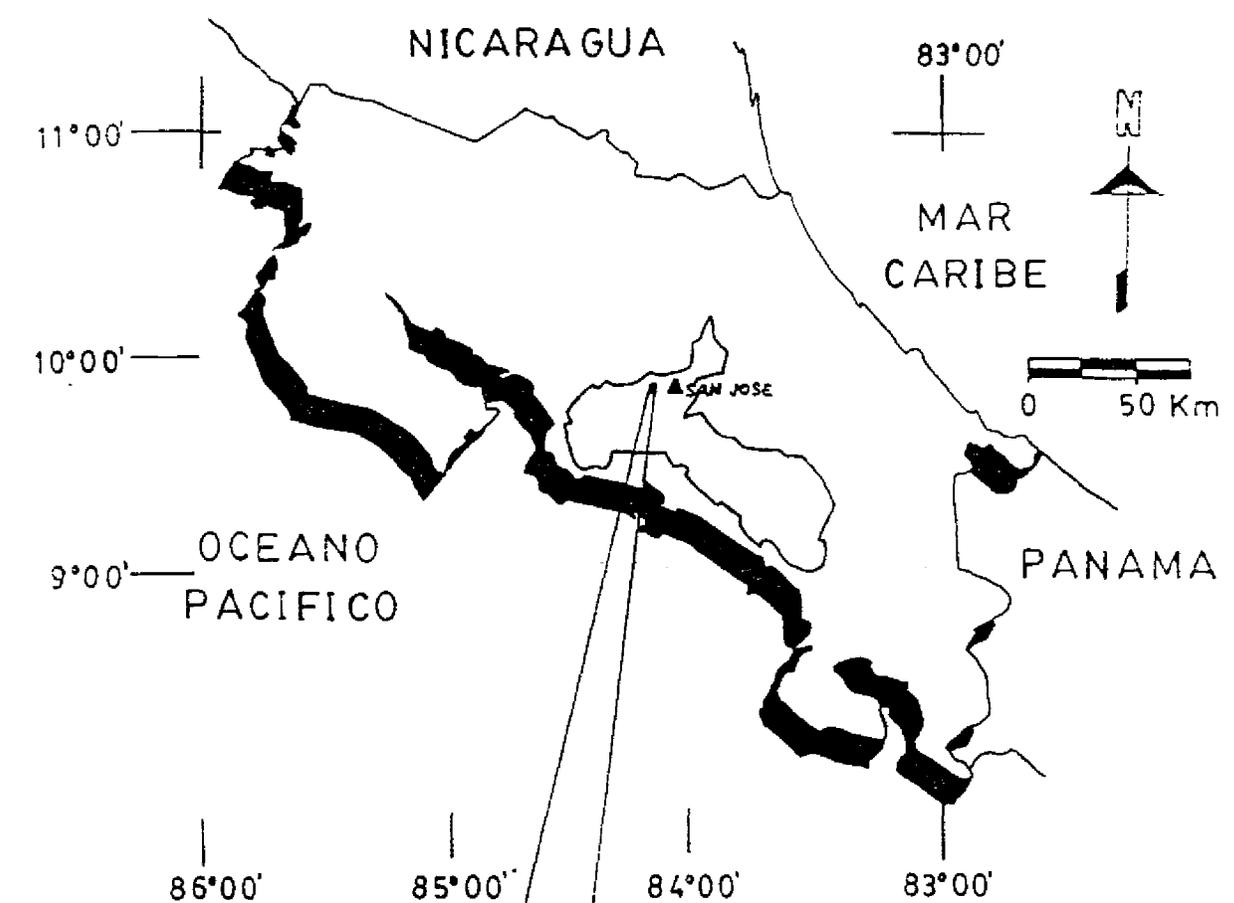
Hasta la fecha se han realizado diferentes estudios en el lugar; sin embargo, el presente trabajo basado en la

información existente y en conjunto con nuevos datos, persigue los siguientes propósitos:

- Dilucidar el incremento del área y la descripción del deslizamiento con base en las fotografías aéreas existentes.
- Correlacionar este incremento con precipitaciones e intensidades de sismos que puedan generar movimientos importantes de material.
- Caracterizar Geológicamente el deslizamiento
- Por medio de la investigación del deslizamiento con: perforaciones, topografía, estudios geofísicos y geotécnicos, estimar la actividad y evaluar el volumen de material en movimiento. A la vez, definir algunas propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman el deslizamiento.
- Del mismo modo, para que el informe logre una utilidad mayor, se determina el área bajo amenaza, en conjunto con un breve análisis de su vulnerabilidad y se sugieren algunas recomendaciones.

1.3 Ubicación Geográfica

El deslizamiento se encuentra dentro de la cuenca del Río Uruca, en las faldas occidentales del Cerro Tapezco, cantón de Santa Ana, provincia de San José. En la hoja topográfica Abra 3345 I, escala 1:50000, del Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.), definido por las coordenadas Lambert Costa Rica Norte 209.00 N - 518.00 E y alrededores, (fig. 1.1)



Mapa de Ubicación

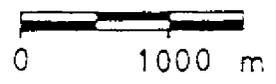


FIG 11

1.4 Vías de acceso

El lugar de estudio es accesible principalmente por dos rutas al movilizarse desde San José:

- Una de ellas es llegando a Escazú, de allí se sigue hasta San Antonio de Escazú y posteriormente a Bebedero, donde existe un camino que comunica Bebedero con Matinilla, pasando antes por el Alto de Tapezco.

- La otra manera es más difícil, por presentar una mayor pendiente, se inicia por Santa Ana, continuando hasta Matinilla, luego se desvía por el camino antes mencionado, el cual se encuentra en mal estado. El acceso por ambas rutas debe hacerse con vehículo de doble tracción.

1.5 Clima y Vegetación

El clima se caracteriza por tener una estación seca bien definida entre diciembre y abril, y una estación lluviosa de mayo a noviembre. Esta última presenta un mínimo secundario de lluvia en el mes de julio conocido como "Veranillo de San Juan" y un período de máxima precipitación entre setiembre y octubre. Se clasifica de acuerdo a Koppen como clima "tropical" lluvioso y seco.

La vegetación en el área de estudio y alrededores es muy limitada, la mayor parte del terreno es usado para pastoreo, convirtiendo el paisaje en extensos potreros.

Los bosques y arboledas se han visto disminuidos con el tiempo, quedando tan solo algunos pocos en los alrededores de las quebradas. También se presentan cultivos permanentes como el café y la caña de azúcar.

1.6 Método de trabajo

El estudio se realizó en tres etapas, el orden cronológico de ellas fue el siguiente:

En primera instancia, se elaboró un anteproyecto, en conjunto con la revisión bibliográfica, para sintetizar la información existente y evaluar las tareas por hacer, con el fin de confeccionar un cronograma. Luego, fueron estudiadas las fotografías aéreas, calculando el área que abarcó el deslizamiento para el año correspondiente.

La segunda etapa consistió en el trabajo de campo, el cual dio inicio en el I semestre de 1989, con la participación de los estudiantes del curso Seminario de Geotecnia e Hidrogeología (G-5114) y del personal de la oficina de Geofísica del I.C.E., con el objetivo de elaborar perfiles geoelectricos.

Posteriormente, se siguió visitando el deslizamiento mientras personal de la sección de perforación e inyección del I.C.E. y de la empresa C.I.N.CO.S.A. realizaban varias perforaciones.

En el deslizamiento se ejecutaron recorridos, con el fin de ubicar y describir afloramientos, así como estructuras y rasgos morfológicos. Además de la recolección de muestras para análisis geotécnicos, los cuales se llevaron a cabo en los laboratorios de geotecnia de la Escuela Centroamericana de Geología, de la Universidad de Costa Rica y en el Instituto Costarricense de electricidad.

La tercera etapa consistió en el procesamiento e interpretación de los datos obtenidos. Para ello se

utilizaron paquetes computarizados como "Statgraphics, Ato, Stabl, Symphony y Smart". También en esta misma etapa se elaboró el informe final.

1.7 Trabajos Anteriores

Los informes relacionados directa o indirectamente con el área de estudio son numerosos, por consiguiente se hace mención al informe producto del Seminario Problemática del deslizamiento, donde Mora (1986) hace una recopilación de los trabajos anteriores. Sin embargo, a continuación se citan los que han servido de base para la elaboración de este trabajo:

Castillo (1969) y Rivier (1979) realizaron estudios sobre la geología de la región. Ambos identifican los materiales aflorantes en el cerro de Tapezco como pertenecientes a la Formación Pacacua.

No obstante, es hasta 1974 que se conoce técnicamente la inestabilidad del flanco occidental del cerro Tapezco, cuando Pieter Van Gineken (de la F.A.O.), el geofísico German Leandro y la Dirección General Forestal realizaron un estudio sobre la cuenca del Río Uruca.

Posteriormente Leandro (1977) efectuó un estudio geofísico del deslizamiento e indicó, que al suponer una profundidad media de 25 m. en el área cicatrizada .24 ha, podrían estimarse movimientos masivos del orden de 6 millones de metros cúbicos.

En 1983 Ureña realiza un análisis de estabilidad del deslizamiento y lo califica como traslacional lento, con una velocidad que no supera el metro por año y un plano de falla

aproximado a los 20 m de la superficie libre del terreno.

En lo que respecta a la amenaza Mora (1986) expone en el Seminario Problemática del Deslizamiento el artículo denominado " Enfoque preliminar para un análisis de la amenaza y vulnerabilidad potencial generadas por el deslizamiento del ALTO TAPEZCO, cuenca del Río Uruca, Santa Ana, Costa Rica".

A causa de las lluvias provocadas por el huracán Gilberth, se genera un desprendimiento parcial importante, del cual Mora (1986) estima un volumen aproximado de 90000 metros cúbicos y lo califica como un flujo de lodo.

CAPITULO II

FOTOINTERPRETACION

2.1 Generalidades

Al realizar interpretaciones fotogeológicas, es muy importante tomar en cuenta varios parámetros y características de las fotografías, tales como su formato, escala, cobertura, calidad, etc. de los cuales depende la imagen y por ende las descripciones y medidas que se hagan de ellas. En este capítulo se utilizaron varias fotografías aéreas, pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional, al Ministerio de Agricultura y Ganadería y al Dr. Sergio Mora. Por lo tanto dichos factores cambian de unas fotos a otras.

A continuación se da una descripción del deslizamiento, utilizando todas las fotografías disponibles desde 1945 a 1989, con el propósito de detectar el incremento areal del deslizamiento a través del tiempo. Además se correlaciona este desarrollo con lluvias máximas en 24 horas, utilizando los datos recopilados en la estación de Santa Ana, por ser la que cuenta con un mayor período de registro. También es correlacionado con eventos sísmicos de intensidades mayores o iguales a IV en la escala de Mercalli Modificada. Esto con el objetivo de evaluar la influencia que han tenido estos factores con el crecimiento del deslizamiento.

2.2 Descripción

Las escalas en todas las fotografías aéreas son medidas sobre el deslizamiento. Además para una mejor ubicación, se toma como punto de referencia el centro del deslizamiento en las fotografías de 1945 (coor. 518.4 - 209.0, Lambert, Costa Rica Norte).

Las fotos de 1945 tienen una escala aproximada 1:26000. En ellas se logra observar el frente del deslizamiento al W, con un escarpe de unos 50 m. de altura, que llega a culminar en una de las nacientes de la quebrada Petter, la corona lateral S está limitada por la misma quebrada, sin embargo partes del margen izquierdo aguas abajo se han desprendido. Siguiendo esa dirección, está localizada la corona Principal de un antiguo deslizamiento de grandes proporciones, que aparentemente se encuentra inactivo. Su morfología es típica, con algunas terrazas y taludes de pendientes fuertes; su forma en planta es elipsoidal y su posición es colgante. Se encuentra casi en su totalidad deforestado.

Al NW se nota una cicatriz, o posiblemente el frente que continúa, los terrenos aledaños presentan una morfología típica de deslizamiento, además evidencian movimiento, pero se hace difícil su distinción como tal, por la vegetación.

La corona lateral N está marcada por un escarpe, que lo ayuda a resaltar el límite de la vegetación.

La corona principal se observa al E, aunque todavía no llega al camino central. Siguiendo en esa dirección se aprecian terrenos con evidencia de movimiento, al igual que los terrenos comprendidos entre los caminos. La forma del

deslizamiento tiende a ser elipsoidal, con su eje mayor en dirección N80E y además su posición es colgante con respecto al río Uruca.

Cabe destacar que un 80% del área delimitada como deslizamiento está deforestada y un 75% del terreno inestable, susceptible de pasar a ser parte del deslizamiento, se encuentra en las mismas condiciones. (fig. 2.1).

Las fotos del 23 de febrero de 1956, tienen una escala aproximada 1:51500. Estas permiten una visión más regional y en ellas se aprecia un alineamiento de quebradas y divisorias con dirección variante entre N50E y N60E, en donde está incluida la quebrada Petter. Esta se encuentra dividiendo el deslizamiento "inactivo" y el del Cerro de Tapezco. Cabe mencionar que Leandro (1977), por medio de sondeos geoelectrónicos, interpreta esta quebrada como una frontera natural dominada por una posible falla. Además, existen otros alineamientos en esta región, cartografiados en mapas geológicos.

Sobre la corona principal, entre los dos caminos, se nota la cicatriz de un desprendimiento y el arrastre del material, originado por un flujo de escombros, activado posiblemente en la estación lluviosa anterior, en el mes de octubre, entre los días 12, 13 y 14. Pues, fueron registrados en la estación de Santa Ana, lluvias máximas en 24 horas de 102.5 mm, 133.5 mm y 88.0 mm, respectivamente, existiendo la posibilidad de haber sido producidas indirectamente al pasar el huracán Flora por el Caribe. Del mismo modo se observa la

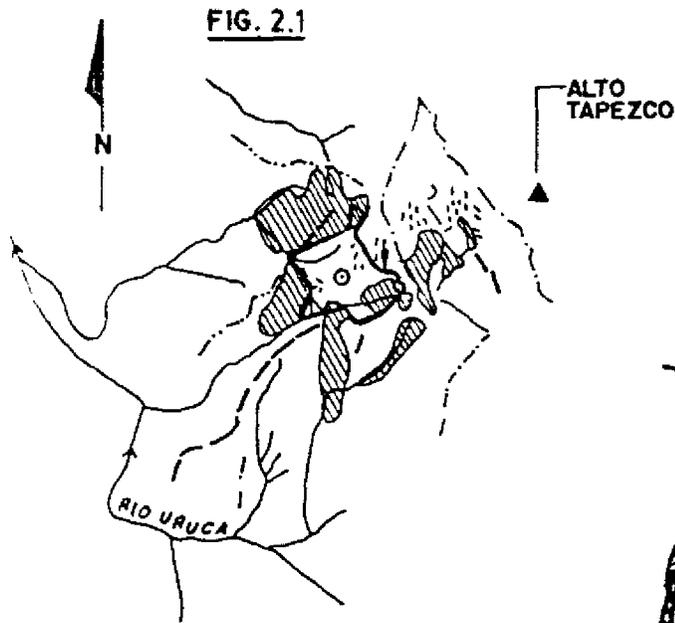
movilización de mucho terreno que anteriormente había sido delimitado dentro del área del deslizamiento. Se evidencian cambios en el frente del deslizamiento y el material todavía presente en las quebradas vecinas como producto de una fuerte actividad en los años anteriores.

La deforestación aumentó, en los terrenos aledaños al deslizamiento, en un 85% del área. Sin embargo, dentro del deslizamiento la situación se mantiene similar a la de 1945. (fig. 2.2).

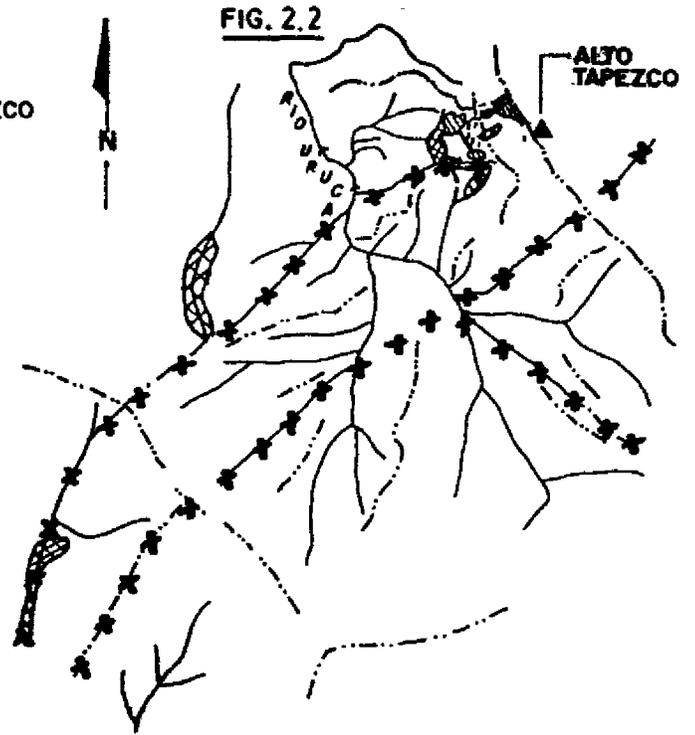
Las fotografías disponibles de 1965 tienen una escala aproximada 1:18750. por ser una escala mayor, permite definir detalles en una forma más fácil que en las anteriores.

El frente del deslizamiento cerca de la quebrada Petter se muestra de mayor proporción y más deteriorado. La corona lateral N se trasladó en esa dirección y se aprecian algunos desprendimientos.

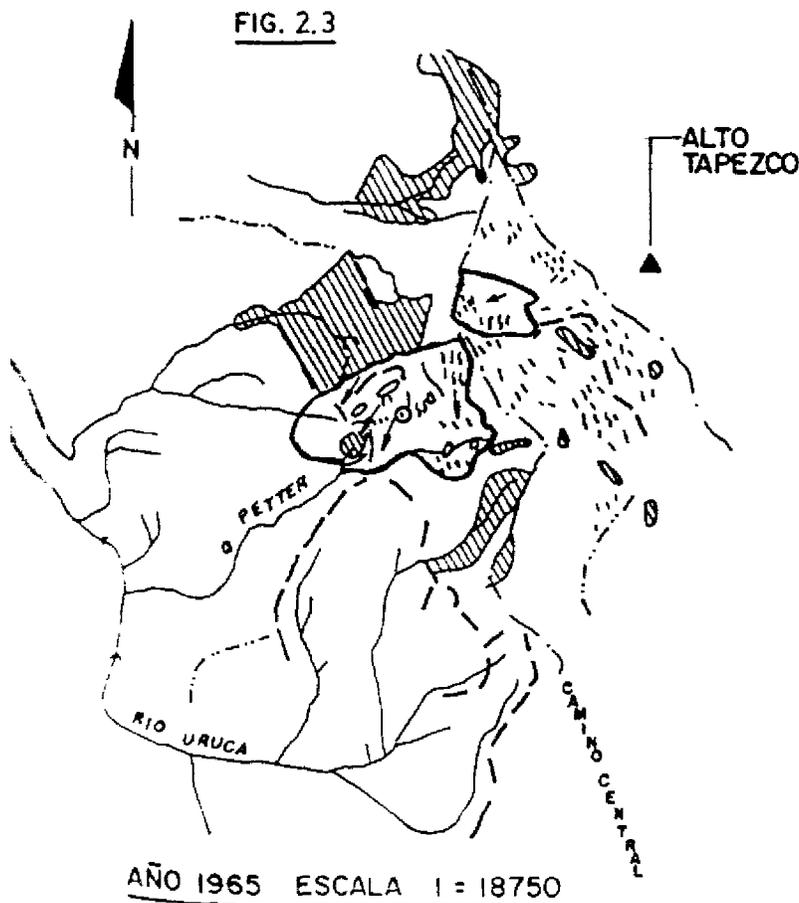
Se ha formado otra corona al E, faltando poco para unirse con las laterales y hacer migrar la corona principal. En las partes de atrás han ocurrido grandes desprendimientos. Cerca del camino central, sobre la corona principal, se observa erosión intensa, evidenciada por la presencia de grandes surcos, causados por la escorrentía superficial. Al NE. atrás de la corona y fuera del deslizamiento, el terreno presenta características similares al ya desestabilizado. Todas estas áreas muestran una actividad fuerte y es posible que sea por la falta de cobertura vegetal, presente sólo en un 10% de los terrenos correspondiente al deslizamiento (fig. 2.3).



AÑO 1945 ESCALA APROX. 1= 26 000



AÑO 1956 ESCALA APROX. 1= 51 500



AÑO 1965 ESCALA 1= 18 750

SIMBOLOGIA

- DESLIZAMIENTO ACTIVO
- ARBOLEDAS
- ESCOMBROS
- CICATRIZ
- REPTACION Y EROSION INTENSA
- DIREC DE MOVIMIENTO
- DIVISORIA
- RIO Y QUEBRADAS
- CAMINO
- PUNTO DE REFERENCIA
- ALINEAMIENTO FOTO-GEOLÓGICO

Las fotografías del 14 de febrero de 1973 tienen una escala aproximada 1:22000.

En el frente del deslizamiento se nota la actividad que ha persistido en los años anteriores, aumentando su área y por consiguiente haciéndolo más visible, con una tonalidad clara, la cual se debe a la ausencia total de vegetación y a la erosión intensa.

Cerca del punto de referencia (centro del deslizamiento), el terreno se ve muy afectado, además grietas y desprendimientos son muestra de la actividad en este lugar:

Al N del camino central se aprecian dos pequeños desprendimientos que han unido la corona lateral norte con la principal. Los materiales comprendidos entre el camino mencionado y la corona principal se encuentran muy afectados, susceptibles a deslizarse en los siguientes años. La erosión del terreno al W del mismo camino ha formado un escarpe que llega a la quebrada Petter. Este es el producto del continuo lavado que han sufrido los materiales a causa de la escorrentía superficial, la cual ha formado algunos surcos.

La actividad vuelve a aparecer en las márgenes de la quebrada Petter.

La forma del deslizamiento sigue siendo a grandes rasgos subvertical pero ahora con su eje mayor orientado N70E.

Aun cuando la vegetación se ha recuperado un poco, principalmente al SE, su cobertura es escasa, un 30% de los terrenos aledaños al deslizamiento y un 20% en él. (fig. 2.4).

Las fotografías del 30 de enero de 1974, tienen una escala 1:22000, en las cuales no se nota ningún cambio fuerte

en la morfología del deslizamiento, con la excepción del arrastre de sedimentos en el frente y quebradas vecinas. Esto indica que del 14 de febrero de 1973 a la fecha en que se tomaron estas fotos, los factores climáticos y sísmicos no jugaron un papel importante en el avance del deslizamiento (fig. 2.5).

Las fotografías del 27 de noviembre de 1979, cuentan con una escala aproximada 1:11000. Nuevamente la actividad se ha centralizado en el frente y en los terrenos aledaños al punto de referencia. Allí, ha socavado y destruido terrazas, formando un pequeño anfiteatro y algunos canales. Al oeste del camino central el terreno ha sido erosionado y continúa el proceso de formación de un surco. Cerca de la corona norte se vuelven a presentar algunos desprendimientos.

Con respecto a los materiales aledaños al deslizamiento, en el N y al frente de él, se muestran evidencias de reptación.

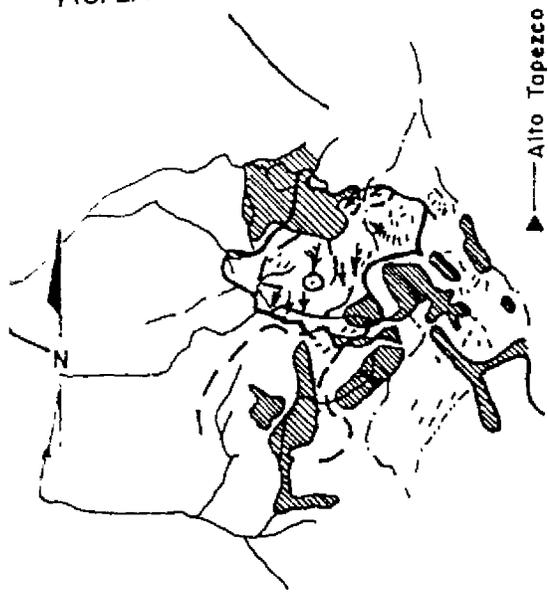
La vegetación se ha recuperado lentamente, principalmente al SW, cerca de la naciente de la quebrada Petter y al E entre la corona principal y el camino central (fig. 2.6).

Las fotografías del 19 de abril de 1982 y enero de 1983, con escalas aproximadas 1:24000 y 1:22000, respectivamente, muestran cambios en la morfología del deslizamiento.

La vegetación sigue siendo escasa, un 35% sobre el deslizamiento. (fig. 2.7, 2.8).

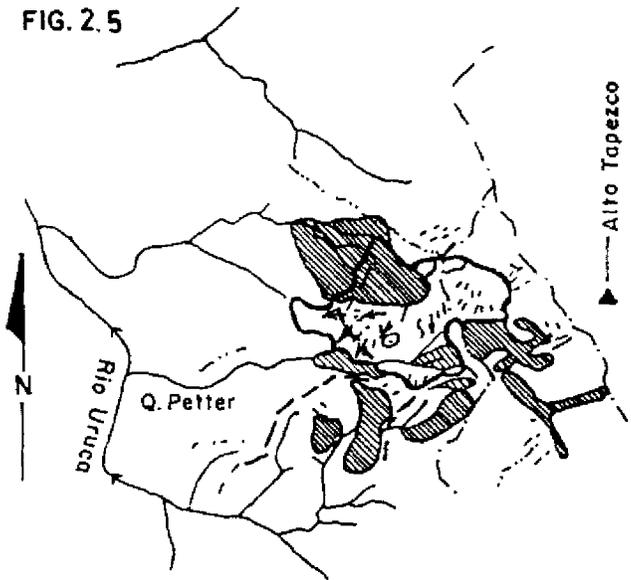
Cabe destacar que estas fotos, al tener escalas menores que las de 1979, pierden detalles en la imagen.

FIG. 2.4



AÑO 1973 - ESCALA APROX. 1=22 000

FIG. 2.5



AÑO 1974 - ESCALA APROX. 1=27 000

FIG 2.6



AÑO 1979 - ESCALA APROX. 1=11 000

SIMBOLOGIA

- DESLIZAMIENTO ACTIVO
- ARBOLEDAS
- ESCOMBROS
- CICATRIZ
- REPTACION Y EROSION INTENSA
- DIREC. DE MOVIMIENTO
- DIVISORIA
- RIO Y QUEBRADAS
- CAMINO
- PUNTO DE REFERENCIA

Las fotografías del 11 de marzo de 1986 cuentan con una escala aproximada 1:16700. Se aprecia que parte del frente del deslizamiento ha sido socavado. En los terrenos aledaños al punto de referencia, al igual que los cercanos a la antigua corona principal, se han desarrollado algunas quebradas, posiblemente intermitentes, a causa de la erosión producida por la escorrentía superficial.

En los terrenos ubicados al SE del deslizamiento han aparecido grietas, que en un futuro próximo van a formar y a ampliar la corona principal.

En la corona N la actividad ha continuado, pero su magnitud ha sido menor que los años anteriores.

La cobertura vegetal mantiene un aumento lento y en el centro del deslizamiento se aprecian algunos árboles. (fig. 2.9).

Las fotos del 19 de febrero de 1987 tienen una escala 1:23000 y en las cuales. no se observan cambios con respecto a las de 1986 (fig. 2.10).

Las fotografías del 27 de octubre de 1988, tienen una escala aproximada 1:9000. Este año fue muy importante, pues las lluvias provocadas al pasar los huracanes Gilbert y Joan por el Caribe cerca de las costas de nuestro país, incrementaron la actividad del deslizamiento.

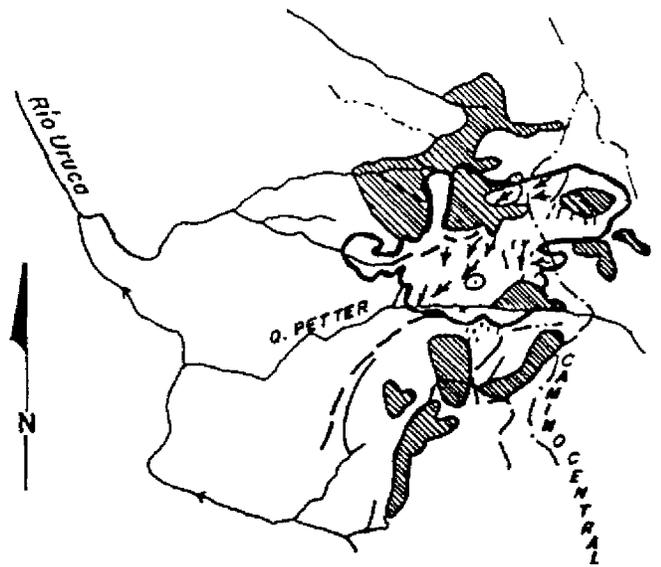
La corona principal se extendió al SE uniendo las grietas que se mencionaron al describir las fotos de 1986. Cabe la posibilidad de darse la unión con la corona lateral S. en un futuro no muy lejano. aumentando el área del deslizamiento en un 25% de la actual. Igualmente, se observan

FIG. 2.7



AÑO 1982 - ESCALA APROX. 1= 24.000

FIG. 2.8



AÑO 1983 - ESCALA APROX. 1= 22.000

FIG 2.9



AÑO 1986 - ESCALA APROX. 1= 17.000

SIMBOLOGIA

- DESLIZAMIENTO ACTIVO
- ARBOLEDAS
- CICATRIZ
- REPTACIO Y EROSION INTENSA
- DIREC DE MOVIMIENTO
- DIVISORIA
- RIO Y QUEBRADAS
- CAMINO
- PUNTO DE REFERENCIA

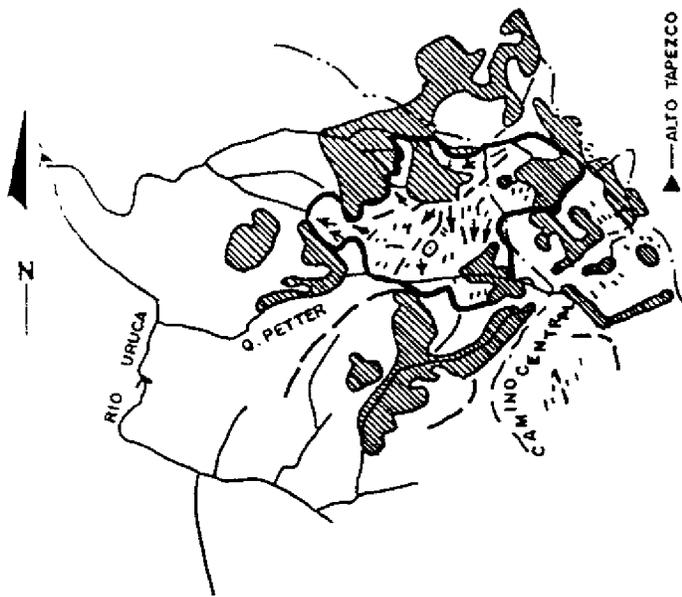
Los flujos de escombros que llevan el nombre de los huracanes antes citados que los generaron. Es importante recalcar que los desprendimientos coincidieron con lluvias máximas en 24 horas de 100 mm, registrados en la estación de Matinilla el 12 de setiembre de 1988 y de 53 mm para las estaciones de Santa Ana y San Antonio de Escazú el día 13 del mismo mes, correspondiendo con los días más lluviosos de setiembre a causa del huracán Gilberth. La lluvia promedio del mes es aproximadamente la mitad de la ocurrida durante el huracán (Badilla 1989).

En octubre, los días en que se registraron mayores precipitaciones fueron el 22 y 24, con 100 mm para la estación de Matinilla, 82 mm en Chiverral y San Antonio de Escazú, 65 mm para Salitral, 110 mm para Salitral O. Ureña y 54 mm para Super Canal. Estas estaciones presentan sólo un máximo para el día 22, en contraposición a la estación de Santa Ana en donde se registraron dos máximos: 65 y 63 mm para los días 22 y 24 respectivamente y en la estación Santa Ana Muni. con 64 y 41 mm. La lluvia promedio durante el huracán Joan fue aproximadamente el doble que la lluvia promedio del mes. (Badilla 1989).

La vegetación dentro del deslizamiento para esta época cubre un 30% del área desestabilizada.

Vale mencionar que en la parte superior del deslizamiento, que anteriormente se calificó como inactivo, se dió un pequeño desprendimiento y el terreno muestra diferencias de movimiento (fig. 2.11).

FIG. 2.10



AÑO 1987 - ESCALA 1: 23000

SIMBOLOGIA

- DESLIZAMIENTO ACTIVO
- ARBOLEDAS
- ESCOMBROS
- CICATRIZ
- REPTACION Y EROSION INTENSA
- DIREC. DE MOVIMIENTO
- DIVISORIA
- RIO Y QUEBRADAS
- CAMINO
- PUNTO DE REFERENCIA

FIG. 2.11



AÑO 1988 - ESCALA APROX. 1= 9500

Las fotografías del 30 de abril de 1989 tienen una escala 1:19900. Los desprendimientos ocurridos en la estación lluviosa de 1988 se notan ahora muy similares a los existentes en las fotos de 1956. Los terrenos ubicados al E y SE, son los que muestran la mayor actividad, aumentando el área del deslizamiento al retroceder la corona principal. El deterioro también se aprecia en los terrenos aledaños a la corona lateral N, en especial por donde la interseca el camino.

La vegetación boscosa dentro del deslizamiento es de un 35 a 40% y en los terrenos aledaños posibles a deslizarse ha aumentado a un 40% (fig. 2.12).

En las fotografías descritas desde 1945 a 1989, se nota que tanto dentro del deslizamiento como en los terrenos aledaños, la cobertura vegetal ha sido escasa, lo que ha significado una mayor susceptibilidad a la reptación y erosiones fuertes. Esto es ayudado por la constitución de los materiales que en general son muy impermeables. Por consiguiente los años con gran cantidad de lluvia, generan fuertes lavados y en algunos casos el material llega a alcanzar el límite líquido, provocando flujos de lodo y escombros, socavamientos y desestabilizaciones de terrenos.

Los sectores que han mostrado mayor actividad han sido el frente, la corona norte, la corona principal y el centro del deslizamiento. El límite más estable es la Quebrada Fetter, que constituye la corona lateral sur. Esto se puede apreciar en la figura (2.13), en la cual se han superpuesto tres croquis del deslizamiento activo, con base en diferentes

FIG. 2 12



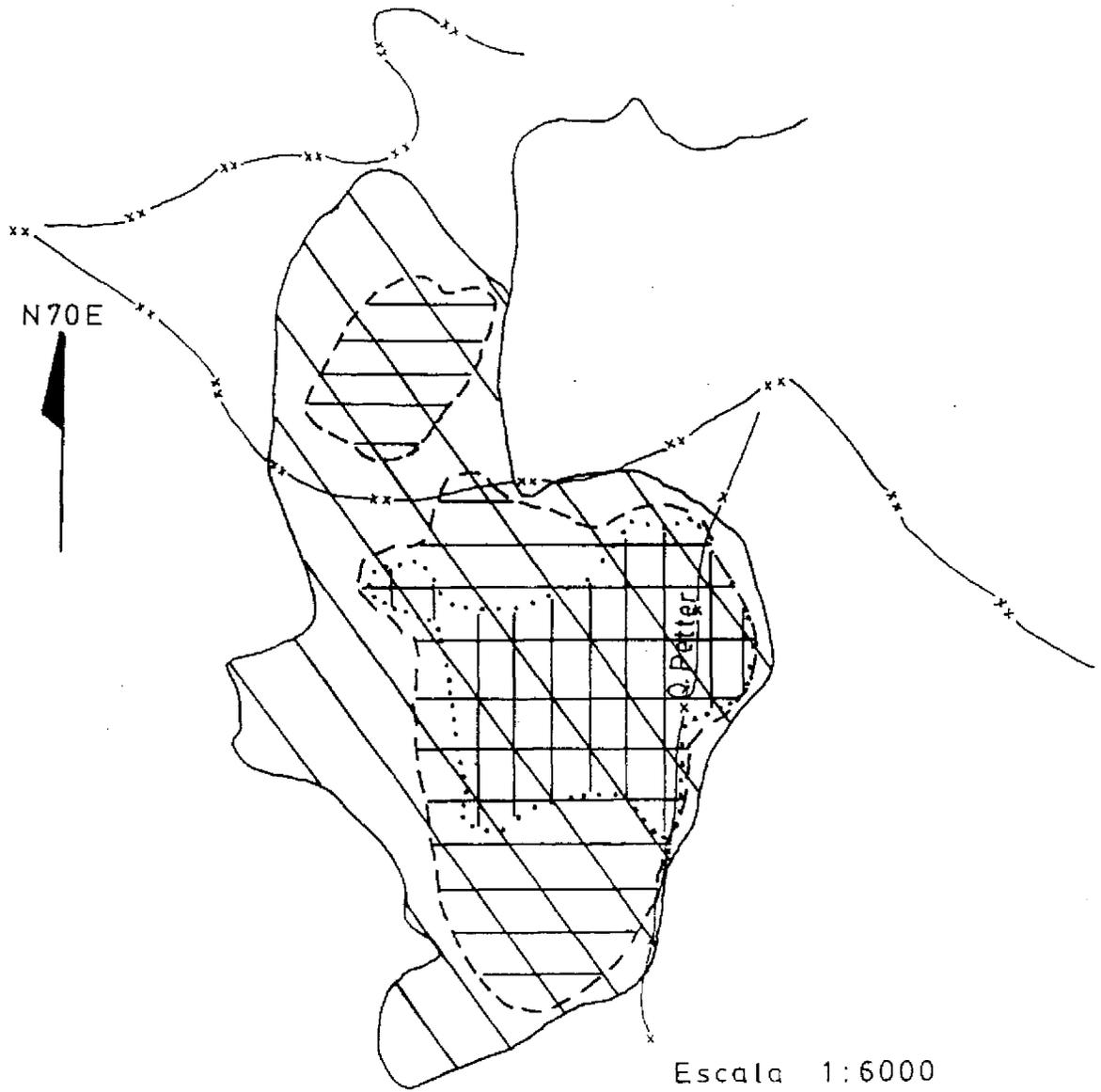
AÑO 1989 - ESCALA APROX. 1: 20 000

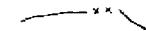
SIMBOLOGIA

- | | |
|--|-----------------------------|
| | DESLIZAMIENTO |
| | ARBOLEDAS |
| | ESCOMBROS |
| | CICATRIZ |
| | REPTACION Y EROSION INTENSA |
| | DIRECC. DE MOVIMIENTO |
| | DIVISORIA |
| | RIO Y QUEBRADAS |
| | CAMINO |
| | PUNTO DE REFERENCIA |

Crecimiento del Deslizamiento Alto de Tapezco

FIG. 2.13



-  Deslizamiento activo 1945
-  Deslizamiento activo 1965
-  Deslizamiento activo 1989
-  Camino

fotos, para ilustrar su crecimiento con el transcurso del tiempo.

2.3 Incremento areal del deslizamiento

Los datos del cuadro 2.1, corresponden al gráfico área versus tiempo (fig. 2.14). En él se muestra el incremento areal del deslizamiento desde 1945 a 1989. Además, se agregan los datos de lluvias máximas en 24 horas, en frecuencia por año, iguales o superiores a 50 mm, denominadas como "tormentas". Del mismo modo, se muestran los sismos con intensidades en la escala de Mercalli Modificada iguales o mayores a IV. También se incluyen sismos históricos de intensidades importantes que generaron deslizamientos en otros lugares del país.

En la figura (2.14) se pueden distinguir a grandes rasgos tres etapas:

A) La primera abarca desde 1945, cuando el deslizamiento comprendía 7 ha, hasta 1974 donde ya había alcanzado 20.44 ha; este incremento representa un 53.83% del área actual del deslizamiento, para una rapidez de avance igual a 0.45 ha por año (4500 m² por año).

Este tramo de la curva se toma como una sola etapa por la poca información (4 datos de medidas del deslizamiento para 29 años), no obstante presenta tres tipos de pendientes, correspondiendo con fases diferentes en su

evolución: la primera y tercera fase abarcan desde 1945 a 1956 y 1965 a 1974, presentan una velocidad de crecimiento de 0.445 y 0.326 ha por año respectivamente. La segunda fase muestra un crecimiento mayor de 0.622 ha por año, para el

período comprendido entre 1956 y 1965.

Sin embargo, utilizando como criterio la magnitud de la frecuencia de lluvias máximas en 24 horas iguales o superiores a 50mm. se traza en líneas discontinuas un posible patrón de crecimiento del deslizamiento para dicho período.

B) La segunda etapa comprende desde 1974 hasta 1979, donde el avance del deslizamiento es el menor de todo el registro, de 0.69% del área actual, no obstante la cantidad de terreno que pasa a formar parte de él es considerable; 0.044 ha por año (440 m² por año). En este período, los factores que juegan un papel importante en el crecimiento del deslizamiento, no tuvieron una actividad relevante.

C) La última etapa va de 1979 a 1989; este período muestra un incremento en la velocidad de crecimiento. En estos años el área que pasó a ser parte del deslizamiento fue de 16.69% del área total, con una velocidad de 0.414 ha. por año (4140 m² por año).

Sin embargo, esta etapa se puede dividir en varias fases: la primera de 1979 a 1983, cuando el deslizamiento comienza a dar indicios de aumentar el área afectada, después de un período casi inactivo como fue el de 1974 a 1979. Posteriormente de 1983 a 1986 el deslizamiento crece a una rapidez de 0.467 ha. por año. Entre 1986 y 1987 es poco activo, disminuye su rapidez a solo 0.15 ha. por año. Es en el período de 1987 y 1989 que presenta un incremento de 0.925 ha por año (9250 m² por año), la mayor de todo el registro. Finalmente la causa de la influencia del tránsito de los ríos ya mencionados.

CUADRO 2.1

| Año | Area ha | Frecu. lluvia ≥ 50mm | Frecu. sismo MM ≥ IV | Frecu. sismo hist. MM ≥ IV |
|------|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1945 | 7 | 4 | | |
| 1946 | | 0 | | |
| 1947 | | 3 | | |
| 1948 | | 4 | | |
| 1949 | | 4 | | |
| 1950 | | 5 | | |
| 1951 | | 1 | | |
| 1952 | | 2 | | 1 |
| 1953 | | 5 | | |
| 1954 | | 7 | | |
| 1955 | | 3 | | 1 |
| 1956 | 11.9 | 1 | | |
| 1957 | | 2 | | |
| 1958 | | 1 | | |
| 1959 | | 1 | | |
| 1960 | | 2 | | |
| 1961 | | 0 | | |
| 1962 | | 6 | | |
| 1963 | | 7 | | |
| 1964 | | 2 | | |
| 1965 | 17.5 | 2 | | |
| 1966 | | 9 | | |
| 1967 | | 1 | | |
| 1968 | | 6 | | |
| 1969 | | 7 | | |
| 1970 | | 3 | | |
| 1971 | | 4 | | |
| 1972 | | 2 | | |
| 1973 | | 5 | | 1 |
| 1974 | 20.44 | 5 | | |
| 1975 | | 2 | | |
| 1976 | | 2 | 2 | |
| 1977 | | 2 | 1 | |
| 1978 | | 3 | 4 | |
| 1979 | 20.66 | 5 | 1 | |
| 1980 | | 6 | 1 | |
| 1981 | | 5 | 3 | |
| 1982 | 21.1 | 6 | 3 | |
| 1983 | 21.4 | 5 | 7 | |
| 1984 | | 3 | 1 | |
| 1985 | | 3 | 0 | |
| 1986 | 22.3 | 2 | 0 | |
| 1987 | 22.95 | 5 | 5 | |
| 1988 | 24.75 | 6 | 3 | |
| 1989 | 24.8 | 4 | 2 | |

Deslizamiento Alto de Tapezco

FIG 214

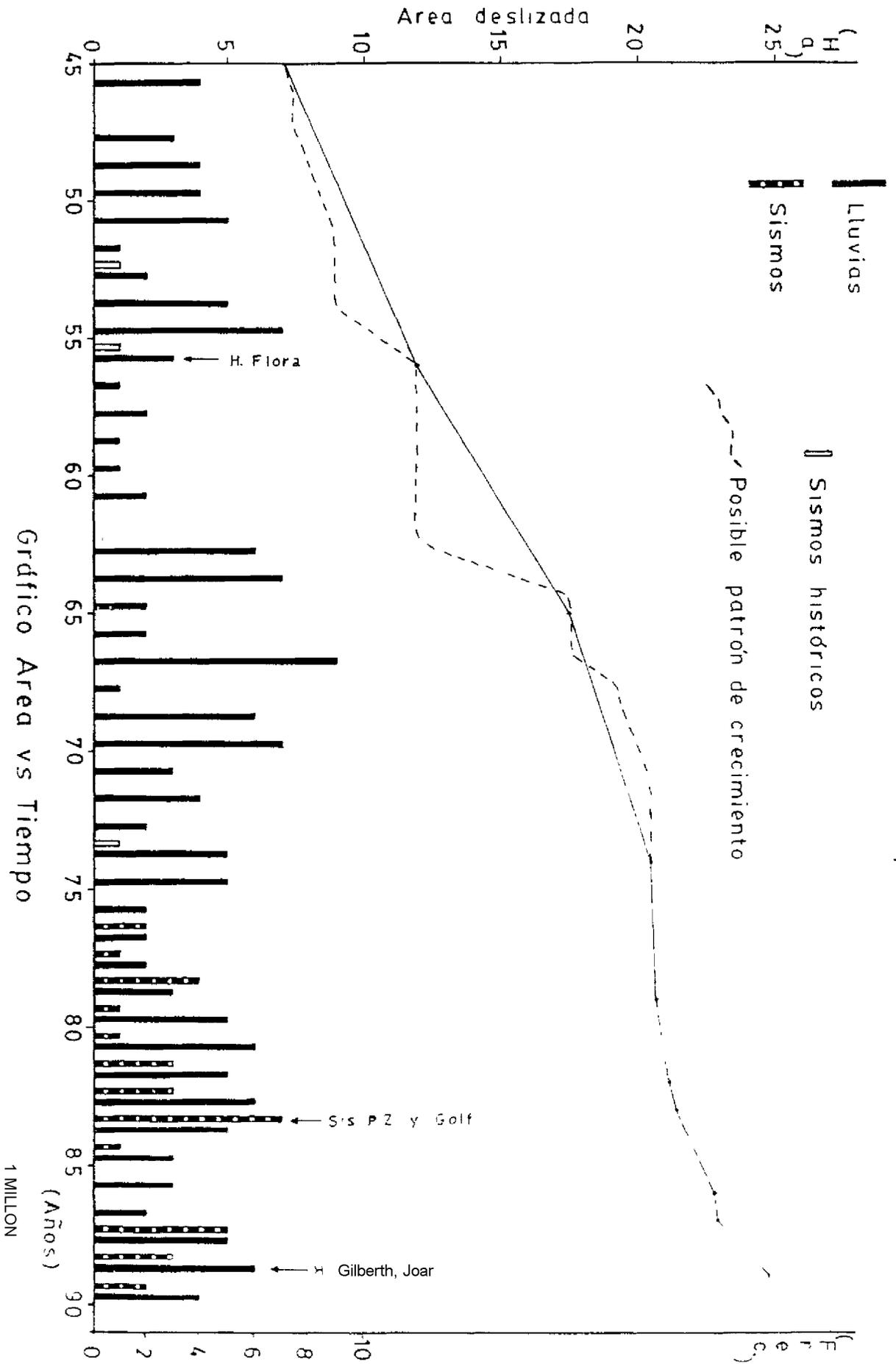


Gráfico Area vs Tiempo

1 MILLON

Es interesante observar que una regresión lineal de estos datos (fig. 2.15), ofrece un coeficiente de correlación de 0.98. Por lo tanto, si se intersectara la curva con el eje de las abscisas, se podría calcular que el deslizamiento se disparó alrededor de los años 1923 - 1924, o a lo sumo entre principios de siglo y 1941.

Es muy probable que algún fenómeno natural haya cooperado con la generación del disparo del deslizamiento.

Si tomamos la posibilidad de un comportamiento de crecimiento lineal, el origen del deslizamiento data de 1923 a 1924, como lo muestra la regresión mencionada anteriormente y el fenómeno que pudo cooperar con su origen, lo fue el terremoto de Orotina en 1924, que llegó a generar una intensidad en la escala de Mercalli Modificada de VI, con su epicentro ubicado a unos 30 km del lugar de estudio.

Otra posibilidad de comportamiento, que muestran por lo general los deslizamientos en su evolución, es un rápido crecimiento en sus inicios y posteriormente estabilizando su velocidad de desarrollo. En este caso una de las causas naturales que pudo contribuir con su origen fue el terremoto de Burica en 1941, que generó una magnitud en la escala de Richter de 7.9 grados.

Sin embargo, cabe la posibilidad de que el crecimiento del deslizamiento en sus inicios haya sido muy lento, incrementando su velocidad con el tiempo. De ser así su desarrollo pudo originarse a principios de siglo.(fig 2.15).

Si se analizan los datos de lluvias, se pueden distinguir tres ciclos, con un periodo aproximado de 15 años.

Regresión de área vs tiempo

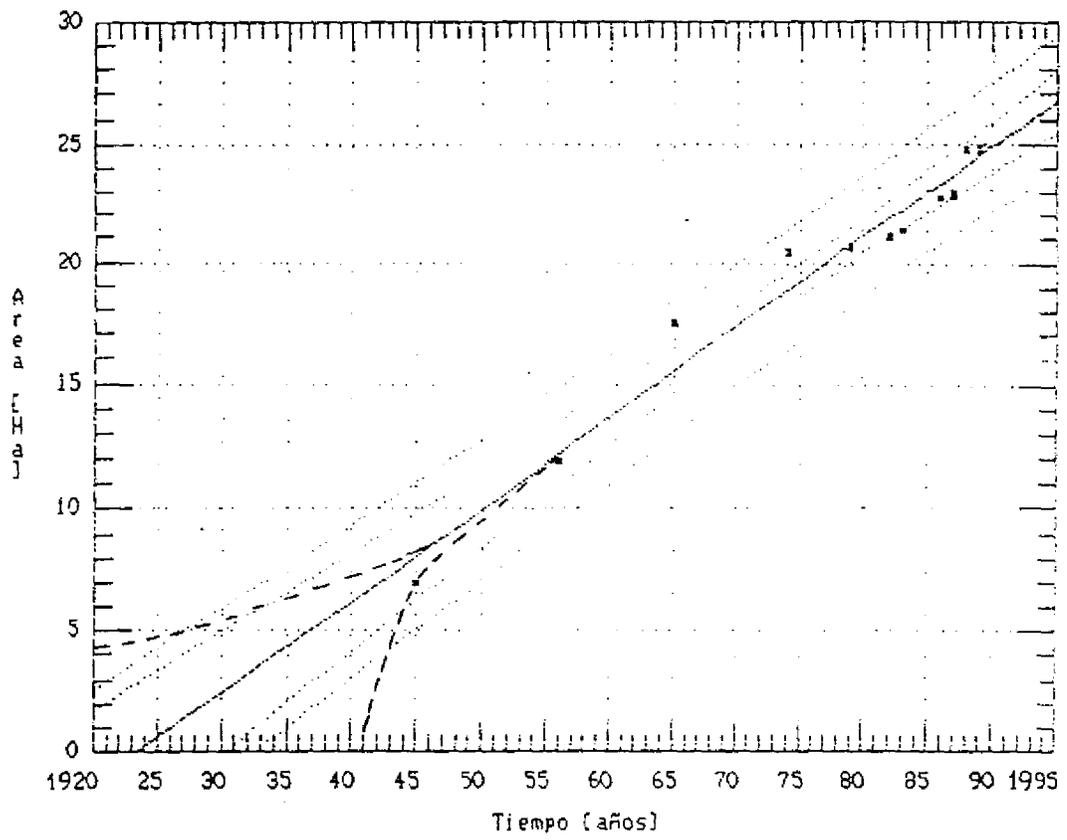


FIG 2.15

Los años con mayor frecuencia de lluvias máximas a 50 mm en 24 horas generan una actividad más intensa en el deslizamiento. Sin embargo, las lluvias provocan un mayor efecto en él, aun siendo de menor valor, cuando se dan en días consecutivos, esto de acuerdo con las características de absorción y por la capacidad de campo del suelo. Cuando se supera este valor el agua pasa a niveles inferiores provocando el ascenso del nivel freático, el aumento del peso de la masa deslizante, al igual que la presión de poros y la pérdida de resistencia al corte en los planos de deslizamiento. Por tal motivo, en los periodos de mayo a junio y de setiembre a octubre, es cuando aumenta la probabilidad de movimientos y desprendimientos del deslizamiento.

Otro fenómeno que ha cooperado con el crecimiento del deslizamiento son los sismos. El registro existente de ellos; con su respectiva intensidad, fue consultado de los archivos de la Red Sismológica Nacional (ICE - UCR), con información instrumental desde 1976.

Al ser un registro tan pequeño es difícil obtener alguna relación directa y evidente. Sin embargo, se puede concluir que, en años con frecuencias importantes de sismos con intensidades iguales o superiores a IV en la escala de Mercalli Modificada, se da un incremento en el área del deslizamiento.