

DESLIZAMIENTOS EN LA CUENCA MEDIA Y SUPERIOR DEL RIO REVENTADO, CARTAGO, COSTA RICA

Wilhelm-Günther Vahrson*
Nury Cartín Herrera*

RESUMEN

La cuenca del río Reventado, situada en la vertiente sur del Volcán Irazú, Costa Rica, presenta actualmente un riesgo para la ciudad de Cartago (aproximadamente 30.000 habitantes), especialmente para algunos asentamientos cercanos al río mismo.

Este riesgo consiste, en primer lugar, en un deslizamiento con grandes extensiones en la parte inferior de la cuenca media, el deslizamiento llamado San Blas. Este

* Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional.

AGRADECIMIENTO

A la señorita Ligia Hernando, señora Hannie Achío y señor Douglas Salgado por su cooperación en diferentes partes del proyecto.

Al señor Gonzalo Hernández por los mapas y gráficos, a la señora Patricia Quirós por la mecanografía.

Al Instituto Geográfico Nacional por su apoyo y a la Comisión Nacional de Emergencia por su apoyo financiero.

deslizamiento está formado por la antigua terraza de Banderilla de material de avalanchas holocenas y que fue activado en el comienzo de la década de los setenta por la destrucción de su sostén por la explotación de materiales en tajos.

Anteriormente, la última vez en los años 63-65, el riesgo era diferente:

Erupciones del Irazú con grandes cantidades de cenizas originaron un cambio violento del régimen hidrológico, intensas lluvias causaron crecidas y avalanchas, profundizando en la cuenca superior los cauces y provocando así deslizamientos.

En la cuenca baja estas avalanchas provocaron inundaciones y las acumulaciones de los abanicos diferentes.

Los deslizamientos activados por estos eventos actualmente muestran poca o ninguna actividad, pero el riesgo de repeticiones de estos eventos persiste.

SUMMARY

The Río Reventado watershed, situated in the southern slope of the Irazú volcano, Costa Rica, presents a risk for the town of Cartago (30.000 inhabitants) and specially for some settlements near the river.

In first place, this risk consists of a huge landslide in the lower part of the watershed, the «San Blas - landslide, which is formed by the labaric material of a holocene terrace of the Reventado, called «Banderilla - terrace». At the beginning of the seventies this terrace was activated due the exploitation of its materials in two quarries.

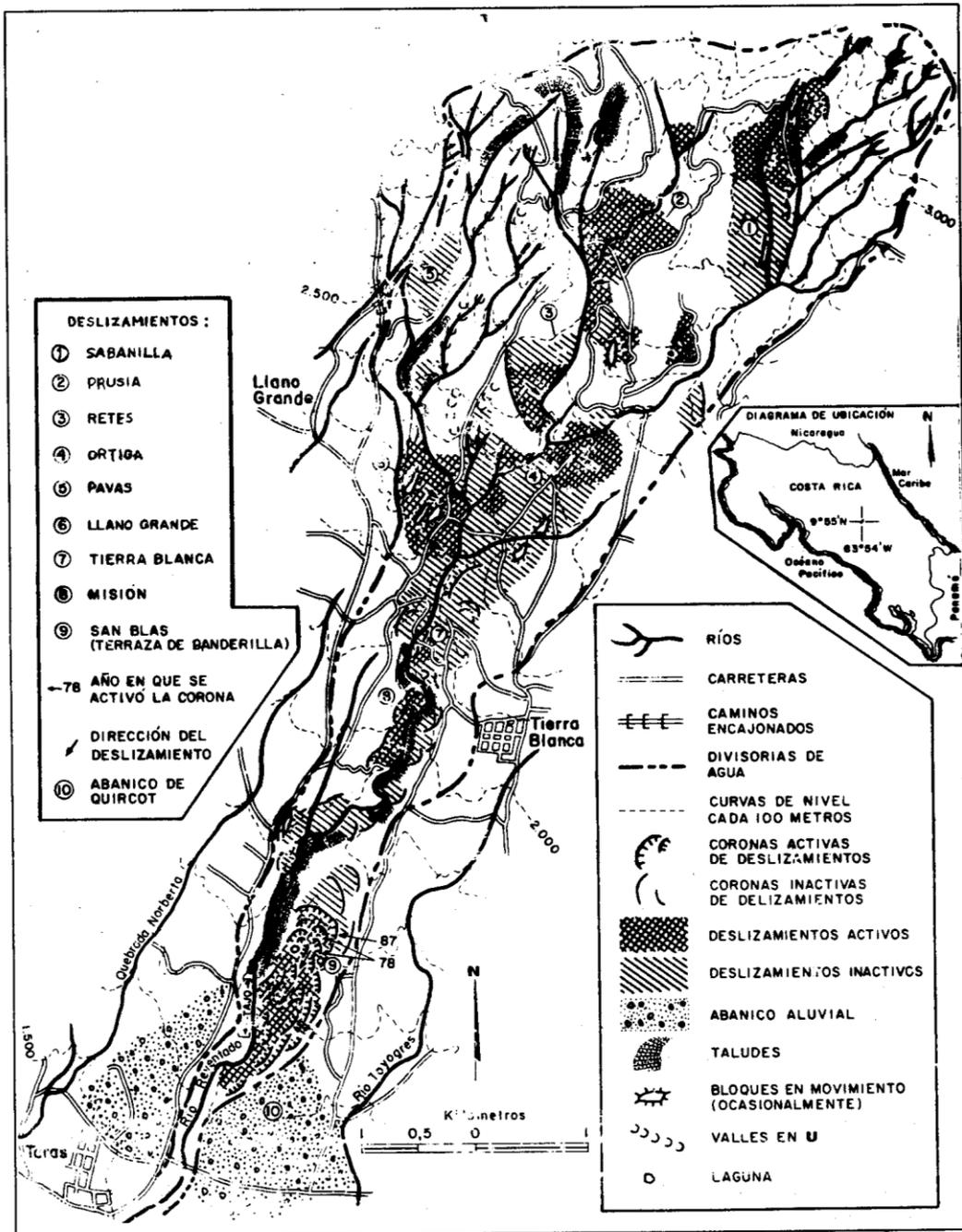
The risks existing before in this watershed were of an other nature, an example give the events of the years 1963-65:

A violent hydrologic change in the upper part of the Reventado watershed due to the ashfall of an eruption of the Irazú caused big mudflows which depend the river beds and thus provoked landslides.

Thesé mud flows caused inundations and acumulations in the lower watershed. Today, the land slides activated in the sixties are stable or semistable, but the risk of repetitions still persists.

I. INTRODUCCION

La cuenca media y superior del río Reventado, Cartago, Costa Rica, como consecuencia de la actividad explosiva del volcán Irazú en los años 63-65 sufrió un



Mapa 1.

Río Reventado, deslizamientos en la cuenca media y superior.

desbalance hidrológico, desbalance que se manifestó por la ocurrencia de avalanchas, producto de cambios hidrológicos por la acumulación de cenizas, produciéndose una profundización de sus cauces, lo cual trajo como consecuencia la desestabilización de

sus márgenes (ICE, 1965). Hoy día, 25 años después de este desbalance hidrológico, las márgenes del río Reventado y sus tributarios muestran las huellas de antiguos y recientes procesos de remoción en masa, como son el gran número de deslizamientos activos e inactivos que caracterizan su cuenca media y superior (mapa 1). La presente investigación pretende analizar la situación en esta cuenca hoy en día, enfatizando dos de los deslizamientos que mayor superficie cubren: los deslizamientos de San Blas y el de Llano Grande.

II. AREA DE ESTUDIO

2.1. Localización

El área de estudio corresponde a la cuenca media y superior del río Reventado, ubicada entre los 9° 55' Lat. N. y los 83° 54' Long. W. Encontrándose en la provincia de Cartago y cubriendo los distritos de Tierra Blanca, Llano Grande y San Nicolás.

Esta cuenca se origina en la falda sur de los cerros Sapper, Retes y Cabeza de Vaca, quedando su extremo más oriental 2 km al S.W. del cráter principal del Volcán Irazú (mapa 1).

El punto más alto de la cuenca es la Torre Sapper con una altitud de 3.400 m., cerca de la cima del Irazú, la cota de aproximadamente 1.550 m., determina el límite entre la cuenca media y la cuenca inferior (áreas de acumulación). La extensión máxima longitudinal es de aproximadamente 11 km, llegando a una pendiente promedio de aproximadamente 17%. La cuenca media y superior del río Reventado tiene un área de aproximadamente 21.3 km².

2.2 Geología

El 90% de la superficie de la cuenca está cubierta por gruesas capas de ceniza, pobremente compactadas, materiales laháricos y materiales coluvio-aluviales. A lo anterior, hay que agregar la existencia de zonas fuertemente alteradas hidrotermalmente, lo que favorece la generación de bandas de materiales más débiles, compuestos de materiales arcillosos.

Las principales unidades litológicas (KRUSHENSKY, 1972; SPRECHMANN, 1984) que afloran en la cuenca son:

Formación Reventado: Se caracteriza por coladas de lava de espesores de 10-20 m, delgados depósitos laháricos de 2-5 m. y cenizas.

Formación Sapper: Consiste de lava, lava interestratificada con lahares.

Los lahares se encuentran en fuerte proceso de meteorización.

Los terrenos inestables en las márgenes del Reventado y sus tributarios, coinciden con las áreas donde afloran los depósitos laháricos o éstos intercalados con coladas y capas de cenizas compactas (tobas).

2.3. Geomorfología y pendientes

La cuenca media y superior del río Reventado se caracteriza por las fuertes pendientes. En la cercana de sus nacientes las pendientes son de 60%. Este hecho se manifiesta en la pendiente media del río, que alcanza un promedio de 17,4%, el río desciende aproximadamente 1.050 metros en 6 km de su recorrido. Caracterizándose el área, en sus partes más altas, por profundos cañones, los cuales desaparecen al disminuir la pendiente.

Una forma de erosión que caracteriza la parte superior de la cuenca es la presencia de profundas cárcavas, debido principalmente al tipo de material que se encuentra (cenizas), haciendo que el proceso erosivo de profundización se acelere.

En la parte baja presenta la terraza de Banderilla y el abanico aluvial de Quircot (pleistoceno) las formas de sedimentación, constituidos por los materiales de antiguos lahares y deslizamientos. El cauce actual del río está en un nivel entre 60 y 100 m. debajo de las superficies de las acumulaciones mencionadas. El área de las acumulaciones subrecientes (de 1963-1965) ya corresponde al área de la cuenca baja, aquí también se puede observar una profundización del río desde esta época, que llega en algunos lugares (cerca del puente Bailey) a unos 15 m.

2.4. Clima

El estar ubicado muy cerca de la divisoria continental de aguas, influye poderosamente en el comportamiento del clima, especialmente en su régimen pluvial, *ya que la cuenca es afectada por fenómenos atmosféricos que se originan en ambas vertientes.*

De mayo a octubre, predominan sobre la cuenca lluvias orográficas causadas por el flujo de aire húmedo del Pacífico, el cual afecta la vertiente oeste de la cuenca. De octubre a diciembre, la cuenca se ve afectada por fenómenos atmosféricos que se originan en el Caribe, afectando principalmente la parte este de la cuenca (gráfico 1).

Las intensidades de las lluvias diarias son relativamente bajas (cuadro 1), comparadas con otras partes del país. La única estación dentro de la cuenca, Sanatorio Durán, tiene un patrón de las lluvias extremas parecido al del Valle Central (VAHRSON, 1988).

La estación Pacayas y la estación Irazú ya están más expuestas a la influencia Caribe y muestran entonces niveles mayores de las lluvias extremas.

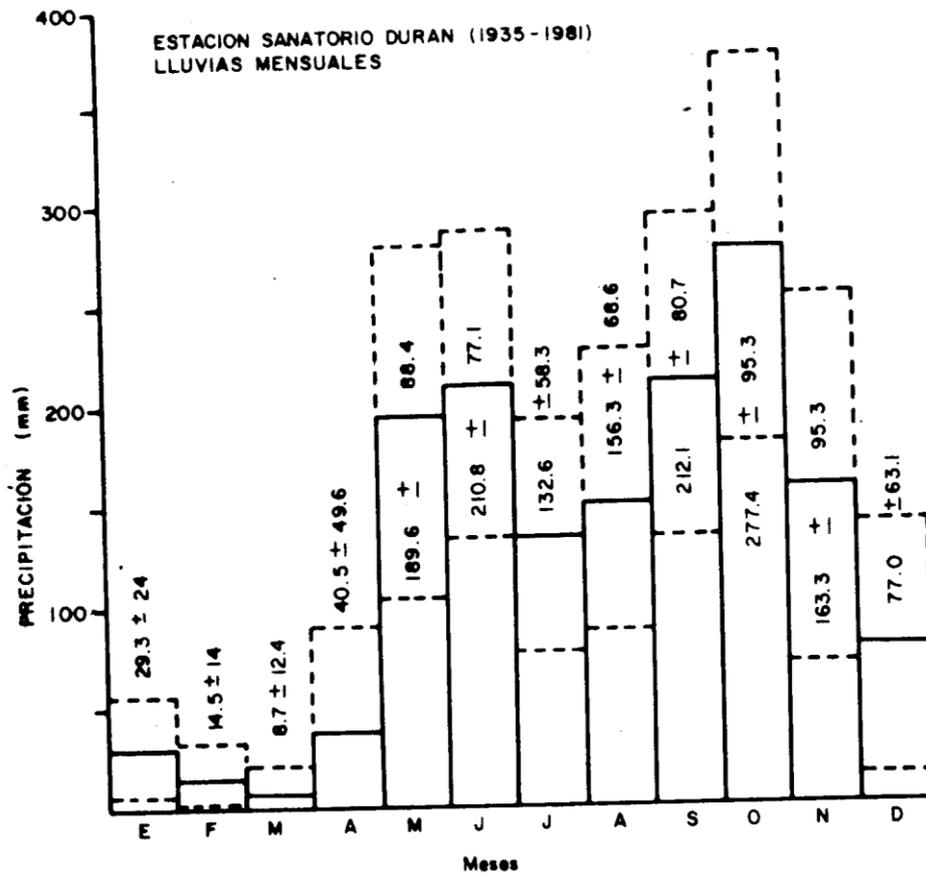


Gráfico 1.
Pluviograma. (Estación Sanatorio Durán).

CUADRO 1.
LLUVIAS MAXIMAS MEDIDAS Y PARA DIFERENTES PERIODOS DE
RETORNO DE ESTACIONES CERCANAS A LA CUENCA SUPERIOR
DEL RIO REVENTADO.

Eventos máximos según período de retorno								
N° Est.	Nombre	Max Med.	(años)					
			100	50	25	10	5	2
73011	S. Durán	154	170.1	153.7	137.1	114.8	97.1	70.5
73022	Pacayas	145	188.7	170.7	152.6	128.3	109.0	79.8
73081	Irazú	228	317.6	281.4	245.0	196.0	157.1	98.5

CUADRO 2.
EVENTOS MAXIMOS ANUALES OBSERVADOS
EN LA EPOCA DE LAS AVALANCHAS.

N° Est	Nombre	AÑO		
		1963	1964	1965
73011	Sanatorio Durán	65.2	52.3	60.8
73022	Pacayas	87.0	48.8	75.6
73081	Irazú	—	46.0	190.0

Las intensidades máximas de las lluvias diarias durante el período de las avalanchas en la cuenca del río Reventado eran muy bajas (cuadro 2). En el caso de la estación Sanatorio Durán estas intensidades eran menores a las que corresponden a un período de retorno de 2 años.

III. HISTORIA DE LAS AVENIDAS DEL RIO REVENTADO

La ciudad de Cartago tiene su suelo constituido por una capa de material aluvial, de características semejantes a las que transportó el Reventado en sus últimas avenidas, el abanico aluvial de Cartago consiste de material caótico y no estratificado, limo a canto rodado (KRUSHENSKY, 1972).

Basándose en los datos históricos disponibles, se tienen noticias de avenidas del río Reventado en las siguientes fechas: 1724, 1861, 1891, 1928, 1951, 1963, 1964 y 1965 (ICE, 1965).

La reubicación de la antigua ciudad de Cartago en el año 1563 (Ciudad del Lodo) era, según MELENDEZ (1962), no un producto de las inundaciones del río Reventado, sino del río Coris.

Algunas de las anteriores avenidas se debieron al desbalance hidrológico de la cuenca del Reventado, que unido al fenómeno meteorológico del temporal, trajo como consecuencia avenidas muy grandes, como por ejemplo las del año 63. Estas avenidas produjeron un gran socavamiento en el cauce del Reventado, originando la inestabilidad de los taludes adyacentes como consecuencia de lo anterior, se iniciaron una serie de deslizamientos a lo largo del cauce.

Solamente las avalanchas de 1724 y 1963-1965 tenían relación directa con los eventos eruptivos mayores (1724, 1726 y 1917-1921, 1963-1964). En otras ocasiones las avalanchas fueron causadas por fuertes temporales.

El evento de 1951 corresponde, p.e., a las lluvias máximas diarias observadas en

la estación Sanatorio Durán (154 mm/24 horas), período de retorno de un evento tal: aproximadamente 50 años.

En la época de 1963-1965 lluvias con intensidades relativamente bajas (cuadro 2) causaron las avalanchas. Hidrogramas del ICE (1965) muestran estas avalanchas ya después de unos 20 mm de precipitación. La acumulación de cenizas en esta época causó dos cambios significativos en la parte superior de la cuenca:

1. Destrucción y/o derrumbamiento de la cobertura vegetal (en primer lugar, pastos y arbustos).
2. Formación de una corteza (10-15 mm) casi impermeable en la superficie de las cenizas caídas, supuestamente por el impacto directo de las lluvias en los materiales descubiertos o por la acumulación capilar de sales volcánicas y la consecuente compactación de la capa superior (WALDRON, 1967).

Los resultados eran una reducción alta de la infiltración de los sedimentos y un aumento de la escorrentía superficial. WALDRON (1967) estimó la escorrentía superficial en un 80% para lluvias con baja intensidad y larga duración y entre 95% y 100% para lluvias de alta intensidad.

Estas masas de ceniza mostraron una alta estabilidad mecánica, pero al mismo tiempo una alta erosibilidad, llegando a una pérdida entre un tercio y la mitad de las cenizas sedimentadas en las partes superiores de la cuenca hasta la terminación de la época lluviosa en 1964 (WALDRON, 1967). Este aumento de la escorrentía superficial más el aumento de la densidad del líquido causaron un gran poder erosivo en los ríos, especialmente en el río Reventado, profundizando los lechos formados muchas veces por material lahárico poco consolidado. Más tarde, los deslizamientos activados por esta profundización del lecho también contribuyeron con material a estos flujos de lodos, que por su densidad eran capaces de transportar bloques hasta de 75 m³ (WALDRON, 1967).

**CUADRO 3.
CONDUCTIVIDADES DE DIFERENTES LUGARES
EN EL DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS.**

<i>Lugar</i>	<i>Conductividad hidráulica (cm/s)</i>
Deslizamiento San Blas	2.38*10 ⁻⁴
Lagunas en el deslizamiento San Blas	1.47*10 ⁻⁴ 1.37*10 ⁻⁴

Los flujos de lodo o avalanchas llegaron a valores máximos de 407 m³/s medidos en el puente entre Tierra Blanca y Llano Grande (09/12/63, ICE, 1965), compuestos por aproximadamente 65% de agua y 35% de material sólido, después de aproximadamente 17 horas de lluvias con un total de 48 mm y una intensidad máxima de 15 mm durante media hora en la estación Durán (ICE, 1965, IMN).

Este valor correspondía a un caudal de 29.0 m³/s/km² o de 70 mm/h compuesto por aguas y materiales sólidos, suponiendo que el 100% de las lluvias se escurrían.

En esta ocasión este flujo de lodo causó la destrucción de más de 300 casas y la muerte de 20 personas en el abanico aluvial del río Reventado, cerca de Taras, Cartago.

La frecuencia de estas avalanchas llegó a más de 90 sólo en el año 1964.

Los sedimentos de estos eventos se pueden apreciar hoy del puente sobre el río Reventado (puente Bailey) mirando hacia el sur.

Las medidas para controlar estos eventos eran las siguientes: zanjas de contorno, rehabilitación de la vegetación artificial y construcción de diques pequeños para reducir la escorrentía superficial y entonces aumentar la infiltrabilidad y el tiempo de concentración en la parte alta afectada por las cenizas, sellamiento de las grietas de algunos deslizamientos grandes, construcción de diques grandes en la zona del abanico aluvial (WALDRON, 1967; ICE, 1965).

Intentos de estabilizar el lecho por gabiones fracasaron (ICE, 1965). Estas medidas mostraron su primer éxito en 1965, cuando la frecuencia de las avenidas bajó considerablemente. Sin embargo, también se terminó en esta época la actividad volcánica, permitiendo la recuperación de la vegetación en la parte superior de la cuenca.

IV. LOS DESLIZAMIENTOS

Las áreas afectadas por deslizamientos, sean activos o por lo menos momentáneamente inactivos llegan a un total de aproximadamente 7.4 km², o sea, a casi 23% de la superficie del área de estudio.

4.1 Deslizamiento Sabanilla

Con una altitud promedio de 2.800 m este deslizamiento es el más alto en toda la cuenca. La activación de este deslizamiento comenzó en 1964, con la ocurrencia y combinación de pequeños deslizamientos (KRUSHENSKY, 1972). La profundización de los tributarios del río Reventado en el material lahárico poco consolidado causó una desestabilización de terrazas fluviales, especialmente entre las altitudes de 2.600 hasta

2.800 m (KRUSHENSKY, 1972). En esta época las partes más altas estaban poco afectadas, aunque sí existían grietas selladas y bloques grandes con rotación reversa.

Actualmente los movimientos en la parte baja (2.600-2.800 m) no están activos. La parte alta (2.800-3.000 m) muestra todavía cierta actividad: el movimiento de los bloques grandes todavía no termina, el camino que comunica a las zonas muestra un hundimiento. Estos bloques grandes consisten de lava depositada sobre material lahárico. La parte baja del deslizamiento está actualmente reforestada (pino).

4.2 Deslizamiento Prusia

El material de este deslizamiento es lahárico y el movimiento tuvo lugar en varias unidades independientes, siempre con rotación hacia atrás bajando al lecho del río.

La pérdida de material de este deslizamiento fue acelerada durante lluvias intensas, no tanto por el movimiento del deslizamiento total, sino por avalanchas en la parte cercana del río, contribuyendo así a las avalanchas en el río Reventado (KRUSHENSKY, 1972). El movimiento llegó a 2-4 m/semana durante la época de lluvias.

Actualmente los movimientos de este deslizamiento no muestran valores tan altos y en grandes partes parecen estables. Sin embargo, existen pruebas directas (hundimiento a unos 30 m de la carretera antes de llegar al puesto de defensa civil) e indirectas (árboles inclinados) de la existencia de una actividad baja.

También esta zona ha sido reforestada después de varias obras de conservación, como construcción de zanjas de contorno, represas, etc.

4.3 Deslizamiento Retes

En el caso de este deslizamiento se trata de una reactivación de un antiguo deslizamiento en el año 1964, que mantiene cierta actividad hasta el momento.

Se trata de un movimiento poco estructurado de material lahárico. La velocidad máxima alcanzada durante los años 64-65 era de 2-4 m/semana. Actualmente solamente la parte sur muestra cierto movimiento, sin embargo, todo está cubierto de una cobertura vegetal.

4.4 Deslizamiento Ortiga

El deslizamiento Ortiga, uno de los más grandes, fue reactivado solamente en su parte norte durante la época 1964-1965, zona que muestra todavía índices de actividad, como agrietamiento del material y cicatrices frescas de deslizamientos pequeños.

Las partes estables están caracterizadas por depresiones cerradas, superficies quebradas, todo cubierto con cenizas volcánicas.

4.5 Deslizamiento Pavas

En este caso se trata de un deslizamiento reactivado en el año 64, consistiendo totalmente de material lahárico.

Este deslizamiento todavía está activo, especialmente en la margen del río Reventado, donde muestra agrietamientos y materiales sin cobertura vegetal.

4.6 Deslizamiento Tierra Blanca

Este deslizamiento es un caso viejo al sur-oeste del pueblo Tierra Blanca, que se mantuvo estable durante la época 63-65 y solamente en su parte más cercana al río Reventado muestra algunas marcas de actividad actual, cerca de la carretera Llano Grande-Tierra Blanca.

4.7 Deslizamiento Misión

En el caso de Misión se trata de un deslizamiento que no fue activo durante 1963-1965. Se supone que su activación posterior se debe a la explotación de material en dos tajos, hoy día abandonados.

Se trata, en primer lugar, de material lahárico poco consolidado, las formas de movimiento consisten en:

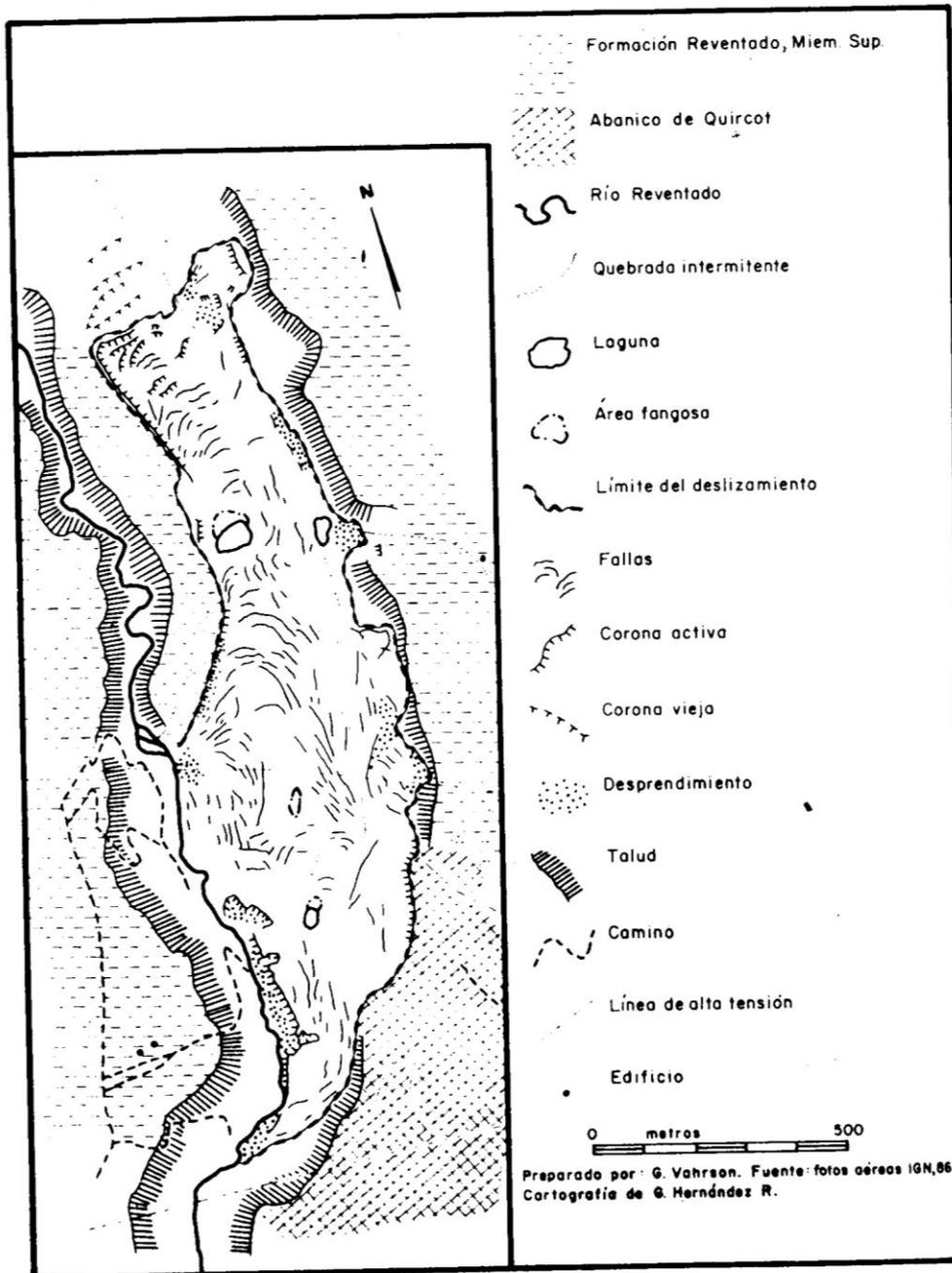
- Movimientos en bloques grandes formando una corona bien definida, una corona antigua de este deslizamiento se puede ver contigua al norte del deslizamiento actual.
- Movimiento que parecen más flujos de lodo o avalanchas del mismo material lahárico.

Este último punto puede contribuir en cierta manera a una alta carga de material en suspensión en el río Reventado durante lluvias intensas.

4.8 Deslizamiento de San Blas

4.8.1 Características generales

El deslizamiento de San Blas está ubicado en el margen izquierdo del río Reventado, cerca de su abanico (mapa 1). Con una extensión longitudinal de aproximadamente 1.500 m y un ancho máximo de 500 m, este deslizamiento está cubriendo



Mapa 2.
Deslizamiento de San Blas.

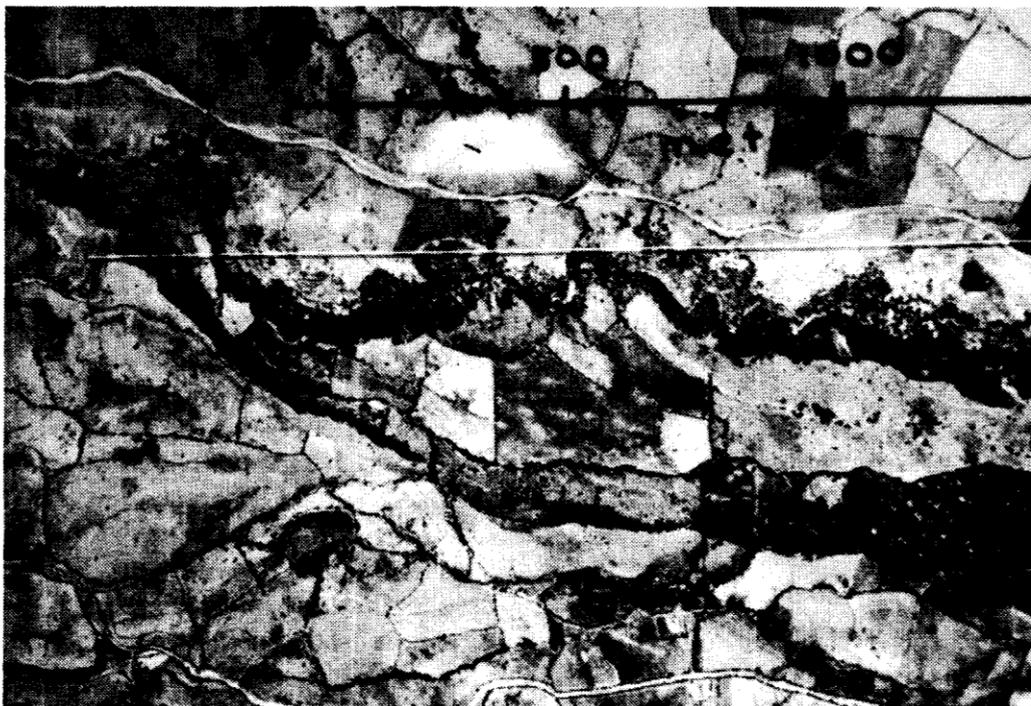


Foto 1.
Foto aérea de la Terraza de Banderilla 1956.

una superficie de 0.545 km² o 54.5 hectáreas y es actualmente el más grande de los deslizamientos activos en la cuenca del río Reventado (mapa 2), estos valores se refieren al 12 de mayo de 1986, fecha de la toma de las fotografías aéreas interpretadas.

Constituido del material de una terraza holocénea del río Reventado (la «terrace de Banderilla», foto 1, KRUSHENSKY, 1972) la pendiente superficial del deslizamiento de 13% es similar a la pendiente del río Reventado en esta parte de la cuenca.

Sin embargo, el lecho actual tiene una diferencia de altura de 60 m con respecto de la superficie del deslizamiento de San Blas.

La textura del material de la terraza tiene un rango muy amplio, de arcillas hasta bloques de un diámetro de 5 m. Esta graduación caótica del material indica que el material acumulado fue transportado en forma de una o varias avalanchas o flujos de barro.

Debido a la distancia corta del transporte, el material está subangular-angular todavía.

Estos materiales pueden observarse en los cortes existentes en los tajos ubicados en el lecho del río Reventado y en las coronas del deslizamiento mismo.

El material es similar al material del abanico ya mencionado, el abanico de

Quircot (KRUSHENSKY, 1972), visible en los cortes de la carretera al Irazú, entre el puente del río Reventado y la población de San Blas. No se observó estratificación ninguna en las acumulaciones.

La diferencia entre el material de la terraza y el material lahárico de la formación Reventado, miembro superior (Pleistoceno) (KRUSHENSKY, 1972), que delimita la terraza en su parte superior, es la estabilidad del material, supuestamente por compactación. Las diferencias en cuanto a la textura son pocas (DELGADO, 1985).

Perforaciones y estudios geoelectrónicos llevados a cabo por el ICE en los años 1980 y 1984 (ESTRADA, 1987) indican un espesor de la terraza de 50-80 m, depositado sobre lavas de la formación Reventado, miembro superior.

Estos valores coinciden con la diferencia de altura de 61 m (noviembre de 1986) entre el nivel del lecho del río Reventado y la corona del deslizamiento en el lugar del tajo 1.

La terraza está delimitada en su límite este por un escarpe de 50-60 m en el material lahárico (aproximadamente de la línea de alta tensión al norte y un escarpe de 5-15 m en el material de abanico de Quircot.

4.8.2 *Dinámica y desarrollo histórico*

La primera información de un movimiento de este deslizamiento existe del año 1972 (ESTRADA, 1987). En el año 1974 el ICE se vio obligado a remover una torre de una línea de alta tensión (mapa 2). El antiguo sitio de esta torre es el único punto fijo para el análisis del movimiento del deslizamiento. El gráfico 2 muestra el desplazamiento horizontal y vertical de esta torre, siempre con los valores del primero de mayo y primero de noviembre marcados, valores tomados de ESTRADA (1987).

Se nota que el movimiento en el primer año era el mayor y que el movimiento es mayor en la época lluviosa (mayo-noviembre) que en la época seca.

El desplazamiento total entre mayo de 1974 y noviembre de 1985 llega a 93.6 m (horizontal) y 11.2 m (vertical).

La relación entre el movimiento horizontal y vertical es casi siempre igual, indicando así un movimiento sobre un plano de cizallamiento de unos 12% de pendiente.

Esta inclinación indica un movimiento del material deslizante sobre el fondo del lecho viejo del río Reventado, con la pendiente antes mencionada, o sea un movimiento de la terraza sobre la superficie de la unidad litológica inferior (lavas del miembro superior de la formación Reventado) o un plano paralelo a dicha superficie.

El nivel freático está en una profundidad entre 12 m (época lluviosa) y 19 m (época seca) (DELGADO, 1985), quedándose el plano de cizallamiento siempre en condiciones saturadas. En algunos sitios, muchas veces cercanos a las lagunas se observaron fuentes de agua indicando este nivel alto, también durante la época seca.

El aumento en la superficie afectada se ve en el mapa 3, con los tamaños en 1975, 1978 y 1986. Sin embargo, las evaluaciones de 1978 y 1986 están hechas con base en fotografías aéreas y pueden contar entonces con errores pequeños debido a deformaciones por proyecciones diferentes (foto 2).

Durante los años 1963-1965, cuando el Reventado provocó la activación antes descrita de varios deslizamientos, este deslizamiento se mantuvo estable. Fotografías aéreas de 1956 no muestran evidencia alguna de un movimiento como coronas o fallas, la red de drenaje sobre la terraza estaba funcionando, no existían lagunas en la superficie en este tiempo.

El proceso de movilización actual se atribuye a la profundización artificial del lecho y la destrucción del sostén por los tajos (MORA et al., 1985).

Estos tajos ya existen desde hace mucho tiempo, sin embargo, en el comienzo de la década de los 70 se incrementó la explotación en forma considerable, utilizando maquinaria pesada en su explotación.

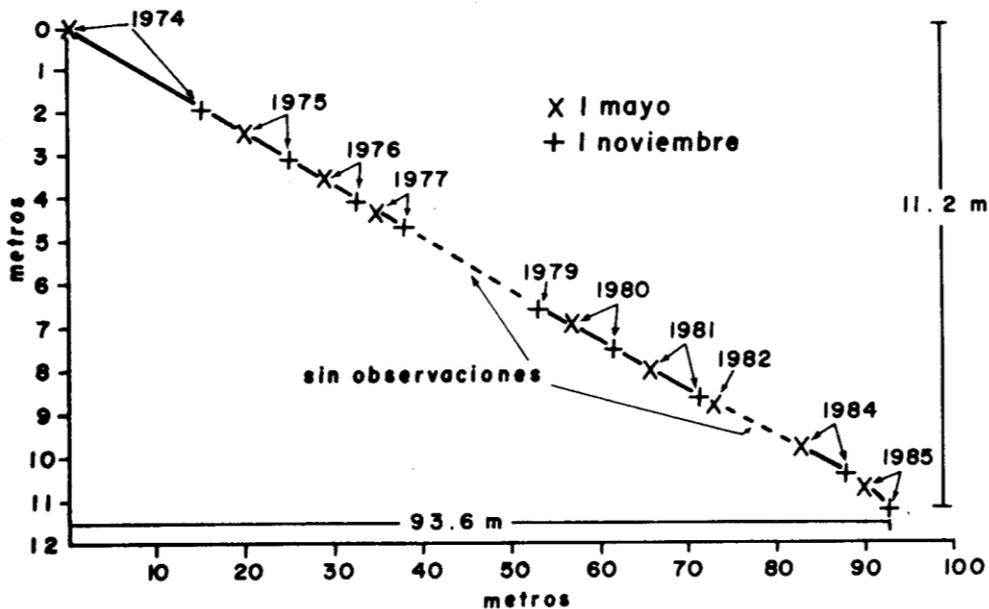


Gráfico 2.
Desplazamiento horizontal y vertical del sitio de la torre 42.

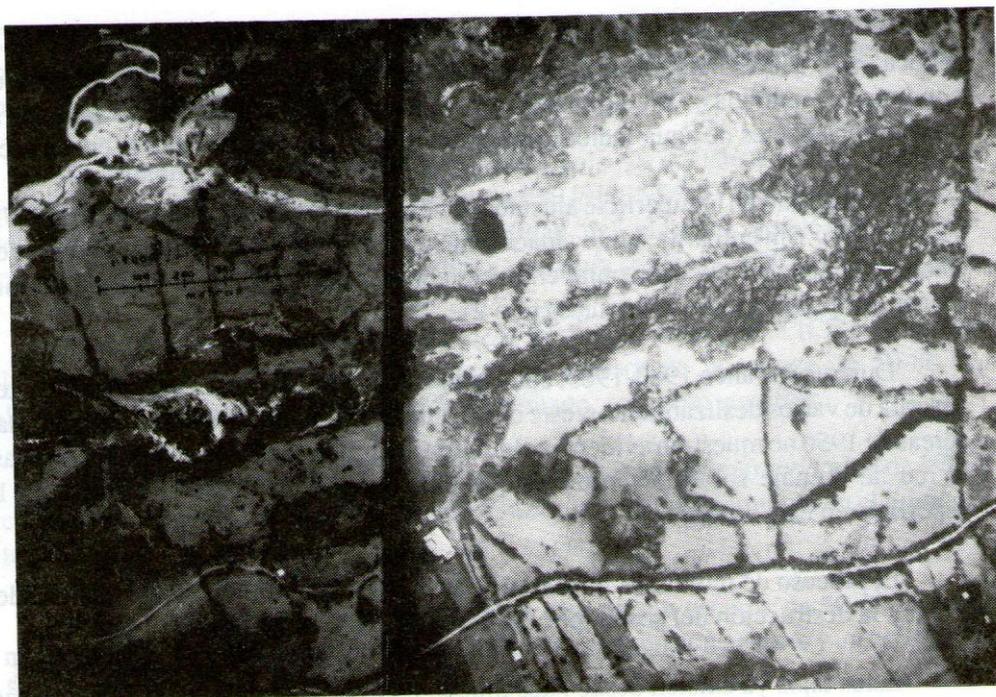


Foto 2.

Mosaico de la terraza de Banderilla/deslizamiento de San Blas 1986.

Se puede suponer que poco más tarde se efectuó la movilización del deslizamiento en las partes más cercanas al río, para afectar en el año 1974 la torre antes mencionada a una distancia de 300 m.

La destrucción del sostén, las vibraciones de la maquinaria y el empleo de dinamita para la destrucción de rocas grandes son, sin embargo, los factores que desestabilizaron y todavía están desestabilizando el deslizamiento.

En la actualidad los movimientos gravitacionales han destruido la red de drenaje superficial, formando lagunas que permanecen también en la época seca. La existencia de estas lagunas está favorecida por los valores bajos de la conductividad hidráulica del material (cuadro 3).

El material de la terraza se mueve en forma de bloques grandes de tierra, un proceso que se puede observar muy bien en la corona principal del deslizamiento (foto 3); bloques grandes de tierra, separados por grietas, se hunden y se mueven hacia abajo. Los sistemas grandes de fallas también prueban esta forma de movimiento (mapa 2).

En el material lahárico que delimita el deslizamiento en su margen superior

oriental, empezando aproximadamente en la línea de alta tensión superior no se puede observar el hundimiento de bloques enteros, sino más bien el desprendimiento de material, acumulándose en el pie de un escarpe en forma caótica. El retroceso de la corona en este material se determinó en unos 2 m anuales.

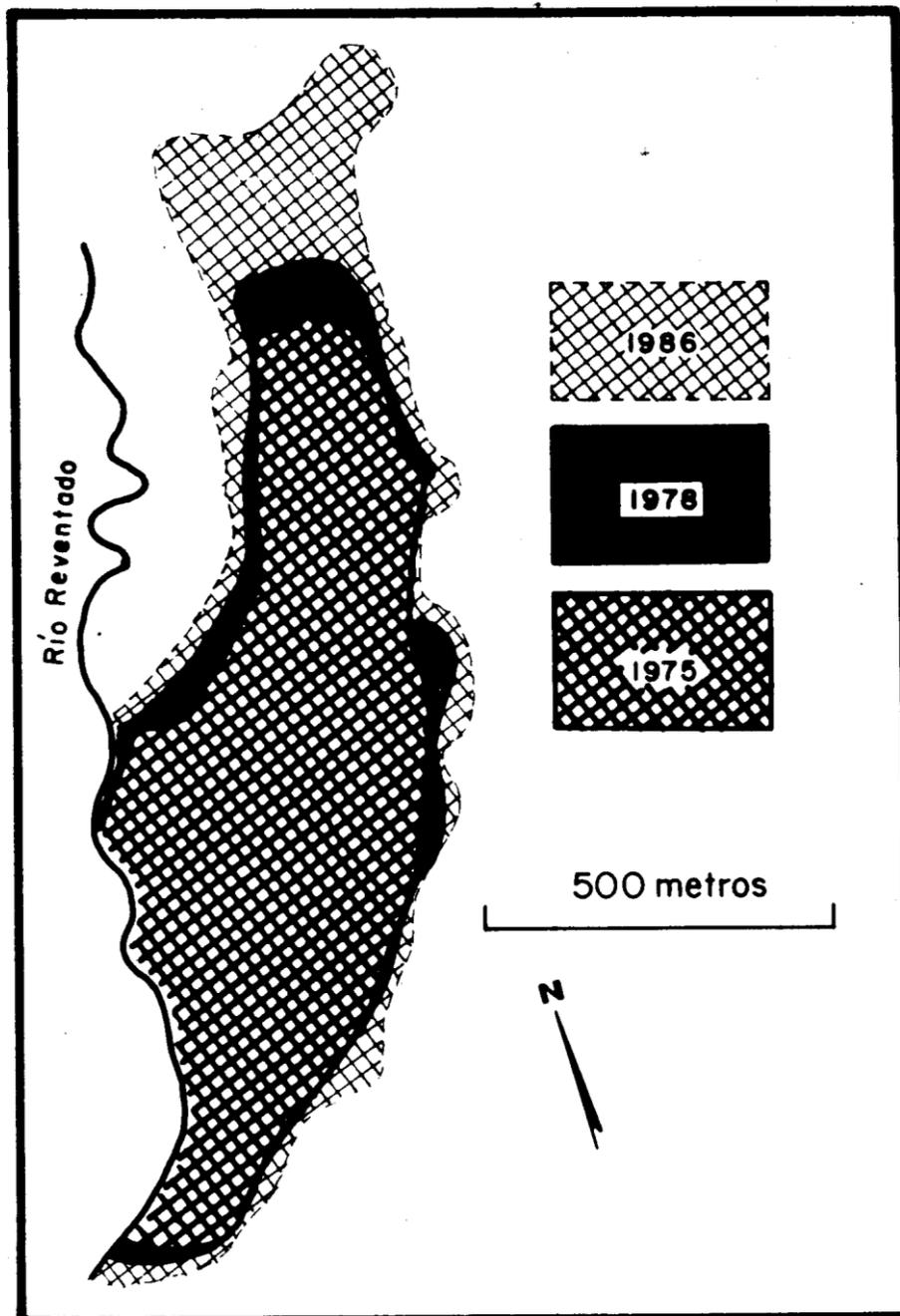
Sin embargo, el movimiento de los bloques grandes de tierra es el predominante, como el retroceso de la corona principal en el margen norte del deslizamiento con una velocidad de 30 m/año (mapa 3).

Entre 1975 y 1978 la corona retrocedió unos 90 m, entre 1978 y 1986 el retroceso sobrepasó 200 m. El área afectada era en 1975 de unos 39.9 hectáreas, en 1978 unos 42.0 y en 1986 unos 54.5 ha. Multiplicando esta superficie con el espesor de la terraza se llega a una masa movilizada de cerca de $35 * 1.000.000 \text{ m}^3$.

También existen ya hundimientos en el material del abanico de Quircot, donde delimita el material de la terraza de Banderilla en su margen inferior oriental. Estos hundimientos son similares a los de la corona principal en el norte, con la excepción de que existe aquí un movimiento rotacional. La profundidad del hundimiento de estos bloques se determinó en 10-15 m.



Foto 3.
Corona superior, deslizamiento de San Blas.



Mapa 3.
Crecimiento del deslizamiento de San Blas.

4.9 Deslizamiento Llano Grande

Este deslizamiento se localiza al este del pueblo de Llano Grande, en la margen izquierda del río Reventado, coincidiendo con terrenos potencialmente inestables, como son los depósitos laháricos, lava fragmentada, escoria y tobas.

Con base en fotografías aéreas del año 1978, este deslizamiento cubre un área de 50 hectáreas. El análisis mediante estas mismas fotografías revela una gran morfodinámica en este deslizamiento, donde se observan procesos primarios gravitacionales, como son, por ejemplo, agrietamiento, hundimientos, desprendimiento de bloques.

En el año 1986 se observaron grietas con una profundidad mayor de 4 m. También se dan procesos secundarios degradacionales, como son el lavado de materiales más acentuados en la época lluviosa.

Asociado a lo anterior, se observa una zona de ruptura desde la cual parte el movimiento con dirección al río en forma cóncava desde la parte superior, donde el movimiento es más activo. En el perfil topográfico levantado en diciembre de 1986, se visualizan claramente los cambios de pendiente (ruptura), las grietas y los grandes bloques.

Geológicamente el área está formada por cenizas volcánicas, depósitos laháricos y lavas, pertenecientes a la Formación Reventado. También la presencia de fallas locales en la parte superior del deslizamiento, haciendo de este sector el más activo (ICE, 1965).

Según el Informe sobre el problema del río Reventado (ICE, 1965), para los años 63-65, el deslizamiento de Llano Grande era el mayor de todos los movimientos de remoción en masa existentes en esta cuenca, con una extensión de 41 hectáreas aproximadamente. Durante la actividad del Irazú en esta época, el deslizamiento fue reactivado, llegando a alcanzar movimientos de hasta 2.5 m por semana. El mecanismo que impulsó su reactivación fue la socavación del cauce del río Reventado a consecuencia del desequilibrio hidrológico.

V. RIESGOS

5.1 Riesgo para la ciudad de Cartago

Sin considerar el riesgo sísmico y volcánico que analizó GÜENDEL (1987), en los años pasados la ciudad de Cartago se vio afectada varias veces por las avenidas e inundaciones originadas en el río Reventado. Estas avenidas estaban originadas en la cuenca superior del río Reventado, provocadas por las acumulaciones de cenizas durante la última explosión del Irazú y por los cambios consecuentes en el sistema hidrológico de la cuenca superior, o por fuertes temblores, como en 1951.

Con respecto del deslizamiento de San Blas, se cree que existe el riesgo siguiente:

Durante lluvias fuertes, el deslizamiento puede cerrar el lecho del Reventado, causando una represa. Esta represa si se quebra podría provocar una avenida. Por su posición en la parte inferior de la cuenca esta represa se llenaría rápidamente y por la cercanía a Cartago una avenida llegaría rápidamente a lugares poblados. Esta posibilidad ya existe y se ve aumentada por una posible actividad sísmica. La probabilidad de un evento de este tipo se puede determinar difícilmente, aunque no parece muy alta, confirmado por lo ocurrido últimamente.

Lluvias fuertes (46 mm, estación Tierra Blanca) del 17 de octubre de 1987 provocaron una inundación ligera en la parte de «Los Diques», con acumulaciones grandes de material arenoso, interrumpiendo la carretera entre Taras y Cartago.

Un recorrido el día siguiente por la cuenca del río Reventado tuvo los resultados siguientes:

- No había ni derrumbes grandes, ni la formación de represas donde el deslizamiento de San Blas llega al río Reventado (sector los tajos).
- No había deslizamientos o derrumbes grandes en el resto de la cuenca.
- Había erosión fuerte y formación de cárcavas en los suelos derivados de cenizas volcánicas.
- Se observó fenómeno, especialmente en los campos con suelo descubierto (donde se acaba de cosechar o sembrar papas, cebollas o zanahorias).
- Las acumulaciones encontradas en varios lugares (cerca y en el lecho) consistían solamente de arenas de color gris, correspondiendo al material de los suelos erosionados.

Por eso se concluye que esta crecida fue provocada solamente por las lluvias fuertes en conexión con una práctica insuficiente de conservación de suelos en la parte superior de la cuenca, especialmente donde hay cultivo de papa, zanahoria o cebolla en suelos derivados de cenizas volcánicas.

El deslizamiento de San Blas se mantuvo estable. Sin embargo, la intensidad de las lluvias no fue muy alta (cuadros 1, 2) y tampoco coincidió con un sismo.

5.2 Medidas posibles

Sin embargo, no se puede excluir el riesgo antes mencionado para Cartago totalmente. Entonces hacen falta medidas para estabilizar el deslizamiento.

Si se supone la activación del deslizamiento de San Blas por la destrucción del sostén como consecuencia de la explotación de materiales en los tajos, se debe terminar la explotación de materiales en éstos y permitir que se sedimente el material nuevamente en el lecho y que se forme con el tiempo un sostén nuevo.

Como se puede ver en el gráfico 2, el movimiento es más rápido en la época lluviosa que en la época seca, debido a la plasticidad mayor y el peso mayor del material húmedo. Entonces se puede acelerar el proceso de estabilización, o por lo menos frenar el movimiento del deslizamiento, restableciendo una red de drenaje en la superficie, quitando así el agua acumulada en depresiones causadas por el deslizamiento.

Una segunda medida posible es sellar las grietas entre los bloques de tierra, evitando así la infiltración acelerada y profunda de aguas al plano de cizallamiento y manteniendo el material más seco, más estable y menos pesado.

Sin embargo, es siempre necesaria la reubicación de los precarios ubicados dentro y sobre los diques.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Delgado, 1985: **ANALISIS GEOMECANICO DEL LABORATORIO**. Deslizamiento de San Blas. San José.
- Estrada, A. 1986: **ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS, CARTAGO, COSTA RICA**. Tesis Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José.
- Güendel, F. 1987: **ACTIVIDAD RECIENTE EN EL MACIZO DEL VOLCAN IRAZU**. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica.
- ICE, 1965: **INFORME SOBRE EL PROBLEMA DEL REVENTADO**. San José, Costa Rica.
- Krushensky, R. 1972: **GEOLOGY OF THE ISTARU QUADRANGLE, COSTA RICA**. U.S. Geol. Survey, Bull. 1.358. Washington.
- Meléndez, C. 1962: **LA CIUDAD DEL LODO**. Publicaciones de la Universidad de Costa Rica, Serie Historia y Geografía 5. San José.
- Mora, S. 1985: **ESTUDIO SOBRE LAS LADERAS INESTABLES DE COSTA RICA**. Rev. Geol. América Central, Vol. 3, pp. 131-161, San José.
- Mora, S; Estrada, A; Delgado, R. 1985: **ANALISIS DEL DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS, CARTAGO**, 3er. Seminario de Geotécnica.
- Sprechmann, P. (ed.) 1984: **MANUAL DE GEOLOGIA DE COSTA RICA. Volumen 1: Estratigrafía**. EUCR. San José.
- Vahrson, W.-G. 1988: **LAS LLUVIAS MAXIMA DIARIAS EN COSTA RICA**. En prensa.
- Waldron, H.H. 1967: **DEBRIS FLOW AND EROSION CONTROL PROBLEMS CAUSED BY**

**THE ASH ERUPTIONS OF IRAZU VOLCANO¹, Costa Rica. Geological Survey Bulletin
1.241-1.**

Weyl, R. 1980: GEOLOGY OF CENTRAL AMERICA. Berlin, Stuttgart.