

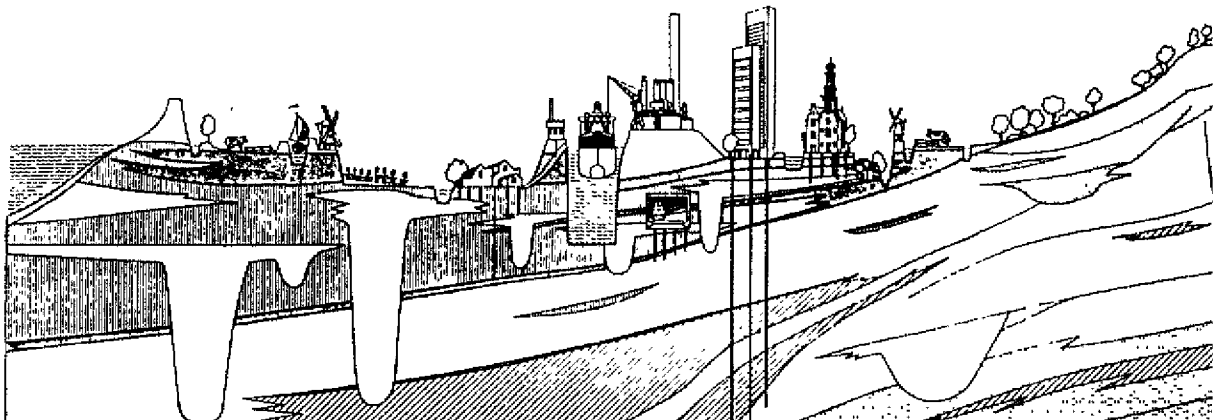
9439



6th International Congress  
International Association  
of Engineering Geology

6ème Congrès International  
Association Internationale de  
Géologie de l'Ingénieur

Amsterdam / Netherlands / 6-10 August 1990  
Editor: D.G. Price



Proceedings  
Sixth International Congress  
International Association  
of Engineering Geology

6–10 AUGUST 1990 / AMSTERDAM / NETHERLANDS

*Editor*

D.G. PRICE

*Delft University of Technology, Delft, Netherlands*

VOLUME 3

*Theme four: Surface engineering geology*



A.A. BALKEMA / ROTTERDAM / BROOKFIELD / 1990

V.M.Kutepov V.N.Kozhevnikova	Prediction of hazardous events in karst areas as a result of anthropogenic changes in the hydrogeologic environment Prévision des effets de danger sur les aires de karst comme résultat des changements anthropogènes de l'environnement hydrogéologique	1643
E.Kyriacou	Ground cracks in Aradhippou village in Cyprus Les fractures dans le sol du village d'Aradhippou en Chypre	1649
Y.S.Li Y.Q.Shang S.T.Wang	Research on the present activity and seismogenetic model of Anning River Fault in the western part of Sichuan Province Recherche sur l'activité actuelle et modèle seismogénétique de la faille du fleuve Anning dans la partie ouest de la province du Sichuan	1655
S.Mora J.P.Asté	Cartago non delenda est – Pour une politique de prévention des risques générés par les mouvements de terrain à Cartago (Costa-Rica) For a mitigation policy against risks generated by landslides in Cartago (Costa-Rica)	1663
N.Mouyiaris M.Kynigalaki G.Koukis	The seismotectonic map of Greece and its engineering geological implications La carte seismotectonique de la Grèce et ses implications géotechniques	1669
Z.Ortolan	Le rôle de la méthode de corrélation dans la détermination des zones de paramètres minimaux de résistance au cisaillement The role of correlation methods in determining zones of minimum parameters of the shear resistance	1675
V.I.Osipov	Ecological problems of the lithosphere Les problèmes écologiques de la lithosphère	1681
Chukwunonye Ozioma Owuama	A physical model for control of sheet erosion Un modèle physique pour le contrôle du ravinement	1689
K.Sampurno	Geology of Bandung (Indonesia) and its significance for the development of Bandung City La géologie pour le développement urbain dans la région de Bandung (Indonésie)	1697
Conrad Schindler Riet Rageth	Braunwald (Swiss Alps): Investigation, analysis and partial stabilization of a big landslide Braunwald (Alpes suisses): investigation, analyse et stabilisation partielle d'un important glissement de terrain	1705
Jorge H.Sevilla	Un exemple d'importants glissements de terrain en Equateur An example of big landslides in Ecuador	1713
D.Sunarfc	Genesis of complex deformation on the slopes of the Drina river La génèse des déformations complexes des versants naturels de la rivière la Drina	1719
Kaname Tajiri Shigeyoshi Imaizumi Hiroshi Nakayama	Analysis of slope-failed sites using a digital geologic data base system Analyse de la rupture des terrains en pente en utilisant un système de banque de données (Data Base System) géologique	1725
B.K.Tan	Engineering geology of the Ipoh area, Perak, Malaysia Géologie géotechnique de la région d'Ipoh, Perak, Malaisie	1733

## Cartago non delenda est – Pour une politique de prévention des risques générés par les mouvements de terrain à Cartago (Costa-Rica) For a mitigation policy against risks generated by landslides in Cartago (Costa-Rica)

S.Mora

*Instituto Costarricense de Electricidad, Costa-Rica*

J.P.Asté

*Bureau de Recherches Géologiques et Minières, France*

**RESUME:** CARTAGO, ancienne capitale du COSTA-RICA, est très menacée par des risques volcaniques, sismiques et de mouvements de terrain ou coulées et inondations. Des stratégies de prévention sont possibles. Un programme de planification préventive pour un développement durable doit être mis en oeuvre aussitôt que possible, dans toutes ses composantes, scientifique et technique, mais aussi administrative, juridique et éducative.

**ABSTRACT:** Old chief town of COSTA-RICA, CARTAGO is threatened by volcanic and seismic, but also landslides, avalanches and flood induced risks. Mitigation strategies are possible. It is necessary to build up prevention planification for a durable development as soon as possible, with its scientific and technical, but also administrative, juridical and educational components.

### CARTAGO, ANCIENNE CAPITALE DU COSTA-RICA, UN CADRE PHYSIQUE INQUIETANT (1)

Fondée en 1564 et capitale du COSTA-RICA jusqu'en 1823, la ville de CARTAGO (100 000 habitants) a été détruite deux fois dans son histoire par des tremblements de terre (1841 et 1910).

Située à 1200 mètres d'altitude au pied du volcan Irazu (3420 mètres), elle a également vécu de nombreuses séquences d'éruptions volcaniques avec projections de cendres qui, en général, ne l'ont pas atteinte. Anciennement surnommée "ciudad de lobo", ou ville de la boue, elle a aussi subi de nombreuses inondations en provenance essentiellement du rio Reventado et de son bassin qui draine le versant sud-ouest du volcan et dont la morphologie, héritée de lahars et coulées volcaniques, évolue très activement.

Les formations géologiques qui affleurent sur le bassin et sous la ville sont essentiellement constituées de matériaux détritiques de type lahars qui se sont mis en place à la faveur de coulées au dessus de laves plus anciennes. Pendant les quatre siècles qui se sont écoulés depuis la création de la ville, et compte tenu des chroniques disponibles, on peut esquisser une approche probabiliste



du rythme de récurrence des principaux phénomènes naturels générateurs de risques :

. approximativement 70 ans pour les séismes destructeurs,

. 20 ± 10 ans pour les éruptions volcaniques importantes,

. 25 ± 10 ans pour les coulées de boue et de débris,

. 12 ans pour les pluies exceptionnelles.

Compte tenu du délai écoulé depuis la dernière manifestation de chacun de ces types de phénomènes, tout laisse penser que des événements graves devraient se produire dans la dernière décennie du siècle.

Le dernier épisode catastrophique a eu lieu entre 1963 et 1965, et particulièrement le 9 décembre 1963 quand des coulées de boue tuèrent une vingtaine de personnes en détruisant plusieurs centaines de maisons et en occasionnant de très graves dommages. Ces coulées sont dues à la conjonction de deux phénomènes :

. des éruptions volcaniques avec mise en place d'une carapace de cendres très peu perméables dans la partie sommitale du volcan et augmentation très forte du ruissellement sur les pentes correspondantes,

. des pluies fortes mais non exceptionnelles qui, du fait de cette imperméabilisation à l'amont du bassin, ont essentiellement ruisselé, générant dans le cours du rio des débits exceptionnels.

Cette arrivée massive d'eau a provoqué de nombreux glissements de terrain le long du rio, avec chaque fois accumulation d'eau à l'arrière du petit barrage naturel ainsi formé et, très vite, rupture et coulées de débris et de boue.

Parmi les phénomènes naturels générateurs de dommages qui ont déjà affecté CARTAGO, on peut donc établir la hiérarchie suivante :

. glissements de terrain et coulées associées, ressentis comme le phénomène le plus fréquent et le mieux prévisible en cas de pluies fréquentes et prolongées,

. séismes tout aussi dévastateurs et en particulier parce qu'ils génèrent eux-mêmes des glissements de terrain. Dans le contexte de CARTAGO, comme partout dans le monde, ces séismes sont difficiles à prédire, mais aucune disposition parasismique sérieuse n'a encore été prise,

. éruptions volcaniques enfin qui, historiquement au moins, ne semblent pas redoutables, mais dont on a vu l'importance qu'elles peuvent avoir sur les quantités d'eau qui ruissellent.

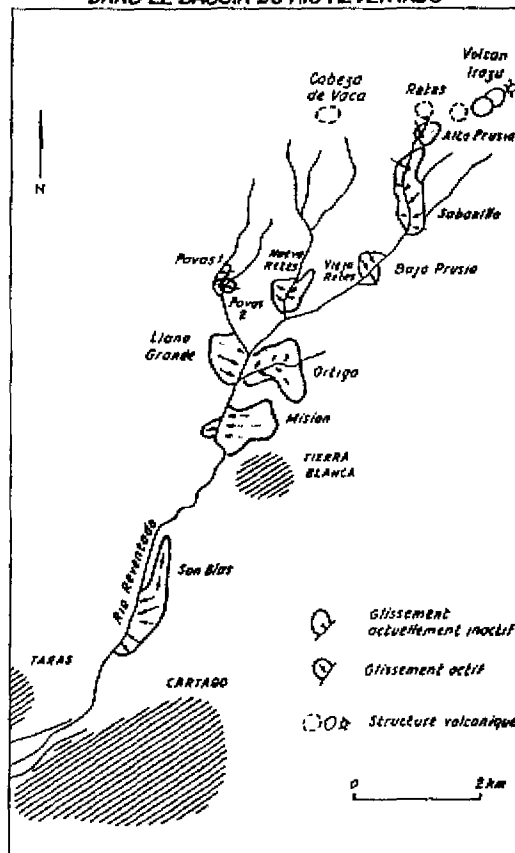
En 1990, au moment où l'on redoute le retour possible de chacun des phénomènes, un glissement de terrain particulier

retient l'attention, celui de San Blas sur le rio Reventado.

## 2 LE GLISSEMENT DE SAN BLAS (2)

A seulement 1,5 km au nord de CARTAGO, le site de San Blas est le siège d'un mouvement extrêmement important puisque 50 millions de m<sup>3</sup> de formations détritiques semblent concernées sur 1700 mètres de long, 500 mètres de large et 60 mètres de profondeur. En fait, on a identifié de nombreuses zones de glissement actif le long du rio.

### LOCALISATION DES PRINCIPAUX GLISSEMENTS DANS LE BASSIN DU RIO REVENTADO



San Blas est la plus importante : elle est près de CARTAGO, ne s'est réellement manifestée qu'après 1965, est très volumineuse et se situe dans un contexte morphologique particulier puisque les matériaux affectés sont des matériaux de

lahars occupant un ancien lit du rio. Circonstance aggravante, le pied du glissement, dans le rio, est depuis une vingtaine d'années le siège d'une extraction de matériaux en carrière. Par ailleurs, une déforestation intensive a transformé le bassin versant depuis des décennies. Le glissement mobilise une terrasse (terrazza de Banderilla) de matériaux lahariques holocènes entre les altitudes 1600 et 1800 et présente une morphologie atypique, allongée, avec une direction de mouvement en deux segments, parallèlement au rio à l'amont, et orientée vers l'Est à l'aval, au niveau de l'exploitation. Les observations morphologiques faites in situ montrent des surfaces de fracture inclinées de 65° sur la verticale ; des sondages laissent penser que la surface de rupture est, au moins localement à 60 mètres de profondeur, au-dessus de laves surmontées de zones d'altération hydrothermale.

Des tentatives de modélisation avec les méthodes classiques de la mécanique des sols permettent de justifier par rétro-analyse des frottements très faibles (10°) et de mettre en évidence une très grande sensibilité de l'équilibre aux variations de la pression interstitielle qui seraient de l'ordre de plusieurs mètres selon les saisons.

Les vitesses de déplacement peuvent atteindre 10 à 15 mètres par an en certains points de surface et simultanément, on observe un recul vers le Nord de la cicatrice sommitale de l'ordre de 50 mètres par an !

Ainsi peut-on conclure que les principaux facteurs de déséquilibre sont :

- l'activité extractive en pied de glissement,

- les variations de pression interstitielle en saison pluvieuse.

### 3 L'EVALUATION DU RISQUE POUR CARTAGO

La nature du risque a parfaitement été identifiée par les habitants de CARTAGO en 1965. Mais ils l'ont oubliée, S. MORA a présenté en 1987 une évaluation des types de dommages prévisibles (1), basée sur le souvenir des événements passés et sur une analyse exhaustive des personnes, biens et activités exposés et de leur vulnérabilité. Seul a toutefois été pris en compte le risque généré par les coulées de type 1963.

Les ouvrages concernés sont l'oléoduc, les ponts et chaussées, les voies ferrées et ouvrages associés, les aqueducs et les lignes de transmission électrique à haute tension.

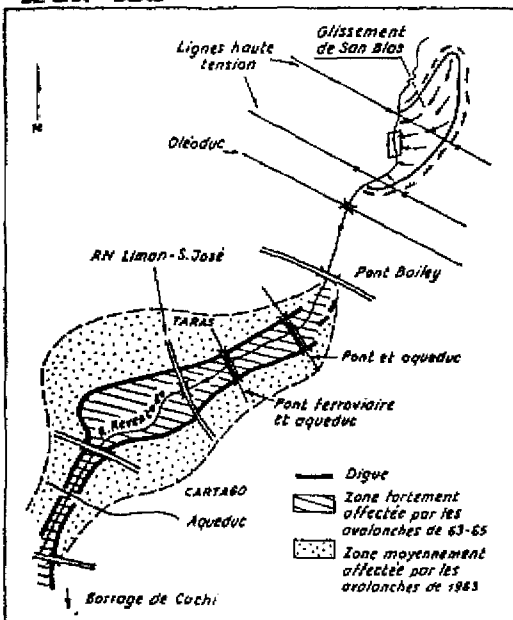
Les activités sont celles de la zone industrielle et le barrage de Cachi situé à quelques kilomètres à l'aval de Cartago et dont on craint l'envasement total. Quant aux populations, elles se classent en deux catégories :

- celles qui ont illégalement occupé l'espace interdit compris entre les digues construites en 1964 pour prévenir au moins provisoirement le retour des coulées de l'année précédente,

- les autres populations dans la banlieue de Taras et enfin celles de Cartago.

Au total, ce sont près de 100 000 personnes qui sont touchées. Quant à l'estimation économique des seuls dommages directs, elle atteint 50 à 100 millions de dollars selon que l'on prend en compte un phénomène de moyenne ou forte intensité. En fait cette estimation peut certainement être doublée et même triplée si l'on prend en compte les dommages indirects et le coût des préjudices aux populations.

### LES AXES VITAUX MENACÉS PAR LE GLISSEMENT DE SAN-BLAS



### 4 LA STRATEGIE DE PREVENTION ENVISAGEABLE

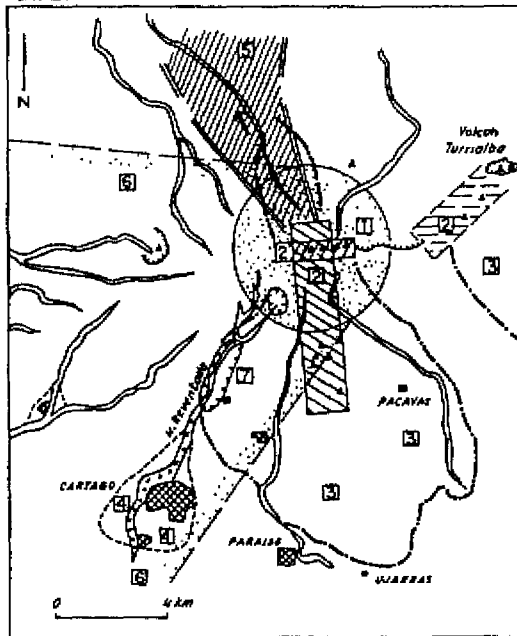
A la différence de ce qui peut se passer en bon nombre de situations de risque naturel, l'identification des phénomènes

potentiels et des dommages associés est très claire à Cartago. Si l'on ne sait pas encore très bien quand et comment les phénomènes dévastateurs se produiront, on sait où et on sait qu'ils seront de forte intensité.

On peut donc envisager trois types d'actions (3), la surveillance, le contrôle par des travaux, ou l'évacuation, d'abord des populations puis des biens concernés, dans une perspective à long terme en établissant des plans pour un aménagement et un développement durables, avec un déplacement progressif du pôle urbain et productif.

Vis-à-vis des trois grands types de phénomènes observés, il y a des stratégies différentes associées à des termes d'occurrence différents.

#### PHENOMENES GENERATEURS DE RISQUES AUTOUR DE L'IRAZU



Foyer volcanique

- 1 Chute d'éléments pyroclastiques > 3 cm
- 2 Formation de cratères, cônes ou coulées
- 3 Extension des coulées de laves
- 4 Lahars et coulées de boue
- 5 Explosion latérale
- 6 Retombées de cendres sous l'effet du vent
- 7 Glissements

#### 4.1 Vis-à-vis des éruptions volcaniques

L'action ne peut être que de surveiller l'activité volcanique et de délimiter les zones exposées à ses effets. Mais une analyse en retour des conditions des éruptions passées doit être développée. Historiquement, on connaît des éruptions en 1723, de 1917 à 1921 et de 1962 à 1965. Ce furent des explosions stromboliennes dévastant plusieurs centaines de km<sup>2</sup>. Mais l'Irazu est un strato-volcan avec des alternances de projections et de coulées, une migration d'Ouest en Est de quatre cratères d'âge différent et, semble-t-il, des traces d'effondrement d'un ancien appareil volcanique sur tout le flanc Sud. Une analyse fine des conditions de mise en place des principales catégories de matériaux, coulées, lahars mais aussi laves devrait permettre d'affiner la carte des risques.

Quant à la surveillance de l'activité volcanique proprement dite, elle est très insuffisante pour un volcan aussi proche d'une grande agglomération.

#### 4.2 Vis-à-vis du risque sismique

On sait que les méthodes modernes du génie parasismique passent par une bonne connaissance de la sismicité historique (en Amérique centrale, ce ne sont pas les références qui manquent), par une bonne connaissance néotectonique et structurale de la localisation probable des épicentres possibles au voisinage du site et par la connaissance géotechnique des conditions locales d'amplification ou d'atténuation du signal au rocher. Une telle approche est envisageable à CARTAGO, dans le cadre d'un effort de compréhension des conditions de site qui s'appuyerait sur les méthodes d'investigation et de réflexion géotechniques nécessaires pour un plan de développement.

#### 4.3 Vis-à-vis des risques de glissement et coulées

L'essentiel de l'effort doit être porté vers la compréhension des conditions possibles d'aggravation de San Blas, des scénarios d'évolution du glissement, puis des phénomènes induits à l'aval. Les études menées jusqu'à présent, en dépit de leur qualité, n'ont pas permis de réunir les éléments déterminants pour l'évaluation de ces scénarios. Les moyens de surveillance sont encore dérisoires et seront notablement insuffisants en période

de crise. Or, il est aujourd'hui possible de caractériser finement la morphologie du glissement et des zones qui lui serviront de réceptacle ; ainsi peut-on préciser la section de bouchure de la vallée puis l'importance des débâcles après rupture des bouchons. Il est aussi possible de développer des moyens de surveillance plus précis associés à une préparation de l'état de crise, permettant de mieux contrôler la situation, notamment au niveau de la protection des vies humaines si les situations hydrométéorologiques deviennent exceptionnelles (4).

#### 5 UN PROGRAMME DE PLANIFICATION PREVENTIVE

Limitier les conséquences des événements redoutés exige la mise en oeuvre d'un programme de longue haleine associant techniciens et scientifiques, mais aussi responsables de la protection civile, administrateurs, juristes, architectes, responsables de la planification et du développement. Un tel programme suppose évidemment un préalable de choix politique très important, sans lequel la mise en place et le respect des procédures est impossible.

Il faut commencer aujourd'hui à préparer l'efficacité de demain :

. en acquérant et en communiquant des données sur l'environnement et les mécanismes des phénomènes étudiés,

. en étudiant et cartographiant les facteurs localisés qui peuvent expliquer la génération des phénomènes,

. en développant progressivement une campagne ordonnée d'investigation et en établissant un "état des lieux", en analysant en retour les conditions d'occurrence des phénomènes passés,

. en cherchant comment intégrer les contraintes naturelles au développement nécessaire et continu de la ville : investigations géotechnique et environnementale préalables pour permettre d'optimiser les choix de demain,

. en prenant en compte ces contraintes et les restrictions qu'elles provoquent dans l'occupation du territoire pour l'élaboration des plans d'urbanisme. Le fait de devoir faire progressivement migrer des populations oblige à repenser aussi le tissu urbain général pour développer les réseaux et services et assurer un développement continu de l'espace urbain et pas seulement la création de nouveaux quartiers périphériques mal desservis ou mal équipés,

. en rénovant le cadre juridique ou administratif de la propriété et des

règles d'utilisation du sol,

. en formant à la fois les cadres responsables du développement de ces programmes et les jeunes qui leur succéderont dans sa mise en place progressive,

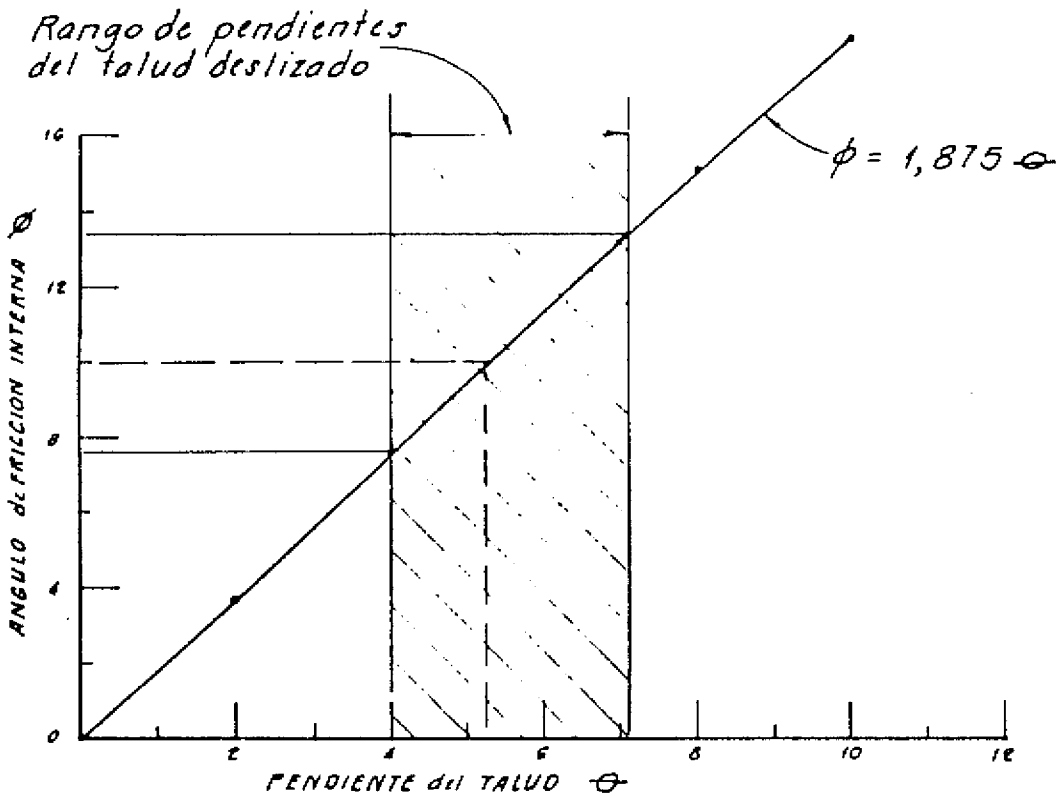
. enfin en informant les populations exposées.

Une opération de cette envergure a été mise en place entre 1976 et 1978 sur le site de La Paz en Bolivie (5). Quinze ans après, des résultats très positifs peuvent être constatés dans ce cadre difficile entre tous. La voie a donc été clairement tracée pour que Cartago relève le défi de son environnement hostile !

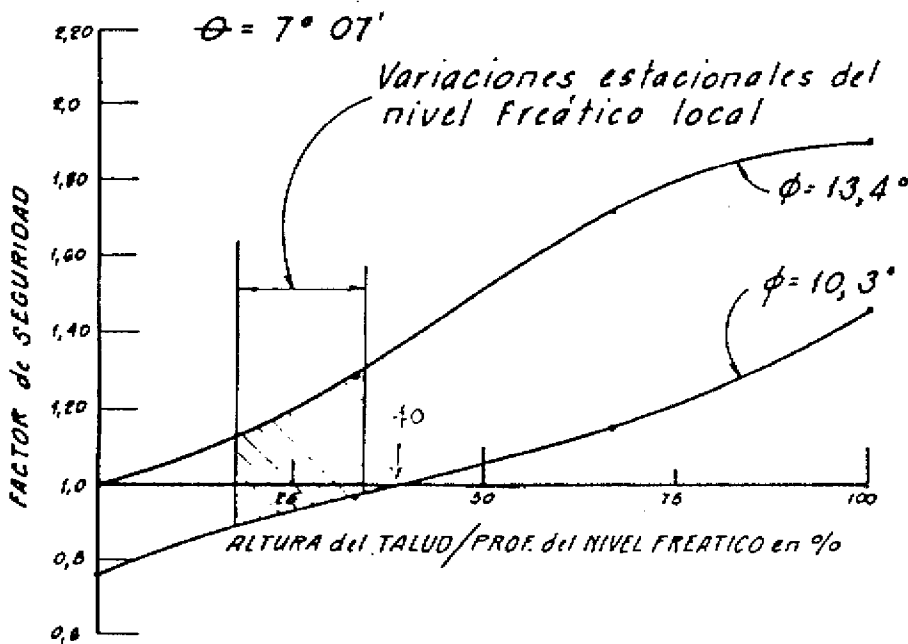
#### REFERENCES

- (1) MORA, S. 1987. Analisis preliminar de la amenaza y vulnerabilidad potenciales generadas por el rio Reventado y el deslizamiento de San Blas, Cartago, Costa-Rica. Tecnologia en marcha, vol. 9, n° 1, 1987.
- (2) MORA, S., J. DELGADO, A. ESTRADA 1985. Analisis geotecnico del deslizamiento de San Blas, rio Reventado, Cartago, Costa-Rica. Primer Simposio latinoamericano de desastres naturales, Quito, 1985.
- (3) ASTE, J.P. 1988. Some reflections on methodologies of landslide prevention in France. Selected papers from Workshop on natural disasters in European Mediterranean countries. Perugia, Italy, 1988.
- (4) ASTE, J.P. 1990. Sécurité des aménagements sur les pentes en milieu urbain. Génie Urbain - Aménagement et Territoire, n° 365, mars 1990.
- (5) MASURE, Ph. & al 1978. Le cas de La Paz. In "Planification Habitat Information". n° 91, mai 1978.





EFEECTO del ANGULO de INCLINACION  
en la RESISTENCIA del TALUD



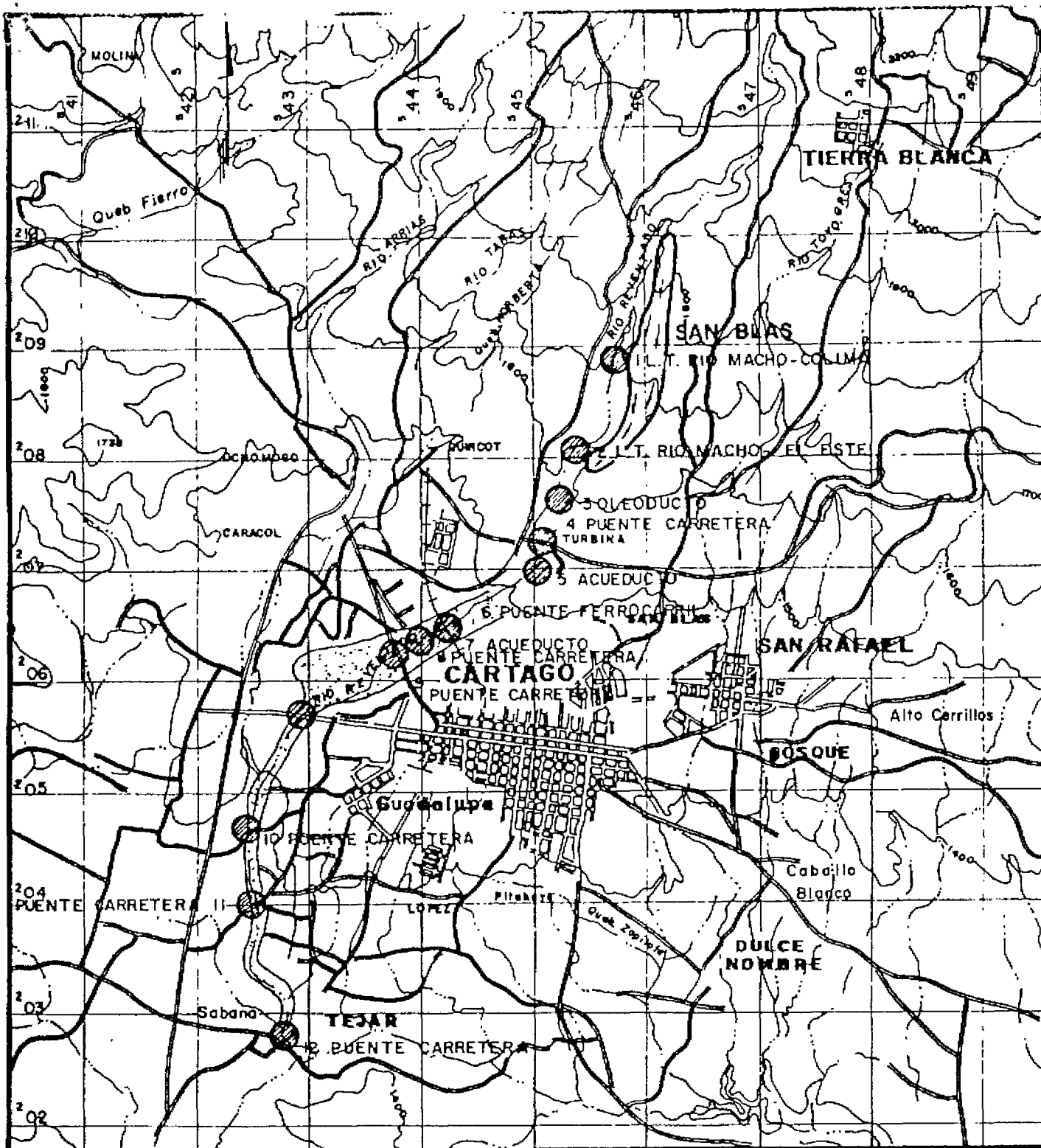
EFEECTO del NIVEL FREÁTICO  
en el FACTOR de SEGURIDAD

ANÁLISIS PARAMÉTRICO.  
DESGLIZAMIENTO en  
SAN BLAS de CARTAGO

Presentó:  
S. Mora C.  
A. Estrada del Ll.  
S. Palencia

Oct. 1985

FIGURA N° 9



**MAPA DE RIESGOS EN LINEAS VITALES**  
 INESTABILIDAD DE LADERAS EN LA CUENCA DEL RIO REVENTADO

PRESENTO: Dr SERGIO MORA C.  
 Geol. ADOLFO ESTRADA  
 Ing. JULIO DELGADO