

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

DESLIZAMIENTOS EN LA ZONA COSTERA;
IMPORTANCIA DE SU MAGNITUD
Y RECOMENDACIONES DE MANEJO.

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO.

PRESENTA :

DALETH MARIA HUERTA SANTANA.



DESLIZAMIENTOS EN LA ZONA COSTERA: LA IMPORTANCIA DE SU
MAGNITUD Y RECOMENDACIONES DE MANEJO.

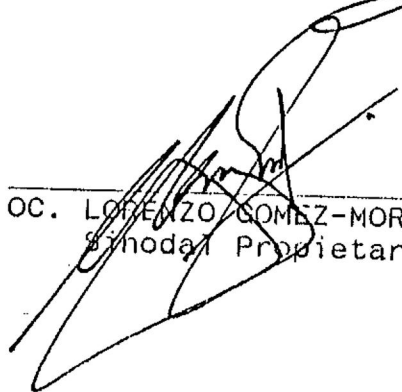
TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO

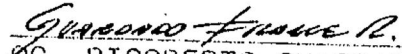
PRESENTA

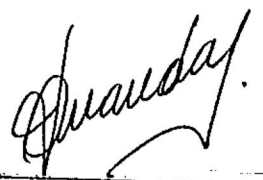
DALETH MARIA HUERTA SANTANA

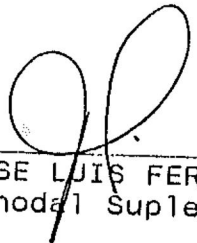
APROBADA POR:


M.C. JORGE LEDESMA VAZQUEZ
Presidente del Jurado


OC. LORENZO GOMEZ-MORIN F.
Sinodal Propietario


OC. RIGOBERTO GUARDADO F.
Sinodal Propietario


OC. FRANCISCO J. ARANDA M.
Sinodal Suplente


OC. JOSE LUIS FERMAN A.
Sinodal Suplente

Ensenada B.C., Noviembre de 1991.

RESUMEN

Se estudió el sistema de deslizamientos en el área costera ubicada entre San Miguel y El Descanso, B.C., utilizando fotografías aéreas a escala 1:25,000 y secciones en el campo. Se encontró que el contacto entre las Formaciones Rosario y Rosarito Beach, proporciona la superficie de deslizamiento, originándose movimientos de tipo rotacional. Las causas que accionan el mecanismo del deslizamiento son la "coincidencia" que existe entre los ángulos de echado y de pendiente, la erosión costera, las características de las rocas de la Formación Rosario, la pendiente del terreno y factores externos inducidos por el hombre. Se realizó un mapa de índice de riesgo basado en las variables que intervienen en la activación de los deslizamientos, encontrándose diversos valores o rangos de inestabilidad, los cuales indican alto riesgo por deslizamiento para la zona de estudio. Se recomiendan acciones para la protección de la zona al impacto de los deslizamientos.

A MIS PADRES:
ROSA A. SANTANA DE H.
JORGE HUERTA HERRERA.

AGRADECIMIENTOS:

Antes de dar las gracias a las personas que intervienen en la buena realización de este trabajo, quiero manifestar mi gratitud a mis familiares, maestros y amigos que me han guiado y apoyado a lo largo de mi vida.

- A mis maestros y amigos de la Facultad de Ciencias Marinas, quienes me orientaron en aspectos técnicos y me desearon siempre buena suerte.

- A mis compañeros del área de Geología (XXXI Gen.), quienes me aportaron ideas y parte de su tiempo con sus comentarios a éste trabajo.

- A mis Sinodales: Francisco Aranda, José Luis Ferman, Lorenzo Gómez-Morín y Rigoberto Guardado, por todas sus recomendaciones.

- A John Minch por su ayuda económica y al M.C. Jorge Ledesma V. por su apoyo como director de ésta tesis.

- A mi querido José Vicente Martínez D. por el enorme y gran respaldo que me ha ofrecido siempre.

A TODOS ELLOS....GRACIAS.

INDICE

	Páginas.
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVO	6
III. ANTECEDENTES	7
IV. AREA DE ESTUDIO	10
V. METODOLOGIA	16
VI. RESULTADOS.	20
VII. DISCUSIONES	29
VIII. RECOMENDACIONES.....	36
IX. CONCLUSIONES	39
X. BIBLIOGRAFIA	40

LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS.

- Fig. 1.- Diagramas que representan las condiciones de un deslizamiento según planos de estratificación ((A) Traslación) y desplomes sobre superficies curvas con posterior vasculación hacia atrás de capas originalmente horizontales ((B) Rotación).....pag. 4
- Fig. 2.- Localización del área de estudio.....pag. 11
- Fig. 3.- Distribución Geográfica de Unidades del Mioceno dentro de la cuenca Rosarito Beachpag. 13
- Fig. 4.- Sección columnar compuesta de la Formación Rosarito Beach en la subcuenca La Misión.....pag. 15
- Fig. 5.- Localización de los planos de deslizamiento entre San Miguel y Salsipuedes, asociados a Geomorfología costera.....pag. 21
- Fig. 6.- Sección transversal San Miguel, presentación de una columna estratigráfica que muestra a las tobas y areniscas volcanoclásticas de la Formación Rosarito Beach, sobre sedimentos de la Formación Rosario y un modelo de la actividad del deslizamiento sobre infraestructura humana.....pag. 22
- Fig. 7.- Sección transversal Arroyo Guadalupe. Correlación de los depósitos del Miembro Los Indios de la Formación Rosarito Beach en las partes de la raíz (hundimiento) y la lengua (levantamiento) del deslizamiento en rotación.....pag. 24
- Fig. 8.- Mapa de índice de riesgo para la zona de estudio, los valores obtenidos muestran alta inestabilidad por deslizamiento.....pag. 25
- Tabla I.- Obtención del índice de riesgo a través de la relación de los valores asignados para cada factor que influye en la activación de los deslizamientos, con cada grupo de deslizamientos: 0.0 indica riesgo nulo, 2 riesgo medio y 3 riesgo alto.....pag. 27

I. INTRODUCCION

Uno de los ambientes más dinámicos que existen en el planeta, se encuentra en la franja costera (entre el mar y la tierra), por razón a este dinamismo los ambientes costeros se modifican (Kennet, 1982) y se pueden producir una serie de problemas graves.

La franja costera en nuestro país y en muchas otras regiones que la poseen, presenta un creciente desarrollo hacia ésta zona debido a la demanda de la alta actividad socioeconómica generada por un incremento de la actividad portuaria, explotación pesquera, desarrollo de centros turísticos, transporte marítimo, etc. Cuando los asentamientos humanos o alguna infraestructura costera como caminos, ductos, industrias, etc., se encuentran sobre cantiles marinos de estabilidad dudosa, en donde la energía del oleaje produce gran erosión causando desequilibrio en la base de las masas de tierra y percolación de agua, entonces se puede suponer que el tiempo de vida de éstas infraestructuras será mucho menor y los gastos de reparación y/o pérdida serán mayúsculos, por tal motivo es muy importante crear conciencia de la magnitud relevante que tiene el estudio adecuado de las áreas ubicadas en regiones acantiladas sujetas al oleaje y que además poseen las características geológicas para que los procesos destructores se produzcan.

La administración de la zona costera enfrenta problemas de ingeniería y oceanografía que se clasifican en cuatro categorías generales: estabilización de la línea de costa, protección de la zona costera, estabilización de vías de acceso y protección de puertos (Ortega, 1989). Algunos factores que deben tomarse en cuenta para la resolución de estos problemas son los de tipo hidráulico, de sedimentación, de estructuras de control, legales, ambientales y económicos (Ortega, 1989). Los deslizamientos en la zona costera, son procesos que se llevan a cabo y pertenecen a la clasificación de los problemas costeros.

Un deslizamiento es un desplazamiento de tierra (masa) a lo largo de una superficie de deslizamiento (Decourt, 1978). Tomando en cuenta el contenido de agua, la naturaleza plástica y la pendiente de la masa de tierra, el deslizamiento se puede producir por causas como perturbaciones externas o naturales (Terzaghi y Peck, 1980), tal como el deterioro de la resistencia del suelo, ausencia de un soporte frontal y existencia de una superficie de deslizamiento (Holmes y Holmes, 1979).

Dentro de las características de un deslizamiento se tiene:

Fractura precedida por la formación de grietas.

La parte superior llamada raíz se hunde.

La parte inferior denominada lengua se levanta.

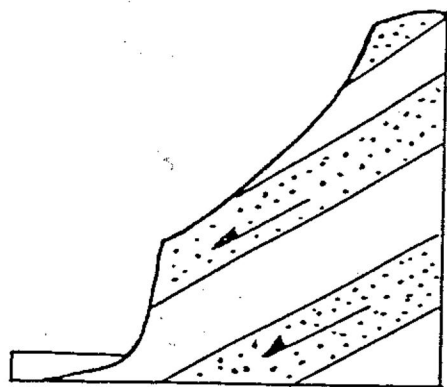
Se reconocen dos tipos de movimientos en un

deslizamiento: rotación y traslación, representado en la Figura 1, el primero es más común en pendientes de suelo donde una roca permeable descansa sobre una roca poco consolidada; los deslices de traslación ocurren a lo largo de planos geológicos e incluyen planos de foliación y fracturas (Keller, 1979).

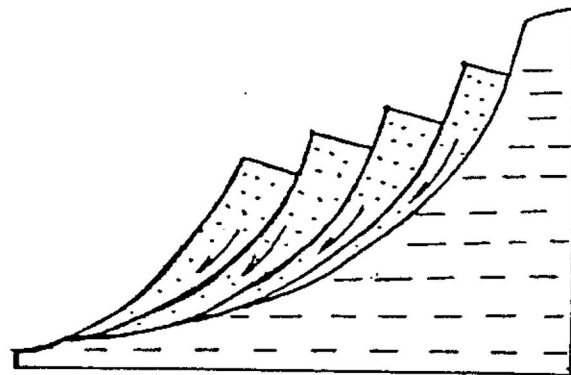
* Otro factor importante a considerar son las fuerzas de activación es decir, aquéllas que tienden a mover el material, las fuerzas de resistencia por otra parte, son las que se oponen al movimiento. El peso de las fuerzas de la masa y su componente hacia abajo es un ejemplo de fuerzas de activación, en tanto que la fricción que opone el material al movimiento es un ejemplo de fuerza de resistencia.

El contenido de agua es causante de la pérdida de cohesión del material por elevación de la presión intersticial (Decourt, 1978), estas condiciones producen inestabilidad, del mismo modo que lo hace el ángulo de echado de las capas de roca en un grado muy grande (Legget y Karrow, 1986). El clima y la vegetación pueden ser en algún momento, factores secundarios importantes y decisivos cuando se realiza un deslizamiento, ya que ellos proveen aumento o disminución de las fuerzas de activación.

Los deslizamientos son agentes importantes de erosión en zonas tectónicamente activas, sobre todo por ser áreas sujetas a sismos; en zonas húmedas como



A



B

Fig. 1.- Diagramas que representan las condiciones de un deslizamiento según planos de estratificación ((A) Traslación) y desplomes sobre superficies curvas con posterior vasculación hacia atrás de capas originalmente horizontales ((B) Rotación).

los trópicos y en las zonas costeras acantiladas (Snead, 1982).

Las zonas costeras acantiladas, son lugares muy susceptibles al impacto del oleaje, sobre todo si no existe una playa protectora (de cualquier material), que mitigue y disipe la energía del mismo.

Los estudios de erosión en la costa, están muy relacionados con las olas generadas por el viento, ya que son las principales fuentes de energía en la zona litoral (Komar, 1976). La forma y naturaleza de las playas dependen de la altura de marea, la acción de las olas y el material que las conforma. En una tormenta el material de la playa puede "desaparecer" y no recuperarse. Cuando las olas se estrellan en un cantil de costa, causan erosión y generalmente un retroceso del mismo; este tipo de erosión se ejecuta a través de la presión hidráulica que ejercen las olas en el impacto contra los cantiles (Komar, 1976).

II. OBJETIVO.

Identificar las zonas de riesgo geológico por derrumbe y deslizamiento, dentro del área Punta San Miguel - El Descanso, B.C, México, sus causas y proponer alternativas de prevención de riesgos.

III. ANTECEDENTES.

Los estudios de riesgo para zonas afectadas por deslizamientos, se han llevado a cabo principalmente con el fin de evitar catástrofes en zonas de asentamientos humanos. La metodología que se ha utilizado para efectuar estos estudios va desde observaciones de grietas y fisuras por métodos topográficos, observaciones de geomorfología, topografía, geología, etc; revisiones en el campo, observaciones a mapas y fotografías aéreas, hasta realización de sondeos por algún método geofísico y excavaciones.

Los deslizamientos de la zona costera en particular, pueden tener varias causas y mecanismos, por ejemplo, existen los que ocurren por rompimiento de un bloque que se desliza hacia abajo debido a periodos de grandes tormentas y movimientos sísmicos; los que suceden debido a la subsidencia de una masa de roca hacia el centro de un anfiteatro, con posterior desplazamiento hacia el mar y los causados por erosión del oleaje (Zenkovich, 1967; en Snead, 1982).

El estado de California en Estados Unidos, especialmente la zona sur, ha experimentado continuamente deslizamientos debido principalmente a causas dadas por el desarrollo urbano (Keller, 1979).

Los estudios sobre deslizamientos que se han realizado en la zona Noroeste de Baja California, México, los han llevado a efecto instituciones nacionales

gubernamentales y académicas, así como instituciones extranjeras:

Minch (1972), comprobó por medio de fotografía aérea blanco y negro e infrarroja que el área comprendida entre Ensenada y Tijuana está sujeta a deslizamientos. Concluye que la presencia de sedimentos poco consolidados soportando basaltos, aumenta la potencialidad, del mismo modo que lo hace la erosión costera.

La erosión costera para la región Noroeste de Baja California ha sido reportada como muy importante en numerosos trabajos.

La Secretaría de Obras Públicas en 1975, reportó la reactivación de planos de deslizamiento en varios puntos de la autopista que conecta a las ciudades de Tijuana y Ensenada, siendo estos los kilómetros: 12+360, 15+230, 15+500, 16+000, 19+300 y 20+500, localizados todos en lugares donde existen planos de deslizamiento antiguos. Menciona como causa de reactivación, a la construcción en la década de los sesenta de la mencionada autopista, debido al "peso de su terraplén"; agua infiltrada a la masa de roca y erosión costera. Según este reporte, la mayoría de planos de deslizamiento fueron encontrados hasta a 35 metros de profundidad en el contacto de depósitos de "talud" (sic) y los sedimentos que los subyacen.

Plaza Flores (1979), hace un estudio sobre el

deslizamiento ocurrido en la localidad de San Miguel. Reporta una secuencia de tres eventos por separado del 16 al 23 de agosto de 1976. El deslizamiento en rotación dió origen a una pequeña laguna. Menciona como causas posibles la suavidad del material, demasiado peso concentrado en la cabeza del deslizamiento (el cual aumenta los "esfuerzos de corte") e infiltración de agua dentro de la masa deslizada.

Ledesma Vázquez y Huerta Santana(1991) hacen un estudio en el corredor Turístico Tijuana-Ensenada y lo reportan como una zona altamente dañada por los eventos de deslizamientos, los cuales en algunos casos como el de San Miguel continúan desarrollándose.

IV. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende alrededor de 40 kilómetros de costa entre Punta Descanso y Punta San Miguel (Figura 2.) La costa en ésta área es una alternancia de acantilados y playas, la altura de los cantiles varía entre cinco y ochenta metros.

De acuerdo con la Secretaría de Marina (1974). El clima de la región se encuentra bajo la clasificación templado mediterráneo del hemisferio Norte y bajo la influencia del anticiclón septentrional, igualmente se caracteriza por ser semiseco con una temperatura promedio anual de 16 grados centígrados; el régimen de lluvias es invernal, registrándose nieblas frecuentes sobre el mar y a lo largo de la costa con un promedio anual de lluvias de 250 mm al año. La vegetación costera comprende el denominado chaparral y matorral costero.

El oleaje se aproxima generalmente del Noroeste y Oeste con periodos promedio de 10-13 seg. (Shepard, 1950; en Elizarrarás, 1986), y la altura promedio oscila entre 1-2 metros según lo establecido por Marmolejo (1985). El transporte litoral puede ser bidireccional, según los resultados obtenidos en la amplia distribución de hornblenda (Cadena, 1986) quién asegura que es hacia el Sur, mientras que Elizarrarás (1986) lo reporta hacia el Norte.

La geología de la línea de costa entre El Descanso y Punta San Miguel, comprende un basamento de roca de la

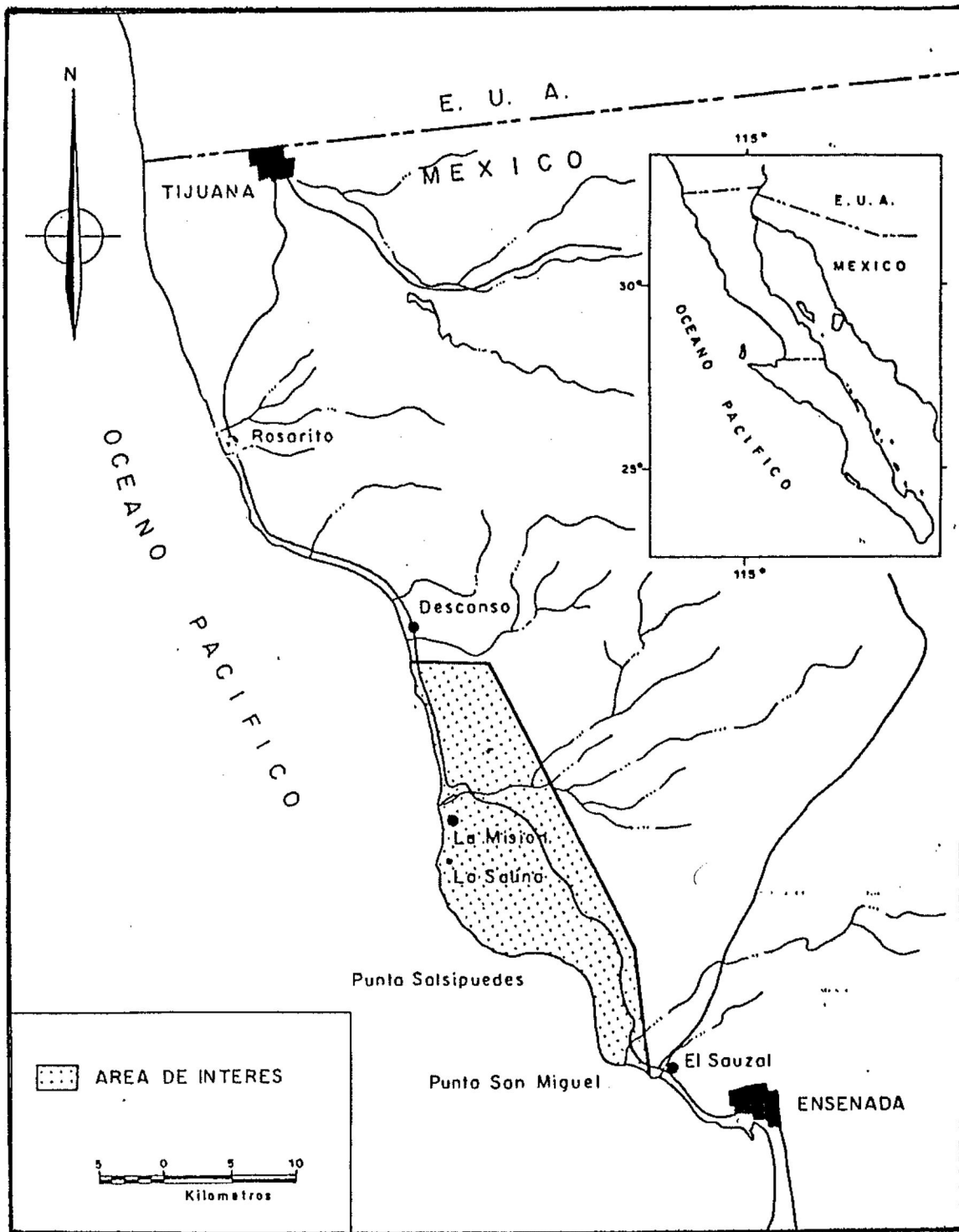


FIG. 2.- LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

Formación Alisitos (Cretácico Inferior) (Minch et al., 1970) sobreyaciéndole rocas postbatolíticas de la Formación Rosario (Cretácico Tardío) y rocas de la Formación Rosarito Beach (Mioceno). Los cantiles marinos se forman entonces, por rocas de la Formación Rosarito Beach y Formación Rosario.

La Formación Rosario comprende sedimentos marinos poco consolidados, areniscas masivas, areniscas, conglomerados, lodolita, lutitas y arcillas, que caracterizan una transición de aguas someras a profundas. Se compone de tres Unidades informales: Arenisca inferior, de 30 a 80 metros de espesor; Lodolita media de 30 a 100 metros de espesor y Arenisca superior de 200 metros de espesor. Sus echados varían de 4 a 14 grados. Geográficamente la Formación Rosario, cubre un cinturón costero de aproximadamente 2 kilómetros de extensión, el cual se comporta de manera irregular, tanto estratigráficamente, como en la extensión de sus afloramientos (Yeo, 1981).

La Formación Rosarito Beach se divide en dos subcuencas: La subcuenca Tijuana, al Norte de El Descanso y La subcuenca La Misión entre Punta El Descanso y Punta San Miguel, representadas en la Figura 3. Esta última subcuenca expone en orden ascendente: brechas y tobas del Miembro Punta Mesquite de 40 metros de espesor; basaltos y sedimentos tobáceos del Miembro Medio Camino, de 45 metros de espesor; basaltos y tobas

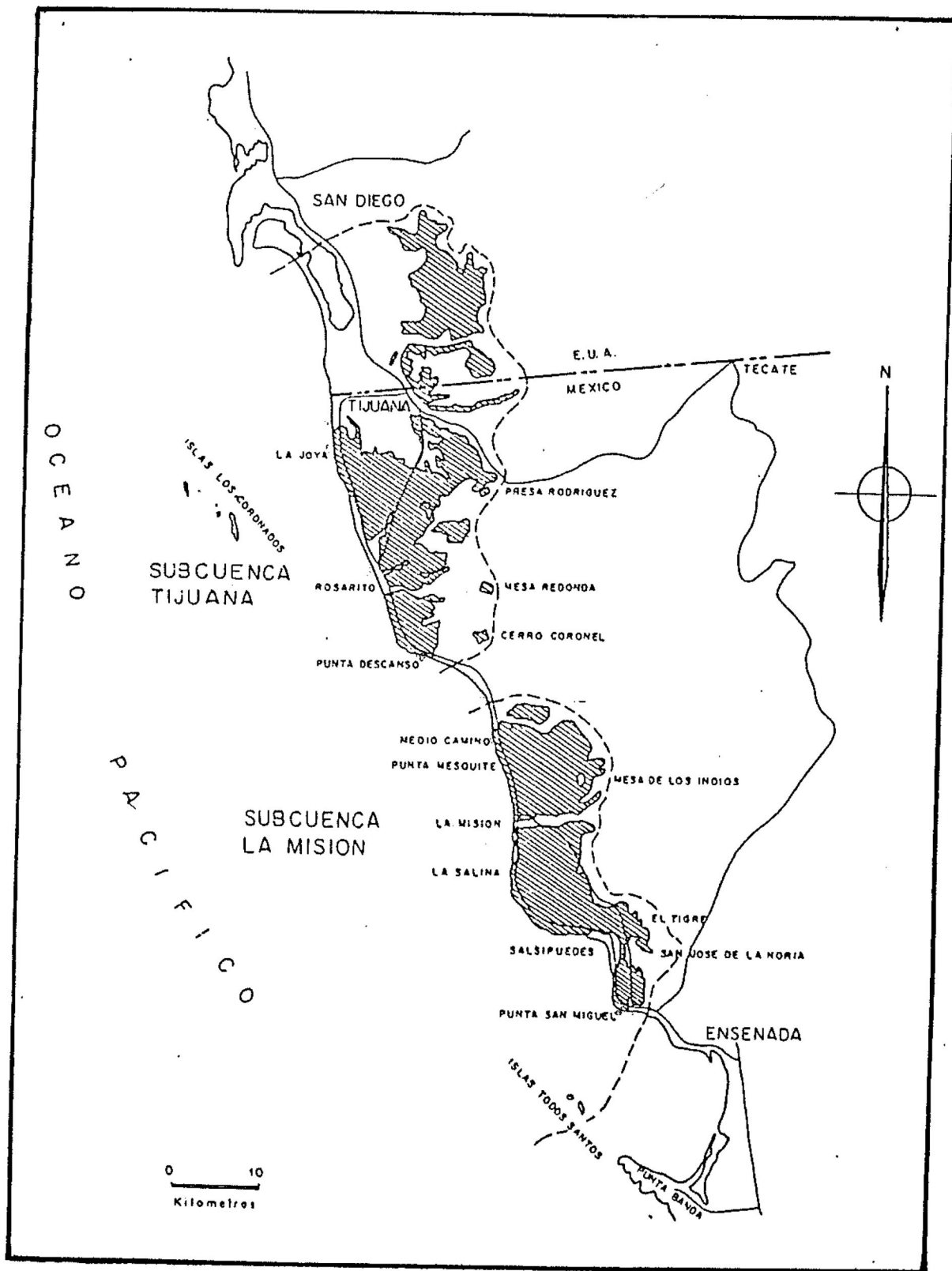


Fig. 3.- Distribución Geográfica de unidades del Mioceno, dentro de la cuenca Rosarito Beach (tomado de Ashby, 1989).

del miembro La Misión de 150 a 180 metros de espesor; sedimentos marinos tobáceos del Miembro Los Indios de 0.0 a 50 metros de espesor y conglomerados del Miembro Punta Descanso de 0.0 a 50 metros de espesor (Ashby, 1989) (Figura 4). En su gran mayoría los basaltos y rocas sedimentarias descansan sobre sedimentos marinos del Cretácico superior de la Formación Rosario (Ashby, 1989).

El contacto entre la Formación Rosarito Beach y la Formación Rosario, tiene características muy particulares ya que representa litológicamente la transición entre sedimentos poco consolidados y depósitos de mayor densidad mayormente consolidados como lo son los sedimentos de la Formación Rosarito Beach. Por ejemplo, en Punta Mesquite se observa una sección en donde los basaltos del Miembro del mismo nombre, descansan sobre lutitas del Miembro Lodolita media (Formación Rosario), así en el área de San Miguel se presentan tobas, areniscas y basaltos del Miembro La Misión, sobre sedimentos arcillosos de la Formación Rosario. Estas condiciones litológicas provocan un plano de debilidad, en donde las fuerzas hacia abajo dadas por la gravedad producen una presión que actúa fuertemente sobre el contacto de las rocas poco consolidadas de la Formación Rosario y las rocas de la Formación Rosarito Beach.

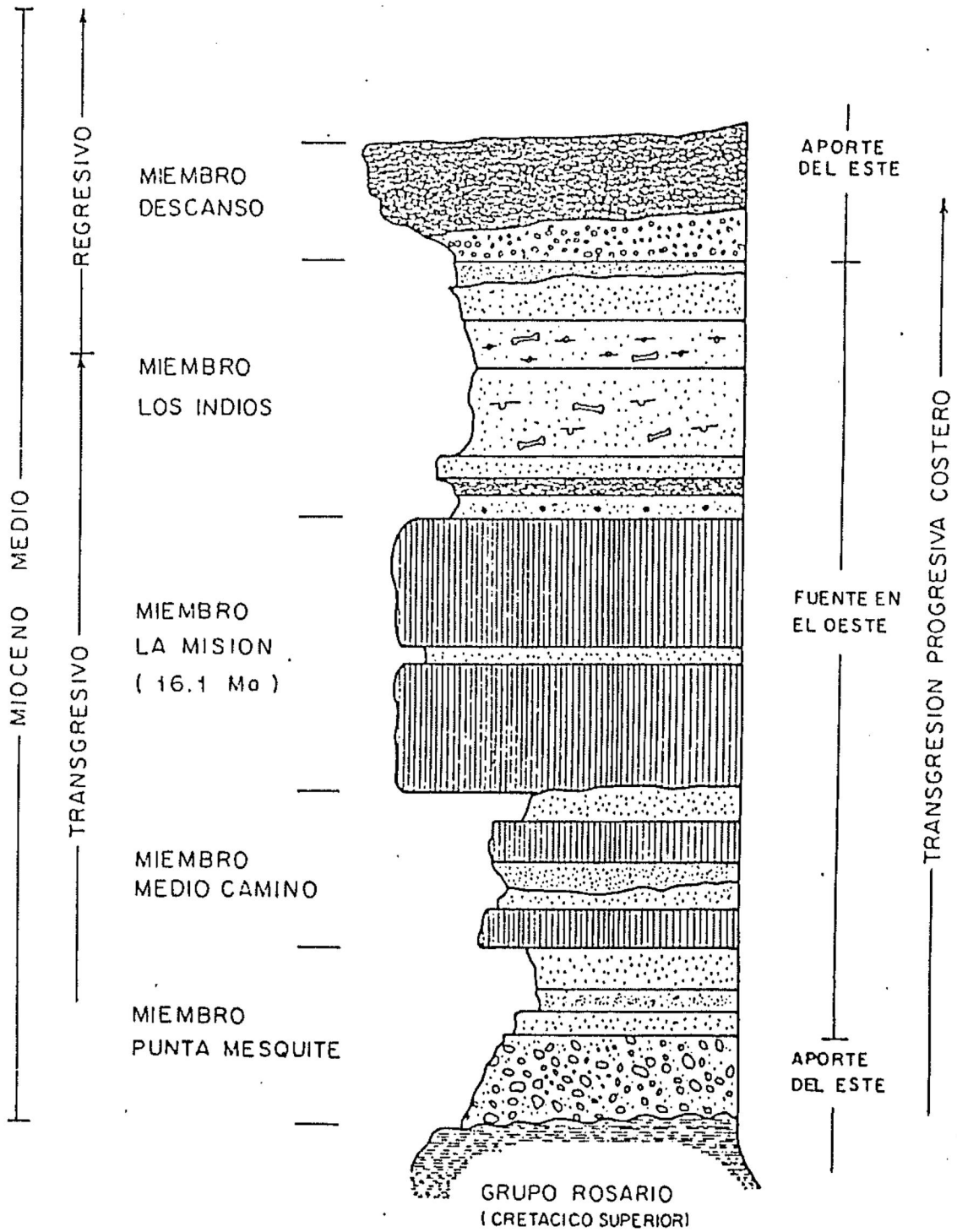


Fig. 4.- Sección columnar compuesta de la Formación Rosarito Beach, en la subcuenca la Misión (tomado Ashby, 1989).

V. METODOLOGIA.

La identificación de áreas con un potencial alto de deslizamientos, es un paso que se debe dar cuando se traten de desarrollar dichas áreas de manera industrial, turística, urbana, etc, de manera que se puedan evitar los impactos a estos asentamientos debido a un deslizamiento. La identificación de alguna tendencia de deslizamiento puede ser reconocida examinando las condiciones geológicas y los antecedentes de planos de deslizamiento (Keller, 1979).

Para hacer una investigación que arroje como resultados algún tipo de referencia en cuanto al riesgo al que está sometido una zona, es necesario hacer una conjunción de datos que inciden en el proceso o mecanismo que lleva a efecto el deslizamiento. Cendrero et al., (1987), establece tipos de riesgos de inestabilidad de ladera haciendo un inventario de los rasgos indicativos de inestabilidad, por ejemplo, tipo de roca subyacente, espesor de regolito, exposición, vegetación pendiente de ladera y estructuras geológicas; conjugando todo obtiene un índice de riesgo, ayudado por tratamiento cartográfico.

El presente estudio trata de encontrar un índice de riesgo por deslizamiento, a través del análisis de los efectos que influyen en su mecanismo. A continuación se hace una descripción de los pasos a seguir en el desarrollo de este estudio:

a) Localización de los planos de deslizamiento: Al trabajar con áreas de deslizamientos, se puede hablar de regiones de centenas de metros, por tal motivo, es necesario hacer uso de métodos para tener una amplia visión del área de estudio; este objetivo se cumple muy bien utilizando fotografías aéreas estereoscópicas, ya que a través de ellas se obtiene una panorámica en tres dimensiones de la superficie y se pueden establecer fronteras de grandes deslizamientos. Para localizar los planos de deslizamiento se utilizaron una serie de fotografías aéreas tomadas por CETENAL en el año de 1973, a escala 1:25,000, que comprenden la zona costera entre Punta San Miguel y Punta Descanso. Estas fotografías fueron analizadas con equipo estereoscópico de espejos. Los deslizamientos fueron delineados, ubicados y localizados según la morfología que presentan en una visión estereoscópica, la cuál consiste en una especie de semicírculo con la parte cóncava dirigida hacia el sentido del deslizamiento; un deslizamiento común presenta un hundimiento en la parte superior que se observa como un escarpe (raíz) continuando con una parte levantada (lengua). Después de haber localizado los planos de deslizamiento se llevan a un mapa del área de estudio.

b) Revisiones en el campo: Las revisiones en el campo son hechas para comprobar la tendencia de los deslizamientos en el área, examinando las condiciones

geológicas a través de levantamiento de secciones estratigráficas, esto dá como resultdo el reconocimiento de las características del deslizamiento.

c) Mapa de riesgo: El índice de riesgo es una superposición de los factores que inciden en el proceso del deslizamiento y una correlación de estos mismos valores (Cendrero op cit).

Para iniciar con el análisis de índice de riesgo se determinan los factores que influyen en el proceso. Tomando como base el estudio de Cendrero et al. (1987), las variables pueden ser:

i) La pendiente: de 0 a 20% se considera como de riesgo bajo; de 20 a 50% de riesgo medio y de 50 a 100% de riesgo alto.

ii) Relación entre la diferencia de pendiente y el grado de echado: menor de 22 grados se considera coincidencia, entre 22 y 45 grados semicoincidencia y mayor a 45 grados no relación; se ha observado mayor número de inestabilidades en los casos de conicidad y semicoincidencia que en los casos que no se dá.

iii) Inestabilidad de las rocas: presentándose muy inestables, las arcillas, rocas "microgranudas" y rocas volcanoclásticas.

iv) En este estudio también se incluye como factor influyente al oleaje como agente erosivo, asociado en este caso, a la geomorfología costera que presentan Bale y Minch (1971); La zona que ellos sugieren como II

(cantiles altos) se toma como el área más expuesta al oleaje y erosión, la zona IA (cantiles bajos con playa) y IIA (cantiles altos con playas) como medianamente expuestos y por último la zona IIIIG (depósitos aluviales) como una área menos afectada por erosión debida al oleaje.

En éste trabajo, el índice de riesgo se compone por la sumatoria de los valores que se observan en cada factor (antes mencionados) que influyen en el mecanismo del deslizamiento; es decir, las variables pueden tener valores de 1, 2 y 3 según el grado de inestabilidad que ofrecen al sistema (bajo, medio, alto), por lo tanto, una sumatoria de 8 a 12 dan un riesgo alto, una sumatoria de 4 a 8 dan una inestabilidad media y una sumatoria de 0.0 a 4 un riesgo bajo. Con ésta información se elabora el mapa de índice de riesgo.

VI. RESULTADOS

En la Figura 5, se localizan los planos de deslizamiento encontrados en el área de estudio a través de las fotografías aéreas. La mayoría de ellos son planos antiguos de deslizamiento, la morfología que presentan es de semicírculo con la parte cóncava dirigida hacia el litoral. Esta misma Figura se complementa con la geomorfología costera propuesta por Bale y Minch (1971).

La zona costera entre Punta San Miguel y Salsipuedes, muestra aproximadamente 22 planos de deslizamiento; entre Punta Salsipuedes y Punta Piedra (Arroyo Guadalupe), se localizaron 36 planos de deslizamiento y en la región más al Norte, entre el Arroyo Guadalupe y Punta Mesquite se observaron 15 planos de deslizamiento. Estos deslizamientos se hallaron en su mayoría en la zona de cantiles marinos, los cuales afectan a sedimentos de la Formación Rosarito Beach, Miembros: Punta Mesquite, Medio Camino, La Misión y Los Indios; todos los sedimentos de estos Miembros descansan sobre las rocas sedimentarias poco consolidadas de la Formación Rosario, provocando así un plano de debilidad en el contacto de ambas Formaciones.

Los reconocimientos en el campo se efectuaron en dos localidades San Miguel y Arroyo Guadalupe. La Figura 6 muestra el resultado del levantamiento de una columna estratigráfica y una sección transversal en San Miguel,

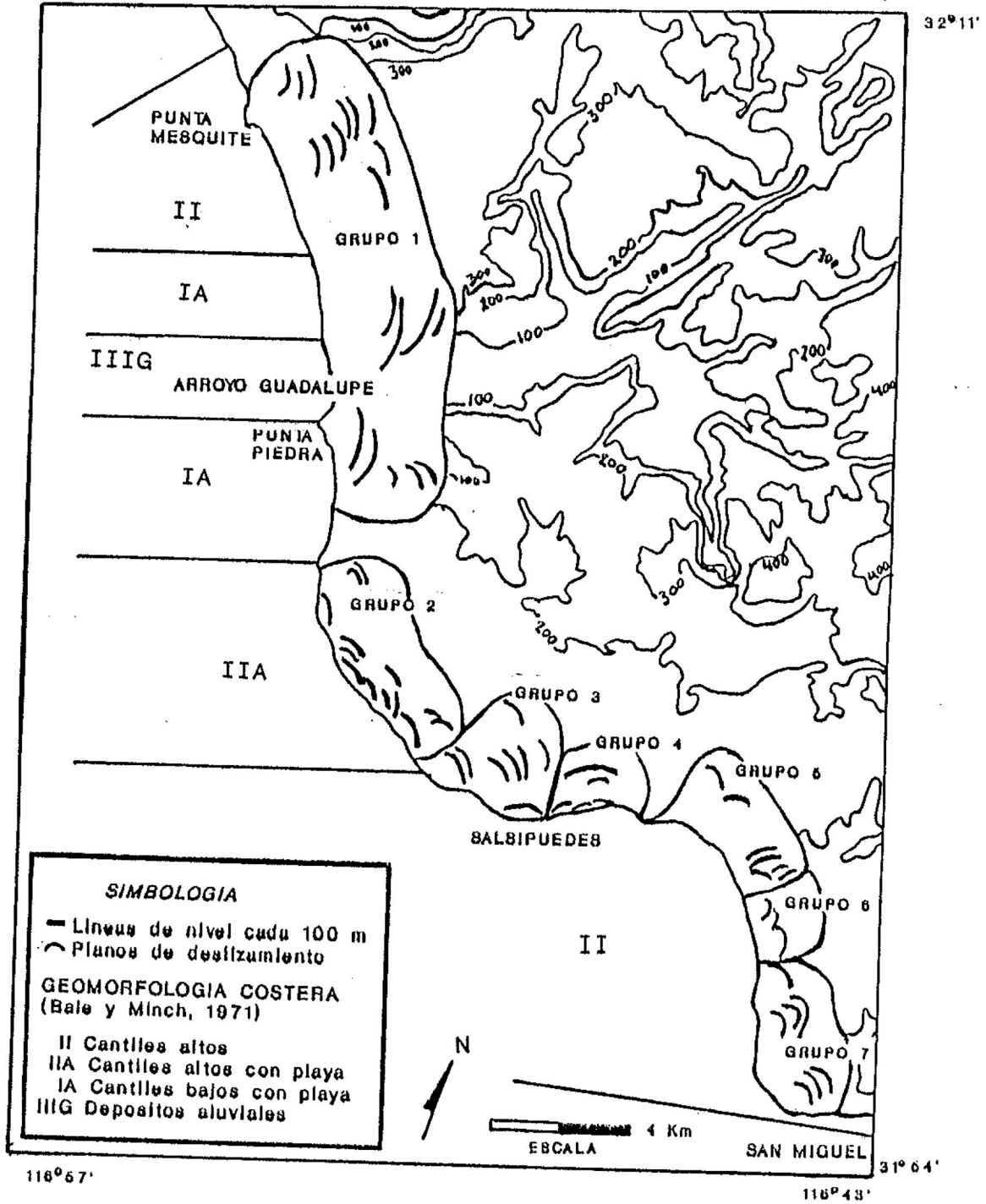


Fig. 5.-Localización de los planos de deslizamiento asociados a geomorfología costera.

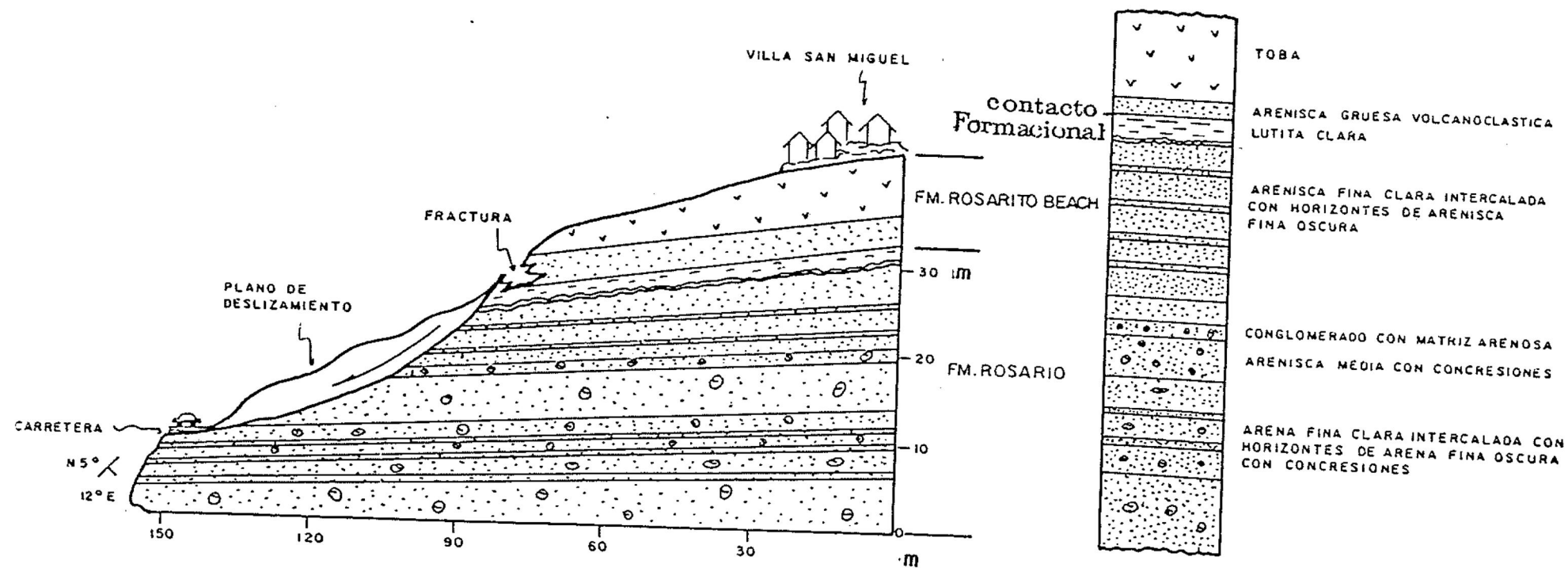


Fig. 6.- Sección transversal San Miguel, presentación de una columna estratigráfica que muestra a las tobas y areniscas volcanoclasticas de la Formación Rosario Beach, sobre sedimentos de la Formación Rosario y un modelo de la actividad del deslizamiento sobre infraestructura humana.

donde se encontró que el contacto entre los depósitos de la Formación Rosario y en este caso particular las tobas y sedimentos volcanoclásticos, de el Miembro La Misión de la Formación Rosarito Beach, proporciona la superficie de deslizamiento, del mismo modo se comprobó la presencia de una grieta que muestra la actividad del mecanismo del deslizamiento, los asentamientos humanos en esta zona juegan un papel importante en la reactivación del movimiento. La Figura 7 representa la información que se encontró en el Arroyo Guadalupe, ésta localidad arrojó datos sobre la parte posterior de un deslizamiento de tipo rotacional, con cortes correlacionados en la parte hundida de la raíz y la parte levantada de la lengua del deslizamiento, la columna estratigráfica muestra capas de tobas y areniscas tobáceas del Miembro Los Indios de la Formación Rosarito Beach.

El mapa de índice de riesgo se representa en la Figura 8. Basándose en Cendrero et al., (1987), se tomaron como factores que inciden en el deslizamiento: a) la pendiente del terreno, b) coincidencia de los ángulos de echado y pendiente, c) la inestabilidad de las rocas poco consolidadas que proporcionan el plano de debilidad y d) el oleaje como agente erosivo. Se debe hacer notar que los deslizamientos se colocaron en 7 grupos diferentes, según la cercanía que presentan entre sí y la similitud de sus pendientes (Fig. 5). La pendiente se

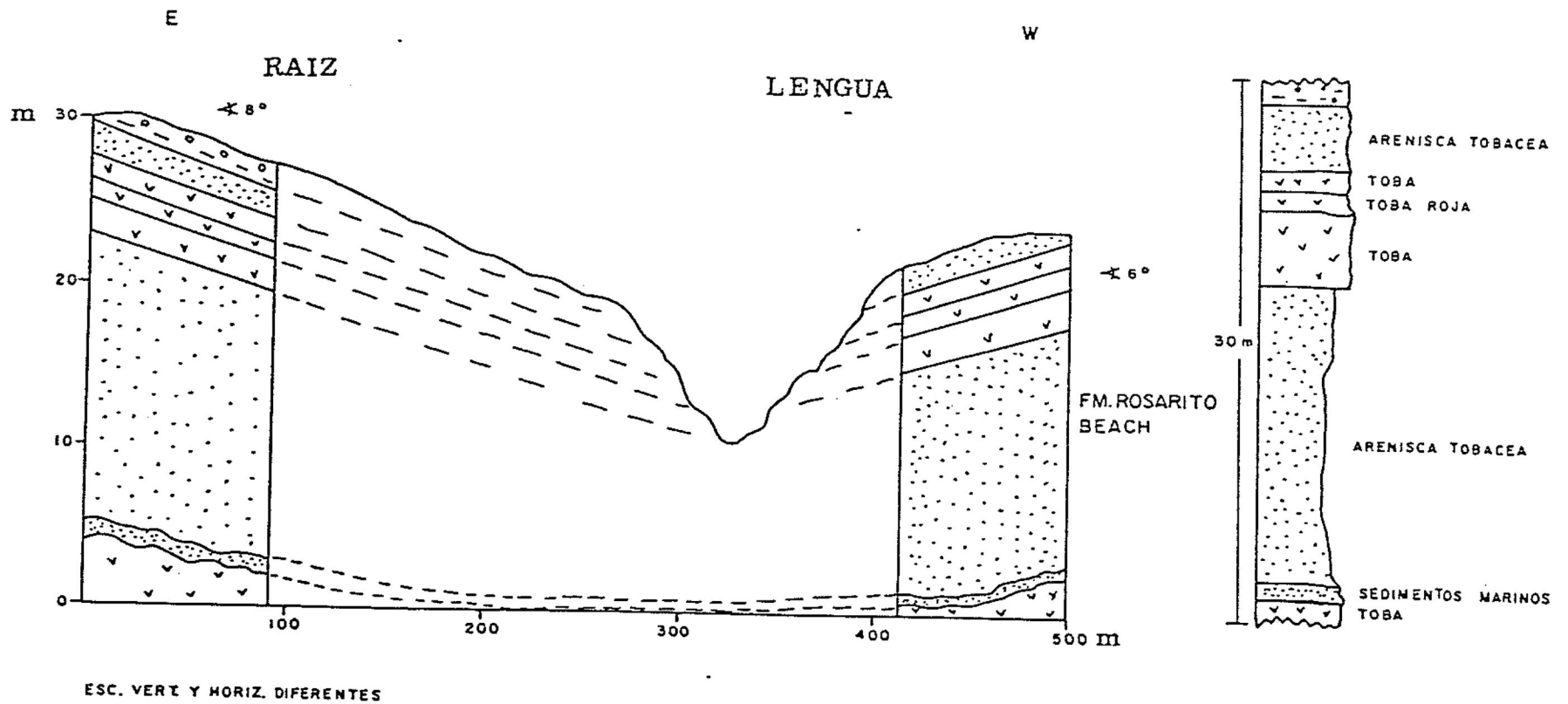


Fig. 7.- Sección transversal Arroyo Guadalupe. Correlación de los depósitos del Miembro Los Indios de la Formación Rosarito Beach en las partes de la raíz (hundimiento) y la lengua (levantamiento) del deslizamiento en rotación.

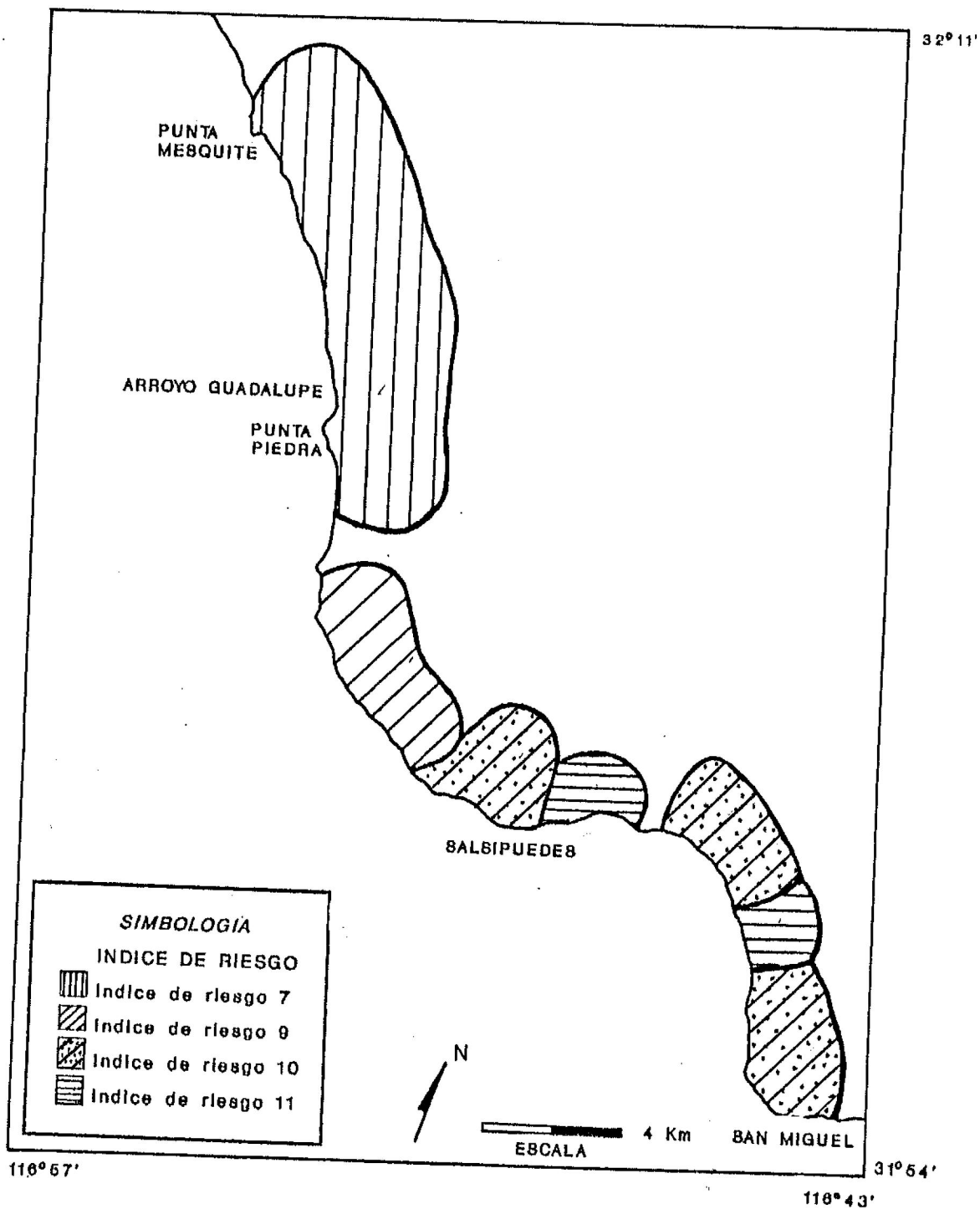


Fig. 8.- Mapa de índice de riesgo para la zona de estudio, los valores obtenidos muestran alta inestabilidad por deslizamiento.

obtuvo por la relación que se encontró entre una distancia horizontal y las alturas de las curvas de nivel en un mapa topográfico para cada agrupación de deslizamientos, encontrándose que la mayoría de grupos caen en 0.0 a 20% de pendiente, asignándose un valor 1 de inestabilidad, en tanto que dos grupos de deslizamientos se presentaron en el rango de 20 a 50%, dándose un valor de 2 (tabla I).

A la coincidencia se le adjudicó un valor 3 de inestabilidad para todos los grupos, ya que existe una diferencia menor a 22 grados entre el echado de las rocas de la Formación Rosario (4 a 14 grados) y la pendiente del terreno (6 a 21 grados). La inestabilidad por litología también tomó un valor de 3 (tabla I), debido a que el contacto entre las Formaciones Rosario y Rosarito Beach produce un plano de debilidad.

El oleaje como agente erosivo tiene valores diferentes de 0.0 a 3 (tabla I), según la manera en que se presenta la geomorfología costera que sugieren Bale y Minch (1971). La zona anotada como "II (cantiles altos)" recibe un valor de inestabilidad de 3, las zonas "IA (cantiles bajos con playa) y IIA (cantiles altos con playa)" se asignan con el valor 2 y la zonas "IIIG (depósitos aluviales)" se toman con el valor 1 de inestabilidad por erosión debida al oleaje. Se explica que la zona de Punta Mesquite (grupo 1) aún teniendo una

Tabla I. Obtención del índice de riesgo a través de la relación de los valores asignados para cada factor que influye en la activación de los deslizamientos, con cada grupo de deslizamientos: 1 indica riesgo bajo, 2 riesgo medio y 3 riesgo alto.

	Erosión por oleaje	Pendiente del terreno	Inestabilidad de las rocas (contacto)	Coincidencia entre ángulos (pendiente y echado)	Índice riesgo
Grupo 1	0.0	1 (0-20%)	3	3 (< 22°)	7 medio
Grupo 2	2	1 (0-20%)	3	3 (< 22°)	9 alto
Grupo 3	3	1 (0-20%)	3	3 (< 22°)	10 alto
Grupo 4	3	2 (20-50%)	3	3 (< 22°)	11 alto
Grupo 5	3	1 (0-20%)	3	3 (< 22°)	10 alto
Grupo 6	3	2 (20-50%)	3	3 (< 22°)	11 alto
Grupo 7	3	1 (0-20%)	3	3 (< 22°)	10 alto

clasificación geomorfológica de "II" toma un valor de 0.0 debido a que se localizan a una distancia de la zona litoral que se considera no afectada por el oleaje. El resultado final de índice de riesgo se obtiene en base a la sumatoria de los valores que tiene cada uno de los factores que inciden en el deslizamiento, originando así zonas con índice de riesgo distintos: zonas de 7, 9, 10 y 11 (tabla I), valores de inestabilidad, estos datos aseguran que el área entre San Miguel y El Descanso B.C, es una zona en la mayoría de su área de alto riesgo siendo las más altas en Salsipuedes y al Norte de San Miguel y la menor al Norte del Arroyo Guadalupe.

VII. DISCUSIONES.

Un deslizamiento tiene como característica, una pérdida y desplomo de material en una pendiente a lo largo de una superficie curva de deslizamiento, normalmente con una regresión en rotación de la masa (Herzer; en Saxov y Nicuwenhuis, 1982). Existen también deslizamientos a lo largo de un plano geológico paralelo a la masa que se mueve, sin tener una regresión rotacional.

La mayoría de los planos de deslizamiento en el área de estudio, pertenecen a la categoría rotacional, comprobado esto, por medio de la sección levantada en el Arroyo Guadalupe (Figura 7), en donde se encuentra la parte de la raíz hundida y la parte denominada lengua levantada, la cual, representa el vasculamiento hacia atrás de la masa de roca.

Las condiciones estratigráficas del área de estudio, muestran que los Miembros de la Formación Rosarito Beach suprayacen a las unidades de la Formación Rosario, que comprenden sedimentos marinos poco consolidados inclinados hacia el Oeste (4 a 14°); ésta característica dá como resultado que la componente hacia abajo de de la fuerza del peso de los estratos de la Formación Rosarito Beach, incida de manera que las fuerzas de activación aumenten, así también lo hace la "coincidencia" entre los ángulos de inclinación de la

pendiente del terreno y el echado de las rocas de la Formación Rosario provocando que las fuerzas de resistencia se aminoren, de esta manera el contacto entre las Formaciones Rosario y Rosarito Beach, proporcionan el plano de deslizamiento, ya que tiene la característica de ser un plano de debilidad. Por ésta razón la "coincidencia" y la condición que ofrece el contacto debido a la "composición de las rocas" de la Formación Rosario, toman un valor 3 de inestabilidad.

FACTORES EXTERNOS.

A las fuerzas de activación se le pueden sumar factores externos (naturales o inducidos por el hombre), ya que estos pueden desempeñar la función de causas inmediatas (Keller, 1979). En la región estudiada, estos factores son de gran importancia, pues la combinación de ellos provocan la reactivación de los antiguos planos de deslizamiento, pudiéndose encontrar los primeros indicios de activación aún sindepositacionalmente con el Mioceno (Fm. Rosarito Beach).

Factores externos naturales.

Alta actividad de movimientos locales verticales, ocasionada por reacomodo de la corteza (Comunicación personal Pou, 1991; Ledesma y Johnson, 1991), contando entre ellos algunos sistemas de fallas y puntos sísmicos activos.

La erosión costera debida al oleaje, afecta los cantiles marinos de manera muy severa en su base (Formación Rosario) y su apoyo frontal (playa) se va deteriorando, con lo que se puede inducir entonces el deslizamiento. Esto se puede explicar asociando la geomorfología costera y la distribución de deslizamientos representado en la Figura 6, donde se encuentra que la mayoría de planos de deslizamiento se localizan en la zona que Bale y Minch (1971) anotan geomorfológicamente como II (cantiles altos), aún sin tomar en cuenta la zona Norte a Punta Piedra. La causa por la que se supone que la distribución de planos de deslizamiento es mayor en ésta zona con anotación geomorfológica "II", es el oleaje como agente erosivo, ya que aquí la presencia de una playa disipadora de energía es nula o muy pobre y el oleaje actúa directamente socavando la base del cantil.

El resto de las zonas geomorfológicas costeras descritas por Bale y Minch (1971), tienen un menor riesgo por erosión causada por el oleaje, gracias a que presentan un apoyo frontal (playa), que disminuye la fuerza de activación debida a este factor. Minch (1972) reportó que las zonas más afectadas por deslizamientos son punta San Miguel y punta Salsipuedes, debido a que no son áreas protegidas al oleaje.

La Secretaría de Obras Públicas en su estudio publicado en 1975, dió como causa de deslizamiento la

percolación de agua de lluvia, asoció a la temporada de mayor precipitación pluvial con alta actividad en los planos de deslizamiento. El presente reporte supone que esta relación es más válida debido también al oleaje de tormenta que se presenta en ésta temporada, el cual produce daño a causa de la presión hidráulica que ejerce al estrellarse contra el cantil (Komar, 1976). El mecanismo por medio del cual se activa el deslizamiento a causa del oleaje, se explica como sigue: el pie del cantil se erosiona e invierte aparentemente, se forman cursos de agua que fluyen y excavan originándose charcas, los bloques de masa se deslizan y se colocan fuera de la línea de costa (Zenkovich; en Snead, 1982). La corriente litoral se encarga de redistribuir el material.

Factores externos inducidos por el hombre.

Estos factores aumentan o disminuyen según la manera en que el hombre necesita y desee desarrollarse. La construcción de la autopista Tijuana -Ensenada, cuyo objeto primordial al construirse fué de proveer una vista panorámica (escénica) para aumentar el turismo, aceptó los riesgos que implicó su obra (Secretaría de Obras, 1975). Como consecuencia se activaron varios deslizamientos gracias al peso adicional del terraplén. La zona residencial de San Miguel (12 Km. al Norte de Ensenada), es un ejemplo de como el hombre aumenta las fuerzas de activación; después de que se reactivaron los

deslizamientos por la construcción de la carretera, en 1970 (Secretaría de Obras Públicas, 1975), se dictaminó como obra preventiva a otro impacto por deslizamiento, remover "el material inestable de la lengua del deslizamiento", lo que se logró con esto, fué todo lo contrario ya que este material actúa virtualmente como contrapeso, por esta razón y otras, el área sigue activa (Plaza Flores, 1979; Ledesma y Huerta, 1991); las otras razones que se refieren, son las construcciones habitación que aumentan la fuerza de activación hacia abajo debido al peso que ejercen sobre la masa de roca que las subyacen y los efectos que se producen por el agua de riego a los jardines, la cual aumenta la presión intersticial en los sedimentos, favoreciendo el deslizamiento. El problema en San Miguel es vigente, creando incertidumbre entre los habitantes de la villa y haciendo cada vez mas difícil el buen estado de la porción de carretera que atraviesa este lugar.

Los bancos de explotación de piedra bola (material de playa con tamaños en cantos rodados), son sitios que se distribuyen a lo largo de la porción Noroeste de Baja California, algunos de estos bancos, por ejemplo El Descanso, se encuentran dentro del área de estudio. Se considera que la actividad de explotación de piedra bola representa un riesgo potencial para la estabilidad de la línea de costa, ya que se disminuye la función amortiguadora y disipadora de energía de la playa

(Noguera y Escofet, 1991). La parte central (berma) de un banco de cantos rodados, es el lugar más explotado, del mismo modo que lo son las formas regulares en disco (Zinng, 1935) con tamaños de 2-3 y 3-5 pulgadas. Esta manera de extracción será un peligro, ya que la sobre explotación de un solo tipo de fragmento en un solo sitio, facilitará la acción erosiva del oleaje sobre el cantil.

Mapa de Riesgo

Como se puede observar en la figura 8, se tienen zonas con valores diferentes de índice de riesgo, siendo estos de 7, 9, 10 y 11. Los resultados muestran que la zona entre San Miguel y El Descanso se puede clasificar como de alto riesgo, en la mayoría de su área. La zona 7 de índice de riesgo es comprendida dentro de un índice de riesgo medio; los factores que dan este valor son la pendiente baja del terreno y la lejanía de los planos de deslizamiento con respecto a la acción del oleaje. Los valores de 10 y 11 de índice de riesgo, que son los más altos, deben sus datos al oleaje como agente erosivo y en el caso de las zonas con valor 11 (El Mirador y al Norte de San Miguel), a la pendiente de terreno del 23 %, en el caso de el área con valor 9, influyen el oleaje como agente erosivo.

La combinación de erosión debida al oleaje alta con pendiente media dan un valor de índice de riesgo 11, la erosión alta y pendiente baja tienen un valor de índice

de riesgo 10, la pendiente baja y erosión media dan un valor 9 de índice de riesgo y por último, erosión nula y pendiente baja dan el valor de 7. Es importante hacer notar que el índice de riesgo no está referido a asentamientos humanos ni factores externos inducidos por el hombre, si así lo fuera, los valores cambiarían aumentando o disminuyendo según la distribución de los desarrollos humanos en el área de estudio.

VII. RECOMENDACIONES

Siendo ésta parte de la zona costera, un lugar con gran impulso económico y turístico, es de vital importancia tomar en cuenta la existencia de los planos de deslizamiento, ya que la infraestructura a realizar y realizada para dar este desarrollo está en un peligro latente.

El impacto del movimiento de masas de tierra sobre la vida humana, es casi imposible de cuantificar (Sidle et al., 1986). Sin embargo, se pueden mencionar algunos de los daños económicos que se originan a partir de los deslizamientos: Costos y daños sobre edificios y casas habitación, tuberías de agua y cañería rotas, desplazamiento de caminos y avenidas, daño al alumbrado público, daño a tierras de reserva.

Se originan también costos por prevención como reubicación de caminos, construcción de estructuras protectoras y costos por depreciación del terreno en riesgo y por adquisición de servicios de emergencia (Sidle et al., 1986).

Los deslizamientos en la zona costera, pueden también tener alguna influencia sobre la ecología marina, esto es, la sedimentación del material vertido pudiera contribuir al deterioro del hábitat de las pesquerías y de la calidad del agua, obstruyendo el paso de la luz. (Sidle et al., 1986).

Se han analizado ya, las causas geológicas, de

procesos litorales e inducidas por el hombre, que aumentan las fuerzas de activación e inducen un deslizamiento. Para prevenir y controlar este tipo de movimiento de tierras, es necesario tener una buena técnica de ingeniería que estudie el mecanismo y la forma en que actúan las fuerzas de activación y de resistencia, en campos como mecánica de suelos; de éste modo se realiza el análisis de equilibrio límite de pendiente (Morgenstern; en Sidle et al., 1986), el cual ayuda a encontrar un factor medio de seguridad que defina la razón entre los esfuerzos de resistencia requeridos para encontrar una pendiente en un estado de equilibrio límite. Todo esto conjugado con estudios profundos de procesos litorales y geología estructural.

Lo anterior se refiere al estudio de las causas que llevan a efecto un deslizamiento, no olvidar que el hombre y el alcance que este tiene pueden aumentar o disminuir los riesgos, dependiendo de el grado de conocimiento que tenga. Los factores externos inducidos por el hombre, como es la construcción de casas habitación y edificios aumentan las fuerzas de activación y la inestabilidad debido a la remoción del soporte por excavación, concentración de agua en un solo sitio o introducción de agua adicional removiendo la vegetación (Sidle et al., 1986), el control para prevenir un deslizamiento por éstos efectos puede contemplar métodos eficaces de drenaje, como dispersión

del agua superficial, construcción de trincheras de drenaje y pozos profundos que traspasen los planos de deslizamiento en su componente horizontal.

La explotación de piedra bola, también es un factor externo inducido por el hombre, ya que disminuye la capacidad amortiguadora de la playa, en este renglón, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), no ha proporcionado criterios a nivel normativo en dónde se establezca el límite de explotación de un banco, esto se podría lograr haciendo estudios sobre el perfil de playa límite que disipe la energía del oleaje sin que el cantil se afecte.

Se pueden efectuar también construcciones de protección como muros y paredes, y desarrollo de obras en donde se realice el balance de material removido. Esta última acción deberá ser desarrollada desde un punto de vista ingenieril así como oceanográfico, para áreas como la que cubren el presente trabajo.

Se debe realizar también un mapa de estabilidad en dónde además de que intervengan los factores en éste trabajo presentados en índice de riesgo, se contemplen asentamientos humanos y potencialidad del terreno a ser desarrollado.

IX. CONCLUSIONES.

Las causas que producen los deslizamientos en la zona costera entre San Miguel y El Descanso, al Noroeste de la península de B.C., México, son el plano de debilidad que proporciona el contacto entre las Formaciones Rosario y Rosarito Beach que a su vez funge como superficie de deslizamiento; la coincidencia entre los ángulos de pendiente del terreno y los echados de las capas de la Formación Rosario; el oleaje como agente erosivo; la pendiente del terreno y factores externos inducidos por el hombre.

La clasificación de la mayoría de los deslizamientos encontrados es de tipo rotacional.

El mapa de índices de riesgo sugiere que la zona entre San Miguel y El Descanso, en su mayoría es de alto riesgo por deslizamiento, encontrándose valores de 7, 9, 10 y 11 de inestabilidad. Siendo las zonas de mayor riesgo el lugar conocido como el Mirador en Punta Salsipuedes y al Norte de San Miguel, la zona de menor riesgo se encuentra al Norte del Arroyo Guadalupe.

Las alternativas de prevención sugeridas consisten en un control adecuado a los factores externos producidos por el hombre como distribución de asentamientos humanos, construcción de estructuras de protección, legislación de explotación de piedra bola y elaboración de mapas de estabilidad.

X. BIBLIOGRAFIA

- Ashby, J.R. (1989). Miocene Tectonostratigraphic History of the Rosarito Beach Basin, Northwestern Baja California: Implications for the Early Tectonic Development of the Southern California Continental Borderland. Master's Thesis. University of California.
- Bale, J. B. and J. A. Minch. (1971). Coastal and Shore Landforms of Baja California del Norte, Mexico. Technical Report 0-71-2. Naval Research. University of California.
- Cadena Lucero, J. (1986). Provincias de Minerales Pesados Comprendidos entre la Localidad Punta Morro y Playas de Tijuana. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada Baja California. Mex.
- Cendrero Díaz de Teran, J. R., O. Fernández, R. Garrote, J. R. González Lastra, I. Inoriza, G. Lutting, J. Otamendi, M. Pérez, y A. Serrano, (1987). Establecimiento de Tipos de Inestabilidad de Ladera en Función de Parámetros Objetivos Aplicación a Escala 1:5,000 a una Area de Vizcaya. Geología Ambiental y Ordenamiento del Territorio. Comunicaciones, II: 1035-1051.
- Decourt, P. (1978). Geología. Reverté. España. pp 423.
- Elizarrarás Vargas, S. (1986). Determinación de la Dirección de Transporte Litoral Por Medio de Minerales Trazadores entre Punta Los Buenos y Playas de Rosarito, B.C. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. Ensenada, B.C., Mex.
- Holmes, A. and D. Holmes. (1979). Geología Física. Omega. España. pp 512.
- Kennett, J. (1982). Marine Geology. Prentice Hall Inc. New Jersey. pp 810.

Keller, A. (1979). Environmental Geology. Charles E. Merrill Publishing Co. pp 548.

Komar, P. (1976). Beach Processes and Sedimentation. Prentice Hall. pp 429.

Ledesma Vázquez, J. y D. Huerta Santana. (1991). Derrumbes y Deslizamientos en la Zona Costera Debido a la Erosión de los Cantiles. Resúmenes del I Congreso Latinoamericano de la Zona Costera. U.A.B.C. F.C.M. I.I.O. Ensenada, B.C. Mex.

Ledesma, J. and M. Johnson. (1991). Late Cretaceous Rocky Shorelines in Baja California. Resúmenes del GSA Annual Meeting, San Diego. Octubre.

Legget, R. and P. Karrow. (1986). Geología aplicada a la Ingeniería Civil. MacGraw-Hill. México.

Marlmolejo Lara, M. (1985). Control de Azolvamiento en una Obra de Toma de Agua Marina. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. Ensenada, B.C., Mex.

Minch, J.A., K.C. Shulte, G. Hoffman. (1970). A Middle Miocene Age for Rosarito Beach Formation in Northwestern in Baja, Mex. Geological Society of America Bulletin. 81(10):3149-3154.

Minch, J. (1972). Landsliding and the Effects of Resort Development Between Tijuana and Ensenada B.C. Mex. Technical Report No 0-72-1 Department of Geography University of California.

Noguera, J. y A. Escofet. (1991). Explotación de Cantos Rodados y su Función Protectora de la Línea de Costa, Un Estudio Experimental en Baja California, Mex. Resúmenes del primer Congreso Latinoamericano de la Zona Costera. F.C.M-I.I.O. Ensenada, Baja California, Mex.

- Ortega Rivera, A. (1989). Oleaje, Estimación del Angulo y Sentido de Aproximación. Su Importancia en la Administración de la Zona Costera. Tesina de Especialidad Admon. Recursos Marinos. F.C.M. U.A.B.C. Ensenada, B.C.
- Plaza Flores, J. F. (1979). Cambios en la Playa San Miguel Debidos a un Deslizamiento y la Adición de Nuevo Material vertido a la Línea de Costa. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. Ensenada, B.C., Mex.
- Saxov, S. and J.K. Nicuwenhuis. (1982). Marine Slide and Other Mass Movements. Plenum Press. New York. pp 353.
- Secretaría de Marina. (1974). Estudio Geográfico de la Región de Ensenada. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo.
- Secretaría de Obras Públicas. (1975). Deslizamientos en la Autopista Tijuana-Ensenada, México. Secretaría de Obras Públicas 1a Ed.
- Sidle, R., A. J. Pearce y C. O'Loughiln. (1986). Slope Stability and Land Use. American Geophysical Union. Washington. pp 140.
- Snead, R. (1982). Coastal Landforms and Surface Features. Hutchinson Publishing Co. Pennsylvania. pp 247.
- Terzaghi, K. y R. Peck. (1980). Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. El Ateneo. España. pp 681.
- Yeo, K. R. (1981). The Stratigraphy and Sedimentology of Upper Cretaceous Sediments of Southwesterns California and Baja California, Mex. Thesis Ph.D. Rice University. Houston, Tx.
- Zingg, T. (1935). Beitrage Zur Shcotteranalyse: Min. Petrog. Mitt. Schweiz. V.15 pp 39-14. en alemán.