

## ANALISIS PRELIMINAR DE LA AMENAZA Y VULNERABILIDAD POTENCIALES GENERADAS POR EL RIO REVENTADO Y EL DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS, CARTAGO, COSTA RICA

Sergio Mora C.\*

### RESUMEN

Por las evidencias geológicas, los registros históricos y los acontecimientos recientes, se conoce una parte importante del potencial catastrófico de la cuenca del río Reventado de Cartago. El saldo, en costos sociales y económicos, sobre todo de los eventos históricos y recientes, es ya de una magnitud considerable. De toda evidencia, se puede pensar que los fenómenos se generarán y manifestarán de nuevo en el futuro, con consecuencias que tienden a ser cada vez potencialmente mayores, conforme la población y la infraestructura se desarrollan y aumenta su importancia vital, no solo para la comunidad local, sino para el país entero. Aparte de ello, merece atención especial el asentamiento de ocupantes en precario que se ha desarrollado sobre y entre los diques de Taras, quienes serían las primeras víctimas de eventos aunque no necesariamente fueran de una magnitud considerablemente alta. Es imperativo el desarrollo de un estudio integral del cual se pueda definir el nivel real del riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad, así como de las posibles medidas de control, corrección, prevención y recuperación.

### ABSTRACT

By means of geological evidence as well as by historical records and by what is remembered from recent events, the catastrophic potencial of the río Reventado watershed is already known. Social and economic costs, specially of

those recent events, have already been considerable and by all evidences, since new ones are prone to occur in the future, consequences will tend to increase at the same rate as population and infrastructure develop their vital importance not only for the local community but also for the whole country. The first victims of any event, even of those not reaching a considerable magnitude, will be the inhabitants of the slumps settled over and inside the Taras rockfills, though particular and immediate attention is needed. Finally it is strongly recommended to develop an integral study from which real hazards and vulnerability could be defined as well as control, correction, prevention and recuperation measures.

### RESUMÉ

L'evidence géologique, les registres historiques et les événements récents témoignent du potentiel catastrophique du bassin versant du río Reventado. Le coût socio-économique, surtout des événements récents a déjà été considérable et dans toute évidence, des nouveaux se produiront dans le future, entraînant des conséquences encore plus importantes selon la population et l'infrastructure se developpent dans leur importance vitale pour la communauté locale et de l'ensemble du pays. Les premières victimes seront cependant les occupants du bidonville formé sur et autour les digues de Taras; une attention immédiate avec des mesures efficaces leur est donc nécessaire. Enfin, il est recommandé d'executer une étude intégrale a partir de laquelle soit possible de définir les niveaux réels de risque, péligrosité et vulnérabilité au même temps que des mesures de contrôle, correction, prevention et recuperation peuvent étre conçues.

\* Oficina de Geología Aplicada, ICE: Escuela C.A. de Geología-CIGEFI, Universidad de Costa Rica: INGEOSA.

## INTRODUCCION

### *Antecedentes*

La cuenca del río Reventado, según lo demuestran los registros geológicos, históricos y prehistóricos, tiene una larga trayectoria de catástrofes naturales, generadas tanto por la combinación de fenómenos de orden climático y geológico, como por la adición de los efectos de la actividad irracional del ser humano (Mora, 1985).

Esta situación se ha tornado aún más crítica debido a la activación del deslizamiento de San Blas y al desarrollo de una colonia de ocupantes en precario en el área confinada por los diques de protección que fueron construidos durante y posteriormente a la catástrofe de Taras (1964-1965).

El objetivo de este artículo es el de divulgar la situación actual, dejando entrever las consecuencias que podría traer un nuevo desastre, ahora y cada día que pasa de una potencialidad mayor, en vista del desarrollo creciente por el que atraviesa esta región, manifestado en su crecimiento demográfico, urbano, industrial e infraestructural. Esto implicaría un costo sin precedentes ni comparación al que ya se ha registrado en el pasado y que de todas formas tuvo un impacto considerable en la sociedad y economía del país.

### *Ubicación geográfica y marco geológico*

La cuenca del río Reventado se encuentra dentro de la provincia de Cartago, (Figura Nº 1) Costa Rica, en el flanco suroeste del macizo del volcán Irazú, entre las coordena-

das geográficas 9°54' a 9°59' N y 83°51' a 83°53' W y coordenadas Lambert 543,000 a 552,000 N y 206,000 a 218,000 E del cuadrángulo Istarú (I.G. N. 3445-IV). En sus partes media y alta, las elevaciones varían entre 1200 m y 1400 m en los alrededores de la ciudad de Cartago (Taras) y 3300 m en las proximidades de su nacimiento en el cerro Sapper (3400 m).

Las litologías predominantes de la cuenca son todas de origen volcánico y esencialmente de edades Pleistocénica y Holocénica (Krushensky, 1972; 1976). Se distinguen algunas coladas de lava, lahares y capas de piroclastos. En estos dos últimos casos, se nota una pobre compactación, lo que sumado a la existencia de horizontes y sectores con alteración hidrotermal (propilítica, con formación de arcillas caolínicas y montmorilloníticas), horizontes con paleosuelos de descomposición meteórica-residual, además de las condiciones topográficas y fisiográficas de fuerte relieve y el clima periódicamente anómalo, hacen que esta cuenca posea características que favorecen la inestabilidad de las laderas (Mora, Estrada, Delgado; 1985, Estrada, A; en preparación).

## LA AMENAZA, DEFINICION, PROCESOS Y PARAMETROS

### *Generalidades*

Según lo atestiguan los registros geológicos, prehistóricos y recientes, la cuenca del río Reventado ha estado sujeta a la generación periódica de eventos de tipo catastrófico. Los abanicos laháricos de Cartago y de Quircot demuestran que por lo menos durante todo el Pleistoceno y Holoceno hubo períodos de

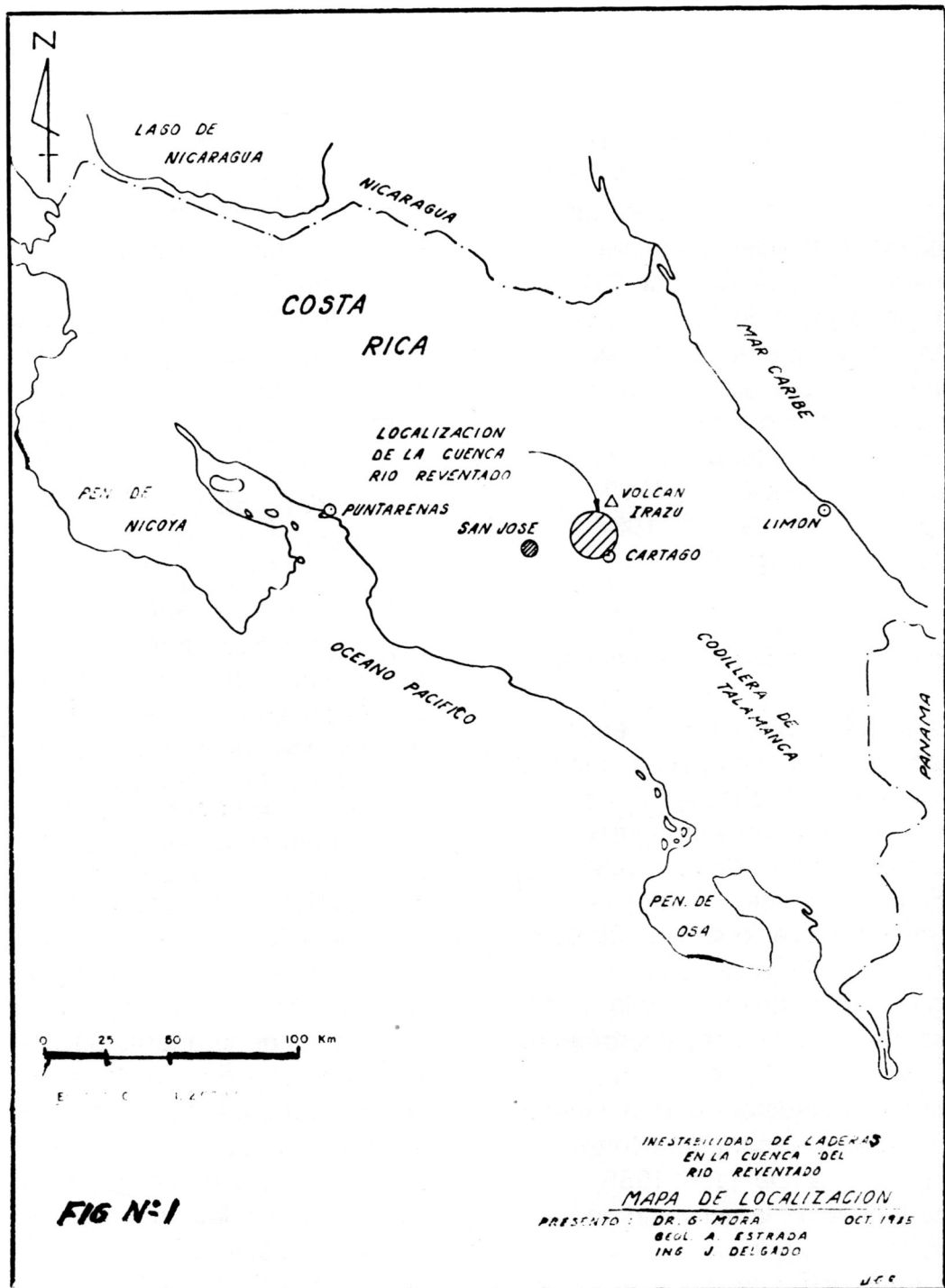


FIGURA N° 1. Inestabilidad de laderas en la cuenca del Río Reventado.

desestabilización que condujeron a la generación de avalanchas de lodo y bloques de grandes dimensiones. A partir del período colonial esta situación se repitió varias veces, por ejemplo en los años 1724, 1861, 1928, 1951, etc., lo que condujo incluso a por lo menos dos reubicaciones totales o parciales de la ciudad de Cartago ("Ciudad del Lodo"). La tragedia de Taras no es entonces otra cosa que la manifestación más reciente de un proceso geo-climático acelerado por el hombre y que indudablemente posee todos los indicios de repetirse en el futuro (ICE; 1964, 1965, González C; 1910; Leeds et al. 1967; Waldron, 1967, Pittier, 1889).

#### *Factores geo-ambientales de la amenaza*

Como ya se ha mencionado anteriormente para el caso general de la cuenca, sus tipos de suelos de pobres cualidades físico-mecánicas, la disposición estratigráfico-topográfica desfavorable de sus capas con la presencia de horizontes y lentes de alteración meteórica-residual y/o hidrotermal, la actividad misma del volcán, los fenómenos sísmicos regionales y locales y las particularidades climáticas (hidrometeorológicas) de la cuenca, hacen que su susceptibilidad a la inestabilidad de laderas sea elevada y casi permanente (Cortés, 1984, Mora, Estrada, Delgado; 1985).

Aparte de todo esto, la actividad humana, relacionada con su organización social y productiva, tanto de población local, como de aquella externa pero con elevados intereses económicos en la región, han contribuido significativamente a acelerar los procesos desestabilizadores por medio de una degradación ambiental generalizada (Mora, 1985).

En efecto, para su consideración basta con tomar en cuenta la deforestación casi total de la cuenca (solo 5% de su área cuenta con bosques primarios), los intentos relativamente disparatados de reforestación con especies exóticas y desadaptadas, las prácticas inadecuadas de explotación agropecuaria que conducen a la desprotección y erosión de los suelos, la explotación irracional de canteras y tajos para la extracción de materiales para la construcción, etc. (Cortés, 1984).

#### *Escenarios y procesos de desarrollo de la amenaza*

Tal y como se presentan las condiciones en la actualidad y tomando en cuenta los aspectos y factores antes mencionados, el paso siguiente a dar es el de evaluar las posibilidades de ocurrencia de un fenómeno de índole catastrófico semejante a los que ya han presentado en el pasado.

Desafortunadamente, no puede por ahora realizarse más que una consideración de tipo cualitativo, especulando sobre los diferentes tipos de escenario que se podrían presentar en el futuro. No obstante haberse logrado identificar la mayor parte de los fenómenos generadores de la amenaza, estos no han sido cuantificados estadísticamente como para establecer sus períodos de recurrencia, niveles y potencialidades de riesgo, los umbrales físicos que inciden sobre los mecanismos de disparo y aceleración para cada caso en particular, etc. La manera más adecuada de aproximarse a este tipo de conocimiento, es por medio de un estudio integral como el que se propone más adelante y que se justifica plenamente al tomar en cuenta el valor socioeconómico de la población e infraestructura en juego.



Lo único que por ahora puede establecerse es un escenario hipotético en el que alguno de los factores geoambientales o una combinación de ellos, actúe acelerando violentamente los procesos de erosión de los márgenes del río Reventado o de algunos de los deslizamientos en condiciones de estabilidad precaria o actividad (Figura Nº 2) (o la generación de alguno nuevo). Esto podría conducir a la formación de presas y embalses efímeros que al romperse generarían grandes avenidas o incluso avalanchas de alto poder destructivo.

## EL DESLIZAMIENTO DE SAN BLAS

El deslizamiento de San Blas es por sus dimensiones, nivel de actividad y cercanía, el que representa por el momento la amenaza singular de mayor envergadura en la cuenca del río Reventado. Se requiere tan solo de una fracción de su volumen para obstruir el cauce del río y dar con esto el primer paso de una avalancha.

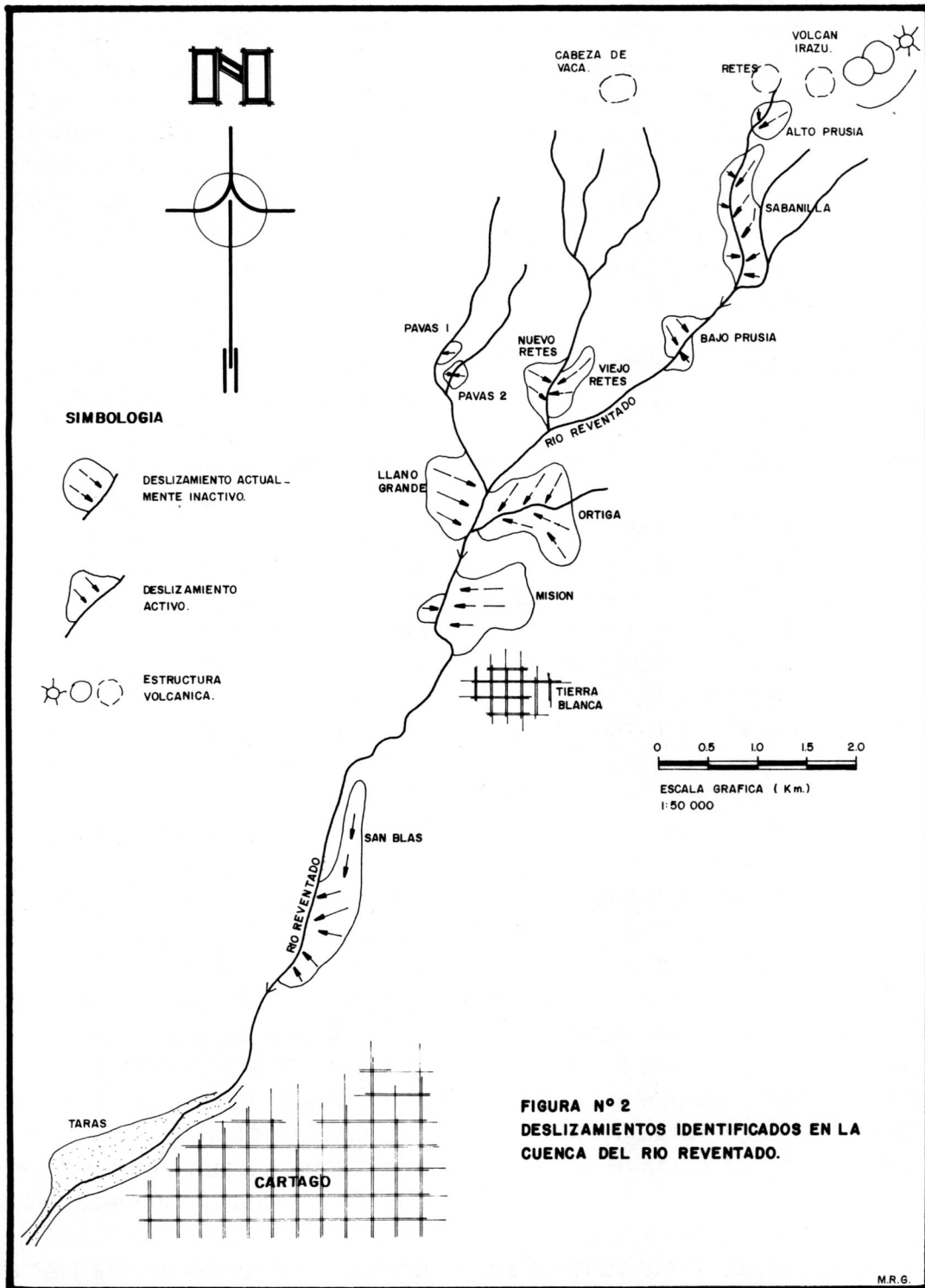
De acuerdo con la información disponible (Mora, Estrada, Delgado, 1985; Estrada, A, en preparación) el área desestabilizada mide alrededor de 70 hectáreas (Figura Nº 3), siendo su forma más o menos elipsoidal (1,7 x 0,55 km) y su espesor promedio de 60 m para un volumen total estimado de cuarenta millones de metros cúbicos. Su velocidad promedio de avance es de alrededor de 10 m/año y se ha observado que el retroceso de la corona superior se moviliza a una velocidad promedio de 50 m/año (Estrada, A; en preparación).

Según Delgado (1985) y Mora, Estrada y Delgado (1985), el deslizamiento consiste en el desplazamiento de una serie de cuñas cuya influencia se manifiesta por el desarrollo de un sistema de empujes activos,

en donde son las componentes horizontales de la gravitación las que constituyen el elemento dinámico principal (Figura Nº 4).

Según un análisis retrospectivo, las cuñas se han generado sobre un plano de ruptura de alrededor de 5 a 8° de inclinación y la resistencia al cizallamiento residual de los materiales se compone de una cohesión cercana al cero (kg/cm<sup>2</sup>) y un ángulo de fricción interna de alrededor de 10° (figura Nº 5). Esta información fue luego corroborada por medios experimentales: la inclinación del plano de ruptura por una perforación al diamante con recuperación de núcleos y varios perfiles de prospección geofísica y las características mecánicas por medio de ensayos de laboratorio (Cuadro Nº 1). Vale la pena destacar el hecho de que el deslizamiento se ha desarrollado aprovechando la configuración geométrica de la antigua terraza de Banderilla, depositada sobre una colada de lava antigua que muestra el desarrollo de un perfil de alteración residual así como varios horizontes con la presencia de mineralizaciones y transformaciones hidrotermales. (Lezama y Leandro; 1980; Torres y Lezama, 1980).

Por otra parte, es interesante recalcar la importante influencia que ejerce el agua en el comportamiento del deslizamiento (Delgado, 1985; Mora, Estrada, Delgado, 1985). En efecto, para estudiar la acción que desarrolla la presión de poros en el plano de ruptura, se ejecutó un análisis de sensibilidad con el cual se pretendió demostrar que las variaciones del nivel freático constituyen un mecanismo por medio del cual se puede pronosticar el comportamiento del deslizamiento. Es así que cuando el nivel freático se encuentra a una profundidad no más alta de alrededor del 40% del espesor de la masa deslizante



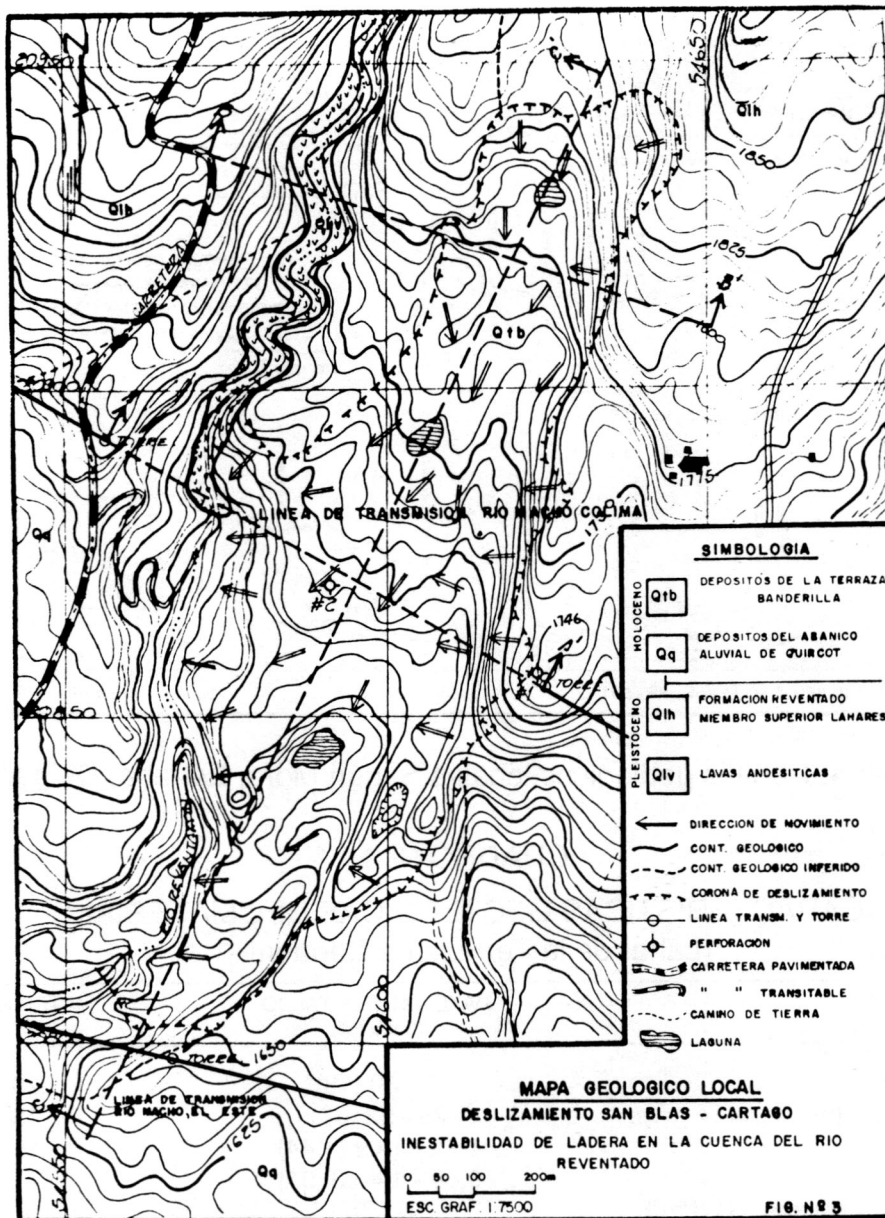


FIGURA Nº3. Area desestabilizada (Según Mora, Estrada, Delgado, 1955).

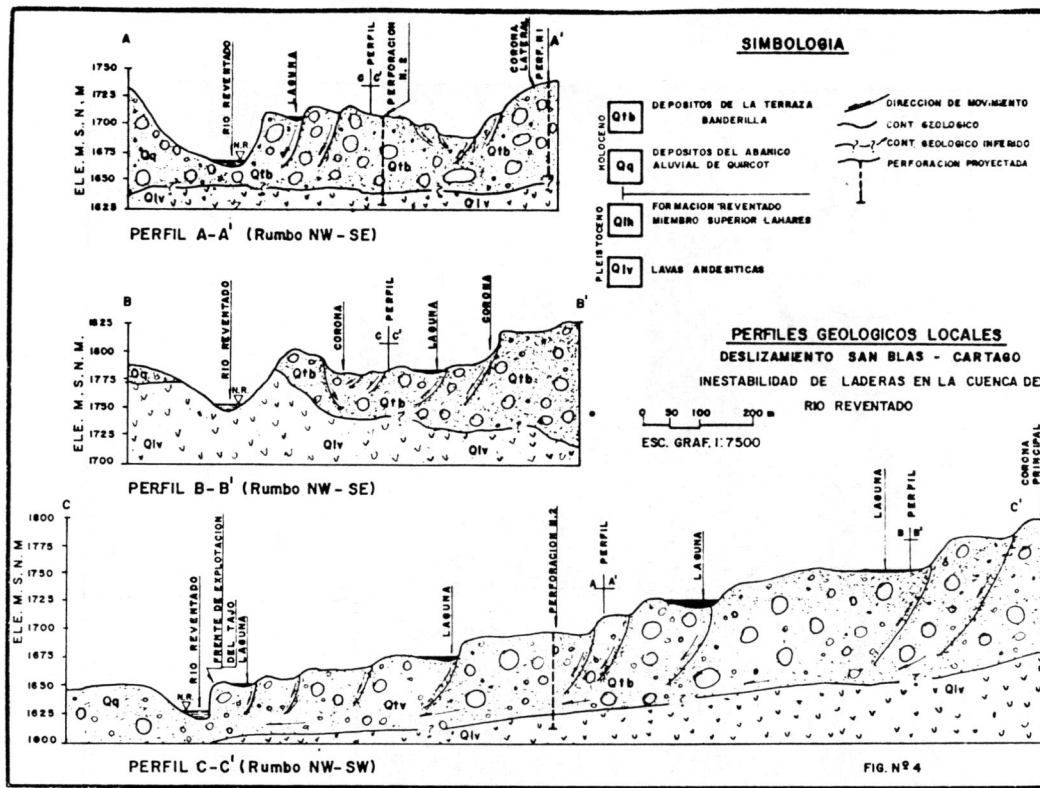


FIGURA Nº 4. Perfiles geológicos locales. Según Mora, Estrada, Delgado; 1985.

**CUADRO Nº 1**  
**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL MATERIAL\***  
 (Lahar de la Terraza de Banderilla)

PARAMETRO	MATERIAL DEL TALUD ("intacto")	MATERIAL DESLIZANTE
Humedad Natural (%)	20 - 30 (18)*	20 - 30 (25)
Humedad de Saturación (%)	25 - 52 (36)	18 - 55 (38)
Peso Seco, γ <sub>d</sub> (ton/m <sup>3</sup> )	1,12 - 1,69 (1,44)	1,13 - 1,84 (1,50)
Relación de vacíos: e	0,60 - 1,40 (0,91)	0,70 - 1,20 (0,83)
Peso volumétrico de los sólidos, G <sub>s</sub> (t/m <sup>3</sup> )	(2,70)	(2,76)
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )**	0,40 - 2,10 (1,60)	0,13 - 1,30 (0,90)
Angulo de fricción, φ (*)	18* - 25*	13,4*
Límite Líquido, LI (%)	35 - 78 (50)	34 - 74 (53)
Indice Plástico, Ip (%)	9 - 47 (22)	5 - 35 (20)
Clasificación (SUCS)	MH - SM	MH - SM
Golpes (SPT)	16 - 70	---
% Arena	60 - 90	60 - 100
% Arcilla (pas. 200)	8 - 12	5 - 22

\* Los valores entre paréntesis representan el promedio.

\*\* Cohesión deducida a partir de los ensayos de compresión inconfinaada. Según Delgado (1985) y Mora, Estrada y Delgado (1985)

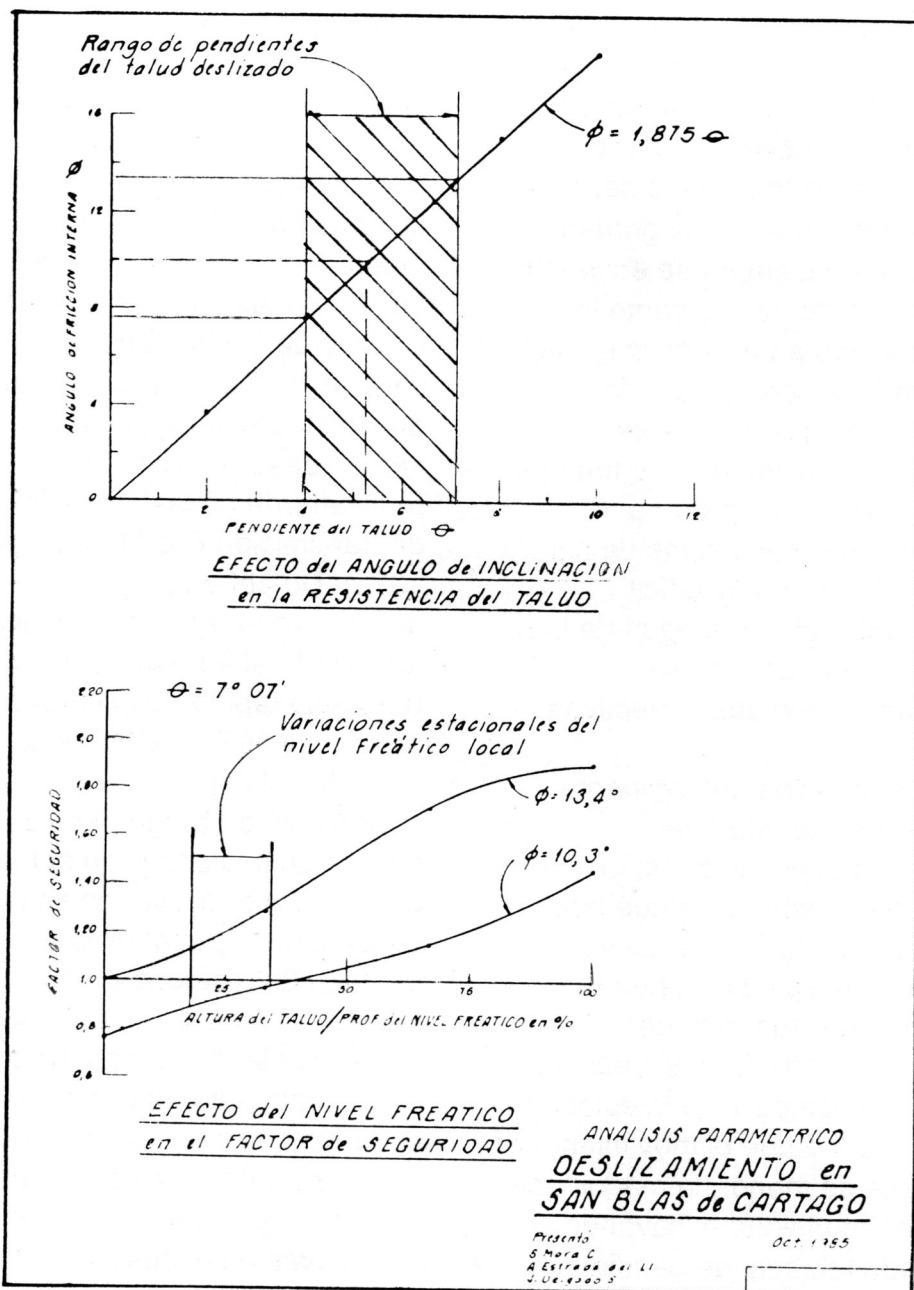


FIGURA N° 5. Efecto del nivel freático en el factor de seguridad.



(medida desde la superficie), el factor de seguridad adquiere valores inferiores a la unidad y por lo tanto, el deslizamiento se activa (Figura Nº 5). Nótese que, por otra parte, las variaciones estacionales del nivel freático local son tales que por lo general la superficie del acuífero siempre se encuentra más alto que este límite, aun durante la estación seca, período en el cual, si bien el movimiento se reduce considerablemente, en realidad no se detiene totalmente.

Esta situación es muy importante tomarla en cuenta para cuando se pretenda implementar cualquier mecanismo de control del fenómeno, pues será muy difícil dominarlo sin intentar abatir el agua de la masa deslizante. Más adelante se comentarán algunas medidas correctivas con mayor detalle.

Otro factor que participa determinante-mente en el nivel de actividad del deslizamiento, es la explotación de un tajo para materiales de construcción que labora justamente en su pie inferior. La actividad de extracción de materiales consiste en realidad en una socavación del sustento de la base del deslizamiento. Esta situación es particularmente intensa durante la estación seca, pues en vista de que el movimiento de avance de la masa es menor, la maquinaria labora con mayor intensidad excavando el frente y generando taludes de pendientes muy fuertes. Originalmente según una regulación impuesta por el S.N.E. (1981) la explotación debía limitarse tan solo al material que caía hacia el río y obviamente esto nunca ha sido respetado. En todo caso, se ha podido constatar, con ayuda de las fotografías aéreas, que la actividad del deslizamiento no se ha hecho conspicua sino hasta después de iniciada la explotación de los materiales.

En las fotografías aéreas de 1965 y anteriores, se puede apreciar que la "Terraza de Banderilla" no mostraba evidencias de movimiento significativas. Durante el período de actividad del volcán Irazú, la estabilidad debió sin embargo mantenerse apenas en una forma precaria. Luego, en las fotografías de 1967 se nota ya el inicio de los trabajos de extracción intensa y ya en 1972 el deslizamiento se había manifestado de forma tal que no mucho tiempo después el ICE se vería obligado a reubicar una de las torres (Nº 41) de la línea de transmisión Río Macho-Colima (1973 a 1975). De ahí en adelante, se ha podido apreciar la extensión y amplitud que ha alcanzado el fenómeno, al igual que el retroceso rápido de la corona superior (fotos aéreas de 1976, 1978, 1982, 1986). (Umaña, 1974).

Debe sin embargo hacerse la advertencia de que ante la situación actual y con el deslizamiento activo, no se puede suspender "*a priori*" ni "*a fortiori*" la actividad del tajo. Esto se debe a que por el momento, la presencia de la maquinaria en el sitio constituye la única manera de garantizar que el deslizamiento no cerrará el paso del río, como ya ha ocurrido en varias ocasiones.

Una regulación real, que esta vez sea respetada y la implementación de medidas correctivas en el deslizamiento, sería la forma de mantener el equilibrio y prevenir una catástrofe.

Tal y como se presenta la situación hoy en día, la posibilidad de un evento catastrófico crece cada vez más, sobre todo durante cada estación lluviosa, cuando la saturación del suelo se presenta y aumenta la presión de poros sobre la franja de ruptura, disminuyendo su resistencia al cizallamiento. Si a esto se le agrega el movimiento

vibratorio de un sismo, la continua pérdida del sustento frontal por efectos de la erosión y socavación del pie de la ladera; una futura reactivación del volcán Irazú, etc., es decir, todos los factores aislados y/o en conjunto, el desastre sería inminente. Sin embargo, nadie puede por ahora prever semejante evento o conjugación de ellos, pues aparte de la ausencia de cualquier medida de vigilancia y control, no se han desarrollado estudios cuantitativos de riesgo.

#### ASPECTOS RELACIONADOS CON LA PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD

Cualquiera que sea el mecanismo de disparo y en general, la forma en que se genere, desarrolle y manifieste el evento destructor (avenida, avalancha, cabezas de lodo, lahar, etc.) serán la población, infraestructura civil y líneas vitales quienes sufrirán las primeras consecuencias.

##### *Líneas vitales e infraestructura vulnerables*

Al ser consideradas en detalle, es impresionante la magnitud e importancia de la infraestructura civil y las líneas vitales que, aparte de la población tan numerosa podrían considerarse vulnerables, ante un evento como los que se han descrito y discutido en los apartes anteriores.

En la Figura N° 6 se muestra la posición de los principales elementos socioeconómicos en relación con el cauce del río Reventado y su área encerrada entre los diques. Obsérvese pues la ubicación de la ciudad de Cartago, el barrio de Taras y el Parque Industrial de Cartago. Aparte de ello, deben tomarse en cuenta las líneas vitales que

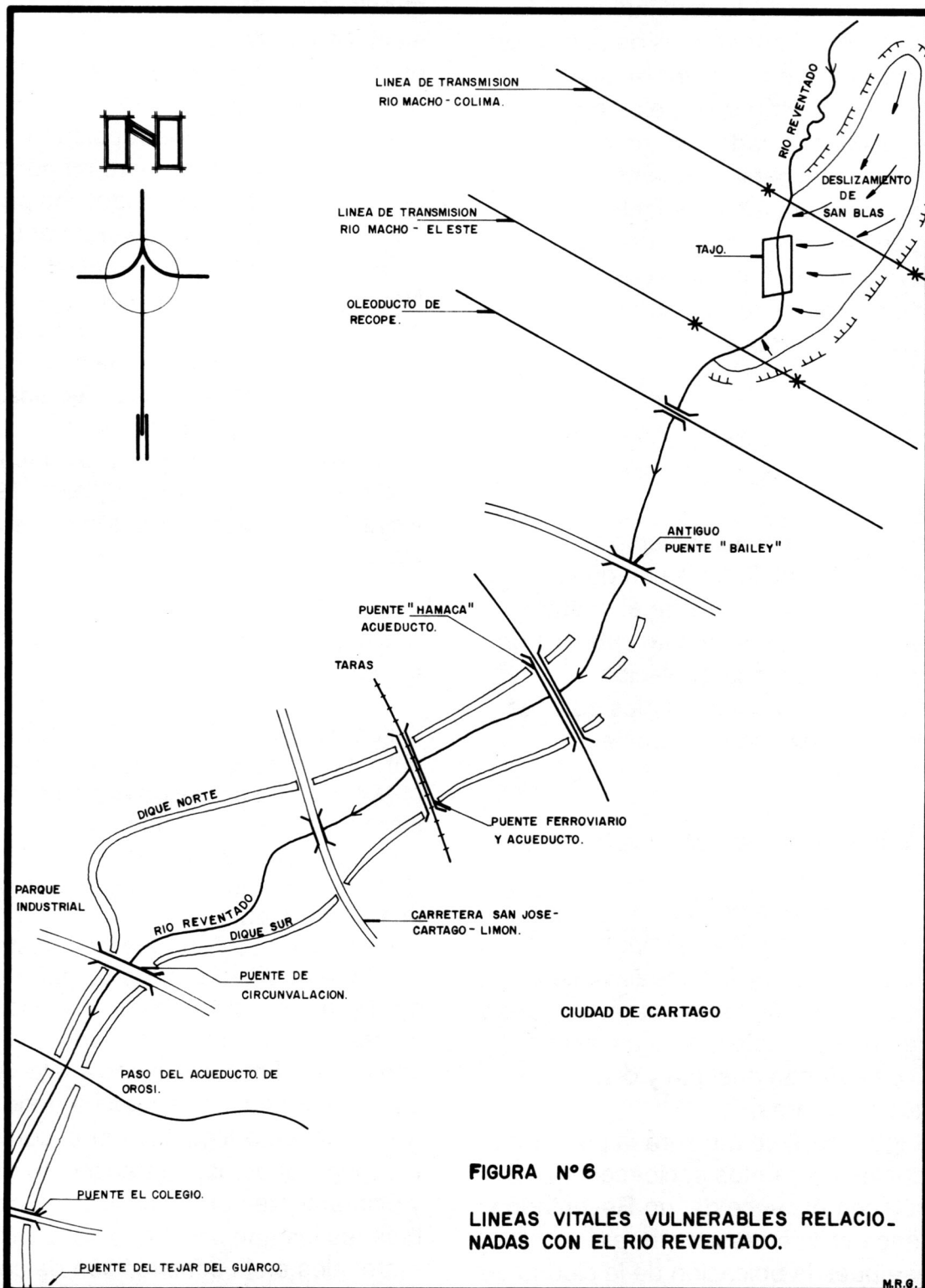
atraviesan el área: 2 líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, un oleoducto, 7 puentes viales y sus rutas respectivas, 1 puente ferroviario, 3 acueductos de Cartago, el acueducto Orosi-Metropolitano. No se muestran en la figura, pero no por ello son de menor importancia, todos los puentes hacia aguas abajo, incluyendo aquellos sobre el río Aguacaliente hasta el "Puente Negro" de Orosi, el paso del "sifón" del acueducto Orosi-Metropolitano y el embalse y la planta hidroeléctrica de Cachí. Esta última obra está viéndose afectada desde ahora, con la enorme cantidad de sedimentos que le llegan provenientes de la cuenca del río Reventado (Mora, 1986; Estrada, en preparación; Mora, Estrada y Delgado, 1985; Lezama y Mora, 1982).

##### *Los diques de taras y la situación que encierran*

Los diques de Taras fueron construidos durante el final del período de emergencia (1964 a 1967) con el objeto de constituirse inmediatamente en una barrera antidesbordamientos, labor para la cual afortunadamente no han sido sometidos a una prueba real.

La rapidez con que fueron construidos, hizo que no fuera posible respetar normas de diseño, secciones típicas, colocación de los materiales, compactación, impermeabilidad, resistencia, etc. Además, y desde entonces, no se les ha dado mantenimiento alguno y por el contrario, se han degradado con el transcurso del tiempo y últimamente por los ocupantes en precario quienes los han socavado para utilizar sus materiales en la construcción de casas o para su venta.

Aparte de que es realmente cuestionable su valor en tanto que protección por todas



las razones anteriormente citadas, deberían someterse a un estudio detallado con miras a detectar sus puntos más débiles para ser reforzados, mientras se evalúan las opciones de reconstrucción y rediseño con el fin de mejorar sus características y longevidad.

Por el momento, se han detectado visualmente varios sitios de debilidad aparente y que en el caso de una sollicitación importante, podrían verse sometidos a un proceso de ruptura y que por su ubicación, permitan la dispersión de un desbordamiento. Tal es el caso de los sitios que se muestran en la Figura Nº 7. Como por ejemplo se pueden citar: al sur del puente "Bailey", en el plantel del M.O.P.T. y más abajo, cerca de las instalaciones de ESCOSA, en donde no existe dique alguno y que por su ubicación, en donde podría existir la tendencia a concentrarse buena parte de la energía hidráulica durante una crecida, se podría producir un desbordamiento.

Por otra parte, en varios otros sitios han sido abiertas brechas en cada margen para facilitar el paso de alguna línea vital, como es el caso del puente "Hamaca", el puente ferroviario, la carretera San José, Cartago, el puente de circunvalación y el paso del acueducto Orosi-Metropolitano. Nótese que cualquier eventualidad en la margen izquierda, incidiría directamente sobre la ciudad de Cartago, y en la margen derecha sobre los suburbios de la ciudad y el Parque Industrial. Otro sitio de particular atención es aquel hacia el final del área circunscrita por los diques, en donde éstos se acercan hacia el cauce del río Reventado. Allí, ha sido construido el puente de circunvalación y evidentemente, en función de la magnitud de una avenida, podría constituirse en un área de concentración de energía.

Aparte de todo esto, la posición de los asentamientos de ocupantes en precario y

de los suburbios de Cartago, en relación con los diques, merece una atención particular. Obsérvese su distribución y las densidades de población aproximadas en la Figura Nº 8.

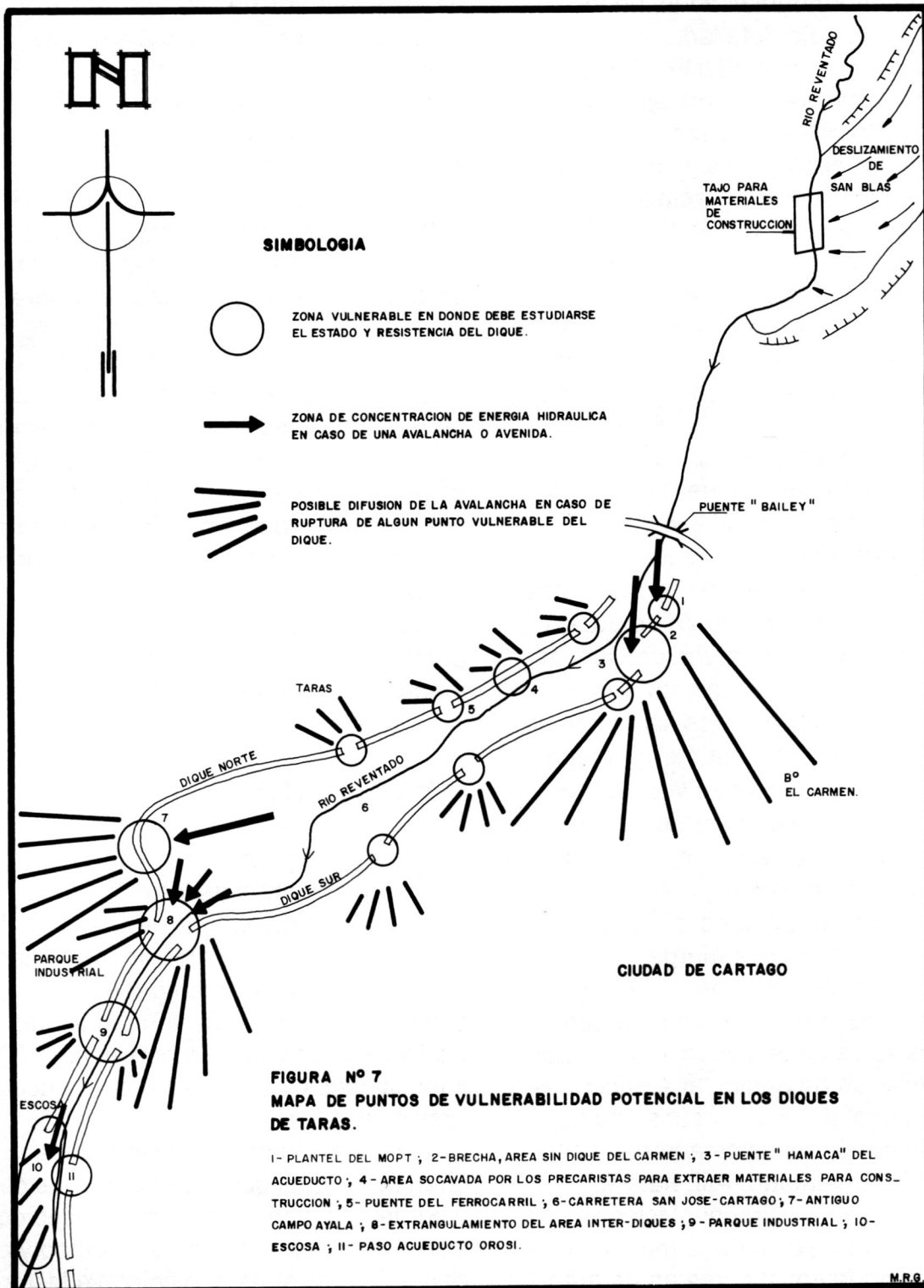
La necesidad de evacuar los núcleos desarrollados dentro de los diques es tal que una decisión inmediata debió haberse tomado hace mucho tiempo, pues es absolutamente obvia su vulnerabilidad aun para los casos de eventos de moderada magnitud.

Aparte de esto y antes de realizarse la evaluación del estado real de los diques y una consiguiente zonificación de seguridad y riesgo, debe congelarse todo nuevo desarrollo urbano en sus alrededores según una distancia razonable. Para ello, también debe tomarse en cuenta la necesidad de contar con espacio suficiente para el manejo de cualquier situación de emergencia, durante la cual, deben por ahí circular maquinaria, bomberos, ambulancias, etc.

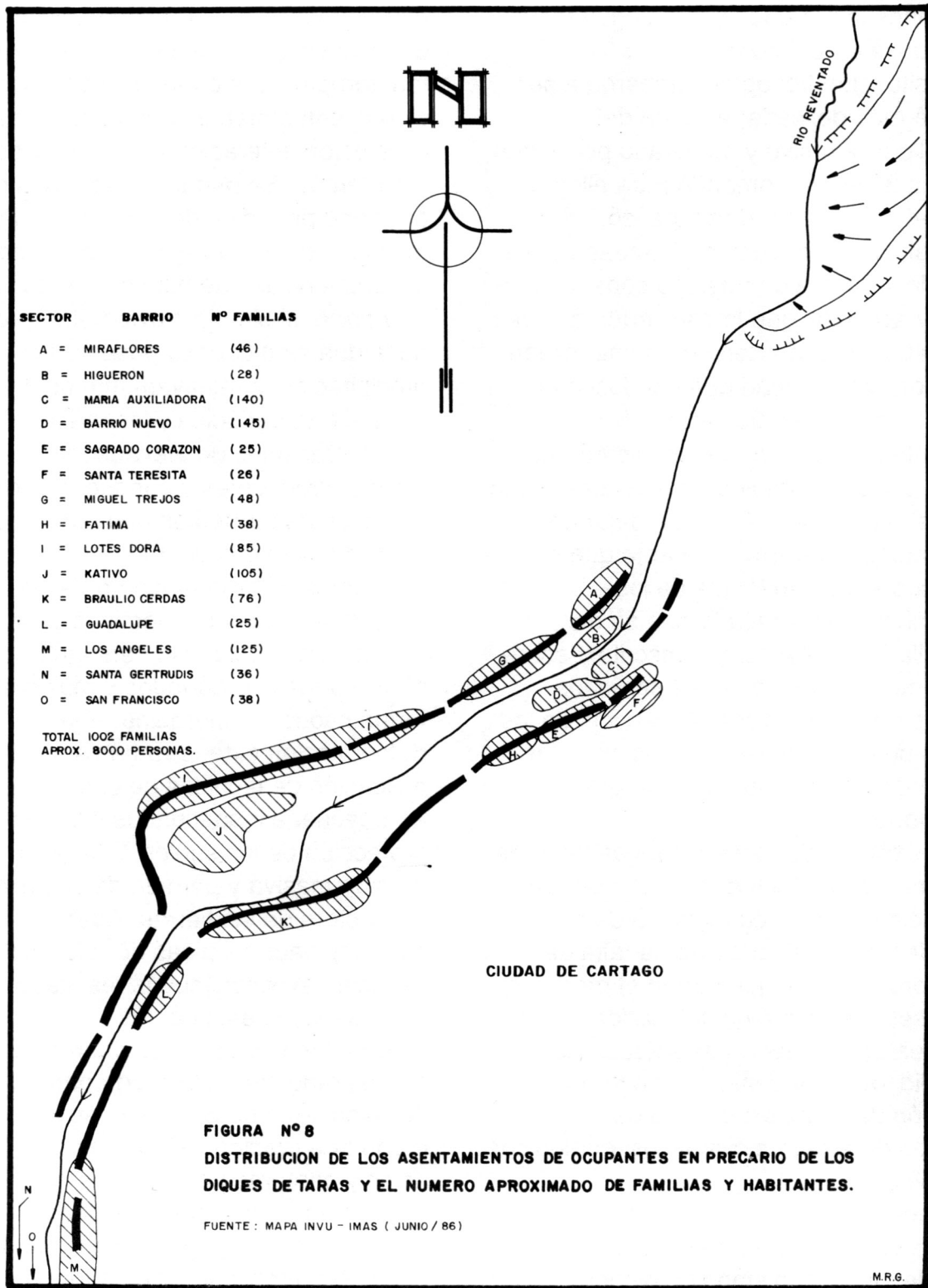
## CONCLUSIONES

A lo largo de este artículo, han sido enfocados algunos de los diferentes aspectos que involucran la amenaza, la peligrosidad y la vulnerabilidad alrededor de los fenómenos de orden geológico y climático que se presentan en la cuenca del río Reventado y que se han visto intensificados y acelerados por la actividad irracional del hombre.

La inestabilidad de las laderas de la cuenca, al igual que las avalanchas de lodo y corrientes laháricas, se han sucedido frecuentemente a través del tiempo y de ello dan fe los registros geológicos e históricos. Las manifestaciones recientes de ello, como lo ocurrido en los años 1964 y 1965, no son más que los capítulos actuales de un







proceso inevitable en vista de las condiciones imperantes y que seguirán repitiéndose en el futuro.

Esta situación tiende sin embargo a ser cada día más delicada, en vista del desarrollo progresivo y acelerado por el que atraviesa la región, tomando para ello en cuenta el crecimiento demográfico, urbano industrial, la infraestructura, y líneas vitales. Todo ello induce a un trasiego constante de bienes y servicios que la convierten a la vez en núcleo y en una arteria de primer orden. Cualquier eventualidad que conduzca al desarrollo de un evento catastrófico semejante a los anteriores, implicará una pérdida socio-económica para la comunidad local y el país entero. No debe dejar de mencionarse el peligro inminente que se cierne sobre los habitantes de los asentamientos en precario que se han desarrollado en el área circunscrita y sobre los diques de Taras, quienes serán los primeros en sufrir las consecuencias de los eventos que se generen, aún de aquellos que no necesariamente sean de grandes proporciones.

La posibilidad del desencadenamiento de un fenómeno destructivo es real, aunque la inminencia y el nivel cuantitativo de riesgo no pueden ser evaluados por la falta de datos apropiados, y que serían el producto de una serie de estudios detallados al final de los cuales se pueden establecer las probabilidades estadísticas de ocurrencia, en función del comportamiento de los diferentes parámetros climáticos, geológicos y antrópicos.

Los factores que por separado o en conjunto controlan y definen los umbrales físicos de los mecanismos de disparo, están relacionados con la existencia de materiales de propiedades físico-mecánicas

relativamente pobres, dispuestos estratigráficamente en una posición desventajosa con respecto a la topografía tan abrupta de la cuenca y que además, han sido eventualmente sometidos a procesos de erosión, alteración meteórica (residual) e hidrotermal. Se puede agregar a ellos la actividad periódica del volcán Irazú y del tectonismo local y regional, con todas las consecuencias que esto puede acarrear. Por otra parte, si bien la pluviometría promedio hace que esta cuenca posea un régimen de precipitaciones relativamente bajo, la variabilidad periódica y las eventuales concentraciones de elevada intensidad son también frecuentes y conducen al desarrollo de violentas tormentas que concluyen en grandes avenidas del río.

Además, el ordenamiento de las actividades socio-económicas en la cuenca ha sido establecido sin perseguir objetivos planificados ni ordenados y más bien en una forma caótica y anárquica. A la deforestación extensiva han seguido la aplicación de técnicas de explotación agropecuaria inadecuadas y la desprotección de los suelos, con la consiguiente erosión masiva y pérdida de capacidad productora de las tierras. Además de ello, se han empleado técnicas de reforestación con especies exóticas, cuyos resultados son por demás muy cuestionables.

Por último, lo que más dañino ha demostrado ser, sobre todo para el caso del deslizamiento de San Blas, es la actividad irregular e irracional de varios tajos y canteras para la extracción de materiales para la construcción. Mientras no se regule este tipo de actividad, bien poco podrá realizarse con miras a controlar la amenaza y peligrosidad que de ahí se derivan.

## RECOMENDACIONES

Según el estado actual de la situación, vale la pena centrar las recomendaciones alrededor de dos puntos fundamentales, pues de ellos dependen y gravitan el conocimiento y las soluciones que se planteen acerca de la problemática. Es así pues que se presentan a continuación algunas de las grandes líneas a seguir a corto y mediano plazo.

### *Tratamientos inmediatos para las áreas de deslizamiento*

Como ya se ha discutido en el caso de los deslizamientos, el factor clave a controlar es el agua. La influencia que ejerce sobre la resistencia de los materiales es la más importante en comparación con cualquier otro factor. Sin embargo, tomando en cuenta las condiciones climáticas y geológicas de la localidad, no parece ser el más fácil de controlar, al menos cuando se trate de hacerlo para el caso de las aguas subterráneas. Sin embargo, durante el último período de actividad del volcán Irazú, la simple aplicación de cunetas de contorno con la función de cortar la escorrentía hacia las zonas en movimiento, tuvo un resultado positivo. Su renovación, ejecutando un programa mejor concebido y diseñado y esta vez, con mayor calma y tiempo, podrían dar sin duda resultados igualmente aceptables y más duraderos.

Para el caso específico del deslizamiento de San Blas, aunque no excluye para los otros, ya se ha demostrado la sensibilidad del factor de seguridad con respecto a la altura y presión generada por la columna de las aguas freáticas (Delgado, 1985; Mora, Estrada, Delgado; 1985). Cualquier

dispositivo o combinación de ellos que se implemente con miras a evitar o disminuir la recarga del acuífero local, así como de su abatimiento por drenaje, incidirá en una disminución parcial o total del movimiento de la masa deslizante. Las investigaciones futuras podrían centrarse en el desarrollo de medidas que tiendan a lograr estos objetivos por medio de la disminución de la infiltración, canalizando y acelerando la escorrentía superficial, evitando la formación de lagunas, impermeabilizando y cambiando (alisando) la superficie de las zonas de fracturas importantes y favoreciendo las condiciones de drenaje interno por medio de baterías de drenajes subhorizontales en las laderas aledañas y del frente del deslizamiento, etc.

No obstante todo esto, ningún proyecto cuyo objetivo primordial sea el de la estabilización de la masa deslizante tendrá un éxito siquiera parcial, hasta tanto no se establezca igualmente una regulación adecuada de la actividad de los tajos que laboran en su frente. Este es, en todo caso, un aspecto ineludible que se debe enfocar.

### *Realización de un estudio integral sobre la problemática de la cuenca en su forma global y general*

Hasta ahora, el conocimiento que se tiene de la cuenca y sus condiciones geológicas, ambientales y sociales, es muy disperso e incompleto. En realidad, no podría nunca establecerse un programa de control y recuperación adecuado sin que esta deficiencia llegue a superarse. Cualquier tipo de medidas que se sugieran, como las propuestas en los párrafos anteriores, tendrían solamente objetivos limitados, a corto plazo y sobre todo poco rentables, pues su relación beneficio/costo sería muy baja.

La única forma de no incurrir en este vicio, sería por medio de la ejecución de un estudio integral que promueva el conocimiento de todos los parámetros y variables, con los que se puedan cuantificar, de forma más o menos precisa, los niveles de riesgo, peligrosidad potencial e inminencia de los fenómenos críticos.

Aparte de ello, al conocerse mejor las condiciones reinantes, se podría alcanzar una mejor orientación en los planes de reordenamiento que permitan detener el proceso de degradación, favorecer la recuperación y prevención y establecer sistemas y esquemas de vigilancia, alerta y emergencia.

El costo de un estudio semejante, obviamente elevado, se justifica más que plenamente al considerar el valor de la infraestructura y población que está en juego, ante la situación incierta pero peligrosa que se presenta actualmente y de la cual poco se sabe.

De manera aproximativa y sobre todo no excluyente, se sugiere que este estudio abarque los siguientes temas en el sentido más amplio que sus conceptos pueden ofrecer:

#### *A. Condiciones Naturales*

1. Análisis fisiográfico, geomorfológico y pedológico
2. Marco geológico regional y local; el macizo del Irazú
3. Análisis climatológico e hidrometeorológico

#### *B. Uso actual de la tierra*

1. Zonas de vida y asociaciones biológicas
2. Areas bajo procesos de explotación agropecuaria

3. Extracción de materiales en canteras y tajos
4. Capacidad de uso del suelo

#### *C. Estructura socio-económica de la población local*

1. Historial de la colonización y particularidades de sus núcleos
2. Organización social y aspectos culturales
3. Perspectivas y problemas de la población
4. Percepción social de los fenómenos, amenazas y sus factores
5. Actitud hacia un posible futuro reordenamiento

#### *D. Determinación de los niveles de riesgo y vulnerabilidad*

1. Identificación de los diferentes tipos de amenaza
  - Erosión, fuentes de sedimentos y deslizamientos; análisis geotécnico
  - Avalanchas
  - Vulcanismo
  - Sismicidad
  - Climatología
  - Actividad humana
2. Determinación y aproximación cuantitativa de los parámetros y variables del riesgo; estadísticas probabilísticas y/o determinísticas.
3. Modelización y escenarios fenomenológicos
4. Zonificación de la peligrosidad
5. Análisis de la vulnerabilidad de la población e infraestructura
6. Sistemas de protección
7. Esquemas de alerta, emergencia y acción post-desastre



*Plan maestro de reordenamiento*

1. Medidas correctivas
2. Medidas preventivas
3. Sistemas de vigilancia y control
4. Desarrollo de dispositivos legales de respaldo y enfortamiento

## LITERATURA CONSULTADA

- Alvarado, G. **Aspectos Petrológicos-Geológicos de los Volcanes y Unidades Lávicas del Cenoico Superior de Costa Rica.** Tesis de Licenciatura Esc. Centroamericana de Geología, U.C.R. - San José, 1984. 183 p.
- ICE. **Solución al Problema del Río Reventado;** informe preliminar. San José, 1964. 67 p. ilus.
- ICE. **Informe sobre el Problema del Río Reventado.** San José, 1965. 312 p., ilus.
- Cortés, V. **Alteración del medio ambiente en la Cuenca Superior del Río Reventado y su restauración (1963-1965).** Depto. de Geografía, UCR. San José, 1984.
- ICE. Delgado. **Análisis geomecánicos de laboratorio; deslizamiento de San Blas.** Depto. Ingeniería Geotécnica. ICE, Secc. Experimentación Geotécnica, 1985. 8 p., gráf.
- González, C. **Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica.** San José. Imprenta Alsina, 1910. 200 p.
- Krushensky, R. *Geology of the Istaru Quadrangle, Costa Rica.* U.S. Geology Survey, Bull. 1358, 1972. Washington, 46 p.
- Krushensky, R., Malavassi, E. and Castillo, R. *Geology of Central Costa Rica and its implications in the Geologic History of the Region.* U.S. Geol. Survey Journal of Research, Volume 4, number 2, págs. 127-134 March-April 1976.
- Mora, S.; Estrada, A. Delgado, J. *Análisis del deslizamiento de San Blas, Cartago, 3er. Seminario de Geotécnica.* Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos. Ing. Fund. 16 pp. 1985.
- Leeds, Hills and Sewett. **A Master Plan for Flood Control on Río Reventado and Río Tiribí, Costa Rica.** Washington: vs Dept. of State, AID, 1967. 171 p. ilus.
- Lezama, G. y Leandro, G. **Informe sobre problemas de deslizamientos en el Río Reventado a la altura de la línea de conducción Río Macho-Colima.** San José. ICE, 1980. 20 p. ilus.
- Estrada, A. **Estudio Geológico-Geotécnico del deslizamiento de San Blas, Río Reventado, Cartago, Costa Rica.** Tesis de licenciatura. Escuela C.A. de Geología; U.C.R. (en preparación).
- Lezama, G. y Mora, S. **Estudio de la estabilidad de las máquinas del Río Reventado, sitio del Puente del Oleoducto de Recope, Cartago.** San José, 1982, inédito. 42 p.
- Mora, S. **Comentarios acerca de la problemática generada por las amenazas geológico-antrópicas en la Cuenca del Río Reventado.** Comisión interinstitucional - Min. de Vivienda. Of. Geología Aplicada - ICE. San José, 1986. 22 p.
- Mora, S. *Estudio sobre las laderas inestables de Costa Rica.* Rev. Geól. de América Central. Vol. 3 pp. 131 - 161. 1985.
- Pittier, H. **Observaciones y exploraciones efectuadas en el año 1888.** San José. Tipografía Nacional, 1889.
- Schuster, R. and Krizek, R. **Landslides, Analysis and Control.** (Special Report, 176). 1981.
- S.N.E. **Recomendaciones para la extracción de materiales del Río Reventado relacionadas con el deslizamiento de masas de la margen izquierda.** Ref. 0397-DT - 81. 1981. 5 p. inédito
- Torres, C. y Lezama, G. *Estabilidad de masas de suelos y roca en Llano Grande de Cartago.* Inf. Geol. Nº 1, 1980. San José, Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología U.C.R.
- Umaña, J. **Movimientos lentos en masa o arrastre de materiales superficiales hacia sección del Río Reventado en las cercanías de la línea de transmisión Río Macho-Colima.** San José: ICE, 1974. 38 p.
- Waldron, H. *Debris Flow and Erosion Control Problems Caused by the Ash Eruptions of Irazú Volcano, Costa Rica.* U.S. Geological Survey, Bull. 1241-I, 1967. 37 p. ilus.