

**UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
OCEANOLOGICAS**

**MODELO DE RIESGO A LA EROSIÓN COSTERA  
POR OLEAJE DE TORMENTA:  
CASO ESTUDIO PLAYAS DE ROSARITO, BAJA  
CALIFORNIA, MÉXICO.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA**

**PRESENTA**

**ERNESTO TONATIUH MENDOZA PONCE**

**ENSENADA BAJA CALIFORNIA, OCTUBRE 2001**

Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta:  
Caso estudio Playas de Rosarito, Baja California, México.

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA

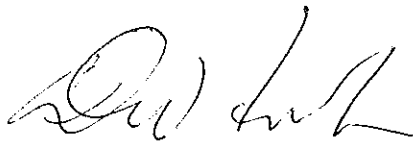
ERNESTO TONATIUH MENDOZA PONCE

APROBADA POR



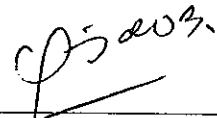
---

PRESIDENTE DEL JURADO  
M.C. JOSE LUIS FERMAN ALMADA



---

SINODAL PROPIETARIO  
DR. DAVID W. FISCHER



---

SINODAL PROPIETARIO  
M.C. LUIS A. GALINDO BECT



---

SINODAL PROPIETARIO  
M.C. RIGOBERTO GUARDADO FRANCE

## Resumen

En este trabajo se presenta un modelo capaz de describir el riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta para la zona de Rosarito Baja California, este modelo está en función de los parámetros de peligrosidad y vulnerabilidad. Previo a esto se hizo un análisis de refracción de oleaje para determinar regiones de convergencia de energía y bancos de niveles, los cuales sirvieron para establecer perfiles de playa de los que se obtuvieron los parámetros físicos que constituyen la peligrosidad como; el ancho de playa, la pendiente de la playa y el tamaño de grano. Los parámetros antropogénicos que determinan la vulnerabilidad se establecieron por la densidad de uso de suelo. Para fines de calibración se elaboraron dos modelos, el primer modelo consistió en seguir las ecuaciones que definen cada uno de los parámetros, de la experiencia del primer modelo se establecieron correcciones y una normalización de los datos para el segundo modelo. Los resultados del segundo modelo incluyen una clasificación de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo en términos de muy alto, alto, medio y bajo. De este análisis se consideró que el segundo modelo reflejó de una manera más fiel el proceso de erosión y la peligrosidad la vulnerabilidad y como consecuencia el riesgo en la zona de playas arenosas en Rosarito Baja California. Los resultados del segundo modelo se integraron a través de un sistema de información geográfica de esta manera, el modelo puede presentarse con los diferentes elementos que constituyen el riesgo en forma de mapas. Estos mapas aportan una instancia en la toma de decisiones sustentados en un análisis cuantitativo que se convierte en una herramienta fácilmente comprensible para la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo urbano costero.

## AGRADECIMIENTOS

Al M. C. José Luis Fermán por la realización y dirección de este trabajo.  
Al Dr. David Fischer por su interés experiencia y constantes observaciones.  
Al M.C. Luis Galindo por su dedicación para este trabajo  
Al M.C. Rigoberto Guardado por su colaboración y comentarios  
A CONACYT  
A Roman Lizarraga Arciniega por todo su apoyo y por ser mi amigo  
A Roberto Pérez por la ayuda en el manejo de las imágenes  
A Conchita Arredondo por su ayuda en cuestiones de uso de suelo  
A Juan Carlos Ramirez, Georges Seingier y Alejandro García por su ayuda en todo tipo de menesteres  
A Eduardo Gil y Alfredo Chee por la ayuda en los perfiles y datos de oleaje  
A Paco Ocampo y Sergio Ramos por su ayuda con los datos de oleaje  
A Mario Marmolejo por los datos de oleaje  
A Ana Maria Escofet por sus comentarios  
A Carlos Torres por la refracción  
A Rafa Bermudez por sus comentarios en la refracción  
A Cristian Appendini por todas las ideas que comentamos  
A Alejandro Monti tambien por las ideas  
A Alejandro Hinojosa por las imágenes  
A Walter Daesle por el análisis de sedimentos  
A Arturo Siqueiros por su ayuda con el analizador de partículas  
A Rodolfo Silva Casarin del II de la UNAM  
A Jorge Lopez, Diego de Dios Raciél, Erick Rivera, Andres Ortinez y Andres Jimenez por los perfiles de playa  
A mi familia  
A Victoria Ponce y Ernesto Mendoza  
A Rebecka y Lyssette Mendoza  
A Olga Lingard 'principalmente por que la quiero mucho'  
A Zachary Kain por su devoción al mar y ser buen amigo  
A Leonardo Inclan por ser buen compadre  
A los tíos Leonardo Morales y Guadalupe Gonzalez, los primos David y Nayeli Morales  
A "master"Ron por rescatar el perdido arte de la conversación y por las escapadas de arte y playa en Laguna Beach, tambien a Gregorio Kain.  
A Jose Luis Durand, Cristian Mackay y Loreli Galvan por inducirme al vino.  
A Juan Rudametkin y Tania por los desvelos tratando de componer el mundo escuchando música  
A Gildardo Rojo por las veleadas en el Kaima Nu  
A Judith Morales por apoyarme desde lejos pero siempre  
A Lucia Bunge Ale Prieto y Lydia Ladah por entronas y luchonas.  
A mis compañeros y compañeras de la maestría, Nancy, Monica, Vero, Alfredo, Arturo, Raul, Diego, Julieta.  
Gracias infinitas a todo lo que enriquece mi vida

## Indice

Lista de Tablas.....	VI
Lista de Figuras .....	VII
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	4
III. Objetivo.....	12
IV. Area de Estudio.....	13
IV.1 Descripción del área de estudio.....	14
V. Metodología.....	21
V.1 Refracción.....	21
V.2 MORECOT.....	22
V.2.1 Peligrosidad.....	23
V.2.2 Vulnerabilidad.....	28
V.2.3 Riesgo.....	29
V.2.4 Calibración del modelo .....	30
V.2.4.1 Modelo 1.....	30
V.2.4.2 Modelo 2.....	32
V.3 Sistema de Información Geográfica.....	36
VI. Resultados .....	39
VI.1 Refracción.....	39
VI.2 MORECOT.....	40
VI.2.1 Modelo 1.....	40
VI.2.2 Modelo 2.....	46
V.3 Sistema de Información Geográfica.....	51

VII Discusiones.....	57
VII.1 Modelo 1.....	57
VII.2 Modelo 2.....	60
VII.3 Modelo 1 vs Modelo2.....	62
VII.4 SIG.....	63
VIII Conclusiones .....	64
IX Literatura Citada.....	66
Anexo I.....	74
Anexo II.....	83

## Lista de Tablas

Tabla I. Daño y Costo aproximado de limpieza de un evento erosivo en 1998 en locaciones de California E.U.A.....	5
Tabla II Fechas de oleaje implementado en el modelo .....	24
Tabla III Perfiles promedio implementados en el modelo .....	26
Tabla IV Tipo y densidad de uso de suelo.....	29
Tabla V Clasificación de riesgo .....	35
Tabla VI Coordenadas de localización de Bancos de Nivel y características morfológicas.....	40
Tabla VII Datos de Entrada en la prueba parcial de peligrosidad.....	40
Tabla VIII. Datos de entrada en la prueba absoluta de peligrosidad.....	43
Tabla IX. Variación de peso de los elementos de peligrosidad.....	46

## Lista de Figuras

Figura 1 Area de Estudio Playas de Rosarito Baja California.....	13
Figura 2 Carta litológica del área de estudio.....	16
Figura 3 Diagrama para ilustrar los pasos en la metodología.....	21
Figura 4 Diagrama de sistemas para ilustrar el SIG.....	36
Figura 5 Integración de Mapas.....	38
Figura 6 Refracción de oleaje y localización de Bancos de Nivel.....	39
Figura 7 Prueba Parcial de Peligrosidad utilizando el BN2.....	41
Figura 8 Prueba parcial de peligrosidad utilizando el BN6.....	41
Figura 9 Prueba absoluta de peligrosidad utilizando BN2 y BN6.....	42
Figura 10 Prueba de peligrosidad utilizando todos los Bancos de nivel modelo 1.....	43
Figura 11 Vulnerabilidad modelo 1 .....	44

Figura 12 Riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta modelo 1.....	45
Figura 13 Prueba de sensibilidad de Peligrosidad.....	46
Figura 14 Peligrosidad modelo 2.....	48
Figura 15 Vulnerabilidad modelo 2 .....	49
Figura 16 Riesgo (MORECOT) modelo 2 .....	50
Figura 17 Mapa de peligrosidad en Verano de 1998 en Rosarito Baja California .....	52
Figura 18 Mapa de peligrosidad en Invierno de 1998 en Rosarito Baja California .....	53
Figura 19 Mapa de vulnerabilidad y tipo de playa utilizado en el modelo 2 en la parte norte de Rosarito B.C.....	54
Figura 20 Mapa de vulnerabilidad y tipo de playa utilizado en el modelo 2 en la parte sur de Rosarito B.C.....	55
Figura 21 Mapa de riesgo (MORECOT) utilizando el modelo 2 en Rosarito B.C.....	56

## I. Introducción

Aproximadamente dos tercios de la población mundial (3.5 billones) vive dentro de la franja de 100 km de la costa y dependen de alguna manera de este hábitat para cuestiones alimenticias, habitacionales, transportación y de recreación entre otras (El-Sabh *et al*, 1998), en el caso de México se observa una firme tendencia al crecimiento en la región costera, ejemplo de esto es la costa del Pacífico que en 1970 tenía una población de 5.6 millones de personas y para 1990 esta población se incrementó a 10.3 millones de personas (Cabrera-Acevedo, 1993).

Este crecimiento en la población y las presiones económicas han transformado la zona costera en una serie de asentamientos urbanos e industriales de alta densidad, lo cual da lugar a conflictos entre propietarios privados, jurisdicción política, derechos públicos, derechos privados, entre actividades humanas y procesos costeros naturales como el caso de la erosión. Esto es evidente en zonas donde ha sido afectada la playa y la infraestructura aledaña como el caso de Cancún en 1988 con el paso del huracán Gilberto (Silva Casarín, 1997) y la zona de Playas de Tijuana en 1997 por oleaje de tormenta (Lazcano-Venegas, 1997).

El proceso de erosión en las playas en si es la disminución del material en el sistema (Bird, 1996). La playa ancha se ve reducida a una franja angosta de arena y en los cantiles excava la base causando que la parte superior se colapse, destruyendo infraestructura pública como carreteras y drenaje e infraestructura privada como

residencias y edificios (Lazcano-Venegas, 1997., Komar y Shih, 1993., Appendini y Lizarraga Arciniega, 1998., Benumof y Griggs, 1999., Mendoza, 1999)

La erosión costera es un proceso físico complejo que involucra factores tanto naturales como inducidos por el hombre. Los factores naturales incluyen algunas variables como la fuente y depósitos de arena; cambios relativos en el nivel del mar, características geológicas de la costa, tamaño, densidad y forma de la arena, dunas, ancho de playa, barras de arena, el efecto del oleaje, corrientes, mareas, vientos, el clima que modula alguno de estos factores y la batimetría de la zona fuera de la costa. La intervención humana altera estos procesos a través de acciones como el dragado, construcción de muelles, escolleras, espigones, construcción de muros, trampas para sedimento como las presas y traspaso de arena (National Research Council, 1990) sin embargo, si estas presentan un mal diseño, están mal construidas o mantenidas, pueden ser excavadas o incapacitadas por la constante erosión.

Estos cambios subsecuentes a través del impacto antropogénico y la naturaleza, ha llevado al hombre a elaborar herramientas de cálculo, modelos y sistemas de información geográfica (SIG) para interpretar, analizar o cuantificar los posibles efectos de estos cambios. Estas herramientas son capaces de predecir la peligrosidad y zonas de riesgo en la costa causado por factores físicos (Greeve *et al*, 2000., Pethick y Crooks 2000).

En este trabajo se emplea un modelo para determinar el riesgo a la erosión costera a partir de un concepto integral que incorpora los elementos naturales y antropogénicos que intervienen en el proceso de erosión. Este se aplica en la región conocida como Playas de Rosarito, Baja California, en donde se especifican áreas con riesgo a la erosión por oleaje de tormentas, asimismo el modelo esta diseñado para asistir en la descripción costera a través de un SIG, la aportación cuantitativa de este análisis puede tomarse como una componente esencial en el proceso de toma de decisiones relacionado con el desarrollo urbano costero.

## II Antecedentes

### Erosión Costera

En las últimas décadas el proceso de erosión costera ha comenzado a ser observado desde la perspectiva humana como un problema ambiental, debido a que cada vez un número mayor de personas viven en la costa y se interponen o modifican el camino de los procesos naturales (Komar, 2000). De un total de 127 naciones que tienen zonas costeras con playas arenosas, más del 70% presentan problemas de erosión costera (Bird, 1987). La erosión costera es probablemente uno de los peligros geológicos más extendidos del mundo (Cendrero y Charlier, 1990) y ha sido considerada por las naciones costeras como uno de los cinco riesgos más importantes (Sorensen *et al.*, 1992). Los problemas de erosión costera han sido extensamente estudiados y descritos por diferentes autores (Clark, 1996., Coast of California Storm and Tidal Wave study, 1991., U.S. Army Corps of Engineers, 1984). En Estados Unidos de Norteamérica, Forbes y Liberman (1996) estimaron los costos de la erosión costera en 700 millones de dólares al año. Asimismo los gastos en el control de erosión para 1998 en el estado de California en Estados Unidos, promedió \$12 millones de dólares y este continúa creciendo (Colgan, 1998). En la tabla I se presentan los daños causados por un evento erosivo en 1988 en algunas localidades costeras del estado de California.

Tabla 1 Daño y costo aproximado de limpieza de un evento erosivo en 1988 en locaciones de California

Locación	Daño (dólares)
Seal Beach	25,000
Huntington Beach	4,500,000
Pacific Coast Highway	250,000
Laguna Beach	1,150,000
San Diego	6,700,000

Fischer (1985) propuso un marco general para manejo de la zona costera, en el que se incluye un esquema apropiado para lidiar con la erosión considerando criterios apropiados e identificando tanto a grupos afectados por el problema de la erosión, como a grupos que incrementan el riesgo y afectan el equilibrio dinámico del litoral, este esquema fue aplicado en México en la zona de Playas de Rosarito por Appendini (1998), el cual estableció la vulnerabilidad en las diferentes áreas y enfatizó que las acciones tomadas concernientes a erosión costera hasta ahora han sido tomadas solamente individualmente y después de los eventos erosivos.

### Modelaje

Una de las metas de los estudios erosivos es establecer los impactos para una mejor planeación, por ello se han generado modelos los cuales son una herramienta y sirven para predecir, analizar y representar este tipo de procesos. En 1985 Stone y Fischer presentaron un modelo de Susceptibilidad a oleaje de tormenta, nombrado "Storm Wave Susceptibility Model (SWSM)". Este modelo describe las playas con potencial de inundación y daños en el estado de Florida en E.U.A; el modelo requiere que se introduzcan variables como energía del oleaje, elevación de la duna, ancho de playa y

densidad de uso de suelo. Los resultados del modelo incluyen una clasificación de cinco términos de potencial de pérdida de playa con rangos: alto, moderadamente alto, moderado, moderadamente bajo y bajo.

En México Gomez-Morin (1994) presentó un marco conceptual y metodológico, basado en la propuesta de Fischer (1986), para la planificación ambiental del desarrollo costero en Baja California presentando factores naturales, sociales y económicos, además de analizar la aplicación de un modelo en el Corredor Turístico Tijuana Ensenada.

Appendini (1995) utilizó el modelo numérico Genesis (Generalized model for simulating shoreline change USACERC, 1991) para estimar la tasa de azolve en la obra de toma de agua de la central termoeléctrica. Encontró que en los meses de invierno cuando se presenta oleaje de mayor energía, sea susceptible a que penetre un mayor volumen de sedimentos a la obra de toma, mientras que en los meses de verano y primavera los volúmenes son menores.

Mora-Chavarria y Silva-Casarín en 1998 presentaron la metodología para el modelado de la evolución de la línea de costa utilizando la teoría de una línea (one line theory) el cual es eficaz para resolver problemas en las playas donde se ha alterado el equilibrio dinámico como consecuencia de la construcción de estructuras costeras.

El Proyecto de Erosión Costero CORINE (Queennenec, R. E., 1989) patrocinado por la comunidad europea, esta desarrollando un índice de vulnerabilidad a la erosión costera, y tiene como objetivo la localización de áreas potenciales y áreas con problemas de erosión costera tomando en consideración las características morfológicas y sedimentológicas, tendencias de la evolución de la costa (erosión, estabilidad, acreción) y la presencia o ausencia de estructuras de protección.

Gornitz y Kanciruk (1989) y Gornitz (1990) desarrollaron una base de datos de riesgos costeros a gran escala para identificar áreas de la costa de Estados Unidos en peligro de erosión e inundación a causa de un incremento en el nivel del mar. Consideraron datos de siete variables (relieve, litología, morfología costera, movimientos verticales del suelo, movimientos horizontales de la costa el rango de la marea) incorporados a un SIG. Las variables fueron asignadas con valores entre 1 y 5 de acuerdo con su vulnerabilidad relativa, siendo 5 el más vulnerable.

En el año 2000 Monti presentó un modelo conceptual que permite abordar la problemática de la erosión costera bajo el marco teórico de los indicadores ambientales. El modelo vincula los conceptos de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos con los factores biofísicos, geológicos y atributos antropogénicos que condicionan la erosión costera. A partir del modelo planteado se definen los conceptos de geoindicador de

peligrosidad de erosión e indicador de vulnerabilidad física de los elementos expuestos al peligro.

Greeve *et al* (2000) aplicó un SIG en el que se cuantifica el Riesgo en función de la peligrosidad y vulnerabilidad con respecto al tiempo y este es expresado en términos monetarios para las playas de Sydney Australia, el estudio se determinó utilizando información ya existente, como propiedad o información de peligrosidad.

En Estados Unidos a partir del 2000 y hasta la fecha se esta cuantificando la erosión mediante el programa National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise (Thieler y Hammar-Klose, 2000) a través de un índice de vulnerabilidad costera. Las áreas están asignadas con un riesgo desde bajo a muy alto, y está basado en variables físicas que contribuyen al cambio costero como son la geomorfología, tasas de erosión y acreción (m/año), pendiente de la playa (porcentaje), tasa del incremento del nivel del mar (mm/año), rango medio de marea (m), y altura media del oleaje (m).

De los modelos anteriores surgen tres conceptos interrelacionados, peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.

#### Peligrosidad

Según UNDRO (1979) la amenaza o peligro, corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso en cierto periodo de tiempo y en un

sitio dado. Cendrero (1997) siguiendo con esta idea, considera a la amenaza o el peligro como la probabilidad de que en una zona se vea afectada por una fase de un determinado proceso, la cual puede ser potencialmente peligrosa para el hombre. En este sentido Romero y Maskrey (1993) asocian el peligro con los fenómenos naturales a aspectos tales como permanencia y probabilidad de ocurrencia del fenómeno y extensión del impacto. Cardona (1993) añade a esto la componente de la posibilidad de que el peligro pueda ser provocado por el hombre, esto es, el peligro es un factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes o el medio ambiente.

### Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es una componente del riesgo de carácter social y hace referencia a la incapacidad de una comunidad para absorber mediante el auto ajuste los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente (Wilches-Chaux, 1993). En general ser vulnerable a un fenómeno natural es poseer una predisposición o ser susceptible, tanto un sujeto o un grupo de elementos antropogénicos a sufrir daño. El mismo puede ser expresado como el grado de pérdida de los elementos o como una dificultad de recuperarse del daño, ante un evento natural peligroso (UNDRO, 1979, Cardona, 1993). Wilches-Chaux (1993) sostiene que el carácter implícito en la definición de la

vulnerabilidad da lugar a la interacción de una serie de factores y características, internas y externas, que convergen en una comunidad en particular. La vulnerabilidad global es el resultado de la integración de diversos campos del conocimiento. Cada uno de estos campos tiene asociada un tipo de vulnerabilidad específica: económica, social y política.

### Riesgo

Wilches-Chaux (1993) relaciona el concepto de riesgo al del fenómeno natural siempre y cuando el fenómeno se manifieste en un sitio ocupado por una comunidad. Cendrero (1997) se refiere al riesgo como la posibilidad de que se produzcan daños para las personas y sus bienes, el cual depende no solo del proceso sino el grado y tipo de ocupación de la superficie terrestre por parte de las comunidades humanas.

### Relación Peligrosidad – Vulnerabilidad – Riesgo

La integración de estos tres elementos en una expresión se sustenta en la relación conceptual de riesgos que establece Cardona (1993):

$$R = f(P, V)$$

R = Riesgo

P = Peligro

V = Vulnerabilidad

En donde el riesgo está en función de la peligrosidad y la vulnerabilidad

## Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Históricamente, las relaciones espaciales de la tierra, sus características, y todas las estructuras culturales y fronteras impuestas en ella, han sido retratadas a través de mapas impresos. Los mapas han sido y continuaran siendo, herramientas importantes para guardar y portar información. Asimismo los mapas han presentado al usuario grandes limitaciones, en particular aquellas que resultan de la necesidad de asociar información desplegada en mapas preparados por separado (Ripple, 1986). Además, el valor del mapa impreso se minimiza con el tiempo al cambiar el suelo y su uso actual. Estas tasas han incrementado con el crecimiento de la población y de la tecnología. Actualmente es posible atacar este problema con las capacidades de las computadoras y programas que manejan información geográfica. Los SIG en sí son un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos espacio-referenciados, así como una serie de operadores para trabajar con los datos (Star y Estes, 1990). Esta herramienta es ideal para conducir análisis espaciales interactivos a través de múltiples escalas para la comprensión de los procesos y captura de las propiedades del área de estudio para aplicar los modelos en mapas temáticos innovadores o producir bases de datos de regiones en multicapas.

### III Objetivo

Establecer un Modelo Empírico de Riesgo a la Erosión en la zona Costera, a partir de la integración de parámetros físicos y antropogénicos y aplicarlo en la región de Playas de Rosarito Baja California.

#### Objetivos específicos

- Desarrollar un modelo empírico a partir de la Peligrosidad y Vulnerabilidad para establecer el Riesgo a la erosión por oleaje de tormenta en la región costera de Rosarito Baja California.
- Integrar el modelo a través de un Sistema de Información Geográfica.

## VI. Area de Estudio

Rosarito Baja California se localiza en la costa noroeste de Baja California al sur de la ciudad de Tijuana, entre  $32^{\circ} 20'$  y  $32^{\circ} 230'$  latitud norte y  $117^{\circ} 03'$  y  $117^{\circ} 05'$  longitud oeste. El área de estudio comprende desde la zona de playa arenosa al norte de la toma de agua de la central termoeléctrica, hasta la playa arenosa Rosarito Shores al extremo sur de la ciudad de Rosarito (Figura 1).

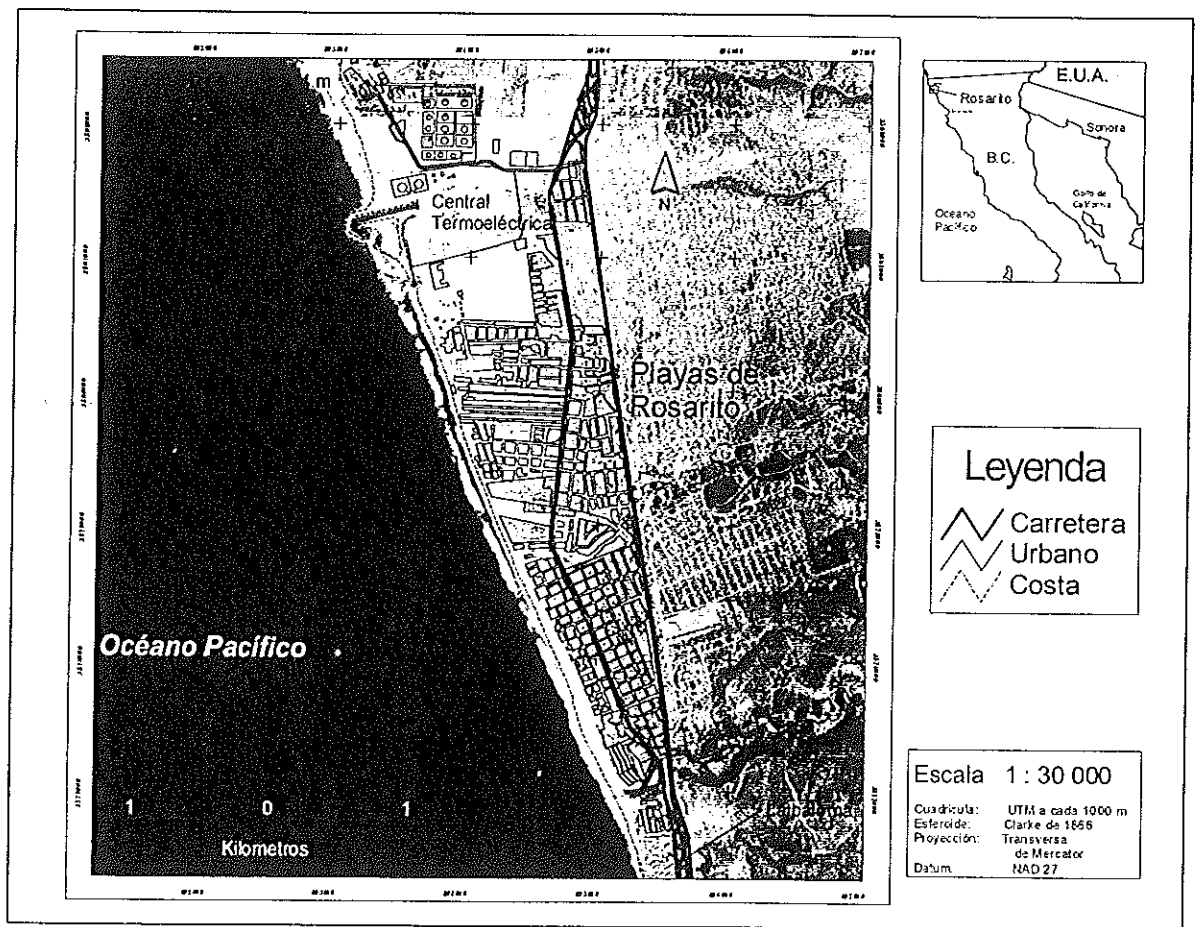


Figura 1 Area de Estudio Playas de Rosarito Baja California

#### IV.1 Descripción del área de estudio

##### Medio Físico Natural

##### Clima

El corredor se caracteriza por poseer un clima predominante de tipo mediterráneo (templado, seco y extremo). El régimen de lluvias es invernal, presentando una precipitación media anual de 250 mm, con una temperatura promedio de 16° C, una mínima de 2°C y una máxima de 35°C. La humedad relativa promedio es de 78.5%.

##### Geología y Geomorfología

##### Características litológicas del área

El área de estudio se localiza dentro de la zona de cizallamiento del Sur de California (Southern California Shear Zone), que constituye una región tectónicamente activa entre las placas de Norteamérica y la placa del Pacífico, clasificada como una costa de colisión continental (Inman y Nordstrom, 1971).

Esta costa está en la provincia geológica del Borde Continental definida por Gastil *et al.* (1975) donde se encuentran las formaciones San Diego, Rosarito Beach, Rosarito, y Alisitos, caracterizada en la porción norte por terrazas desarrolladas en conglomerados y areniscas del antiguo delta del río Tijuana. Hacia el sur se tienen pendientes entre las mesas (mesetas) y las terrazas bajas de Playas de Tijuana, continuando con una serie de cantiles de basalto a lo largo de la línea de costa del Plioceno hace 3 Millones de años (M.A.) con presencia de cañones de gran pendiente hasta llegar a una terraza angosta del Pleistoceno tardío (1.5 M.A.).

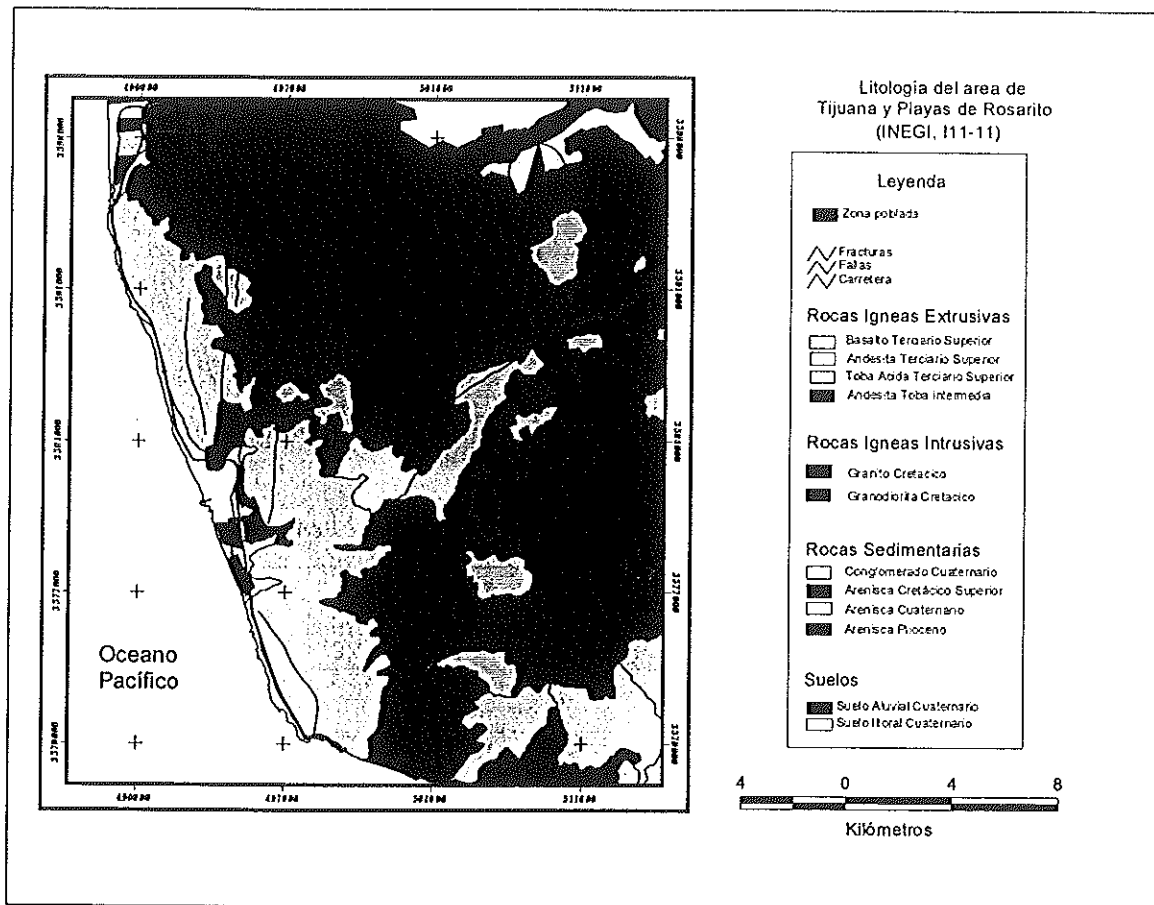


Figura 2. Carta litológica de la zona de estudio (INEGI, 1972)

### Características geomorfológicas más importantes

La geomorfología de la región fue descrita por Bale y Minch (1971) donde el rasgo costero predominante son los cantiles bajos con playa y los deltas de arroyos en la zona de cantiles. El rasgo terrestre denominado esta compuesto por terrazas estratificadas con poco relieve en las tierras bajas y valles de arroyos.

En la zona norte del área de estudio se presenta cantiles sedimentarios con una altura de 50 m, la cual disminuye hacia el sur; estos cantiles pertenecen a la formación San Diego y se componen principalmente por arenas y conglomerados. Predominan los cantiles ígneos aunque en algunos estrechos se presentan cantiles sedimentarios con alturas entre 2 y 10 m, también existen plataformas de afloramientos rocosos y cantos rodados que subyacen la arena de playa y son expuestos durante los meses de invierno. Al sur se encuentra una zona de playa baja en donde la altura promedio de la berma es de 2 metros sobre el nivel medio del mar (Appendini, 1998).

#### Características del relieve

Rosarito presenta una planicie costera estrecha con pendientes bajas menores al 4%. Flanqueada al noreste-este-sureste por lomeríos de hasta 300 m.s.n.m y pendientes mayores al 10%, entre estos se localizan afluentes que alimentan cauces principales de pequeños arroyos que desembocan al mar.

La línea de costa presenta playas arenosas con pendientes bajas menores al 4% llegando a una profundidad promedio de 2.5 m en la zona de rompiente, a partir de la cual se incrementa la profundidad y la pendiente.

#### Hidrología

El corredor queda comprendido dentro de la Región Hidrológica No 1, de acuerdo a la regionalización hidrológica elaborada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SAHR). Las corrientes estacionales y arroyos desembocan en la vertiente del Océano Pacífico y corresponden a la cuenca hidrológica del Río Tijuana-Arroyo

Mancadero (1C) con seis subcuencas intermedias. Debido a la escasa precipitación de la región, los escurrimientos superficiales son casi nulos y la renovación de los acuíferos es lenta, motivo por el cual, el agua subterránea se considera como un recurso no renovable.

## Oceanografía

### Oleaje

El oleaje que incide en las costas de Rosarito es del mismo origen que el oleaje que arriba a las costas del sur de California y puede agruparse en 3 categorías según la zona de generación (Moffat & Nichol, 1989), estas categorías son:

#### Oleaje originado en el hemisferio norte

Por lo general se presenta en los meses de invierno y es producido por los vientos asociados a las tormentas generadas en latitudes altas (Golfo de Alaska); las tormentas subtropicales que se originan al norte de Hawai que se desplazan a latitudes medias y los vientos incidentes en la parte este del Pacífico Norte, contribuyen con oleaje que arriba a Rosarito. Este oleaje por lo general es el más energético con un periodo entre los 12 y los 21 segundos.

Oleaje originado en el hemisferio sur:

Este oleaje se genera en el Pacífico sur y el océano Indico por tormentas en latitudes altas generalmente en los meses de verano (abril- junio). Este oleaje es de menor altura que el originado en el hemisferio norte ya que la zona de generación se encuentra mas alejada de Playas de Rosarito, por lo que el oleaje de invierno es típicamente más energético.

Oleaje local:

Este oleaje se genera por las tormentas que se desplazan en la región de Playas de Rosarito, así como los fuertes gradientes de presión que inducen a vientos fuertes y brisas diurnas. No existe una buena descripción debido a la falta de datos sobre el viento local, sin embargo puede ser energético aunque no es tan dominante en la climatología del oleaje.

Mareas astronómicas

Las mareas astronómicas son cambios regulares en el nivel del mar que resultan de la fuerza de atracción gravitacional que ejercen la luna y el sol sobre el océano. Las costas de California se caracterizan por tener un régimen de mareas mixtas en el que se presentan dos mareas bajas y dos marea altas en un día lunar. También se presentan otros ciclos de mareas a diferentes escalas de tiempo, como son las mareas vivas que ocurren dos veces al mes.

## V. Metodología

Para desarrollar e implementar el modelo de riesgo a la erosión costera es necesario conocer tanto los procesos físicos como las características antropogénicas de la zona. En este sentido el diagrama de la Figura 3 muestra los pasos seguidos en este trabajo.

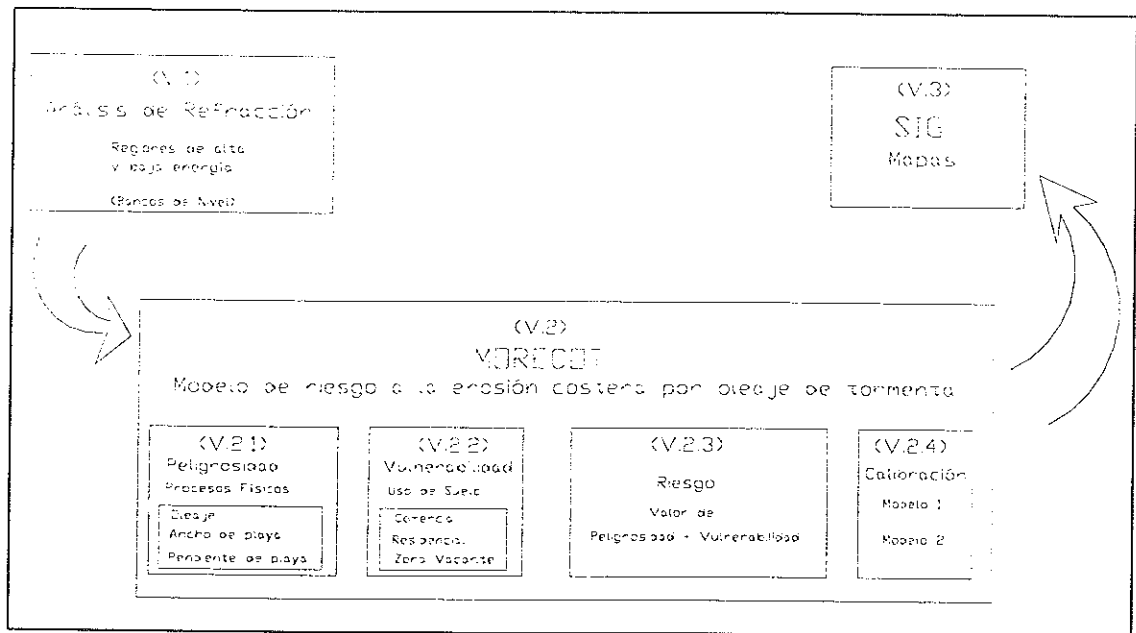


Figura 3 Diagrama para ilustrar los pasos en la metodología

### V.1-Refracción

La refracción se refiere al cambio en la dirección de la ola con el decremento de profundidad, de tal manera que las crestas tienden a ser paralelas a los contornos de profundidad; para este estudio, se utilizaron los resultados de Torres (1999) que aplicó el modelo WAVENRG desarrollado por May (1974) y modificado por Stone *et al* (1995), el cual está basado en la teoría lineal de oleaje para simular el campo de olas con una pendiente del fondo. El modelo obtuvo las alturas de oleaje en la zona cercana a la playa mediante el cálculo de refracción, someramiento y fricción con el fondo en la costa Noroeste de Baja California, durante el evento El Niño en enero de 1998.

Con esta metodología se pudo determinar las diferentes regiones de baja y alta energía (convergencia del oleaje) en la zona de estudio y así establecer los lugares para analizar los perfiles de playa a partir de los cuales se extrajeron parámetros de entrada al modelo como el ancho y pendiente de playa.

#### V.2.- Modelo de Riesgo a la Erosión Costera por Oleaje de Tormenta (MORECOT)

Se estableció el Modelo de Riesgo a la Erosión Costera por Oleaje de Tormenta (MORECOT) el cual se desarrolló a partir de una modificación del modelo SWSM propuesto por Stone y Fischer (1985):

$$SWSM = \frac{E_l}{(H^2 + X_{BW}) + (X_{SF} + X_{EW})^{0.5}} + (HR + HC + PI)^2 LMR + LMC + (R + V)^{0.5}$$

$E_l$	= Factor de energía.
$H$	= Máxima elevación de la duna
$X_{BW}$	= Ancho de playa
$X_{SF}$	= Nacho de cara de la playa
$X_{EW}$	= Ancho de barra o de isla
$P$	= Pendiente de perfil de playa
$HR$	= Residencial Alta densidad
$HC$	= Comercial Alta densidad
$PI$	= Infraestructura Pública
$LMR$	= Residencial baja /media densidad
$LMC$	= Comercial baja/media densidad
$R$	= Recreación
$V$	= Vacante

SWSM modelo de susceptibilidad a oleaje de tormenta (Stone y Fischer, 1985)

### V.2.1 Peligrosidad

La peligrosidad se refiere a los procesos físicos que pueden impactar en la erosión costera, la cual se incrementa en condiciones de oleaje de tormenta, principalmente en invierno en las costas del Pacífico; sus propiedades están dadas por la energía del oleaje, la velocidad y la dirección de aproximación y los atributos físicos de la playa los cuales juegan un papel principal para determinar la erosión resultante.

En este estudio la peligrosidad se definió mediante la siguiente ecuación:

(ecuación 1)

$$\text{Peligrosidad} = \frac{E_i}{A + T_s + P}$$

$E_i$	= Energía de oleaje
$A$	= Ancho de playa
$T_s$	= Tamaño de sedimento
$P$	= Pendiente de perfil de playa

Peligrosidad modificada a partir del SWSM de Stone y Fischer (1985)

Para determinar la peligrosidad de erosión costera, es necesario seguir una serie de pasos que permitan la definición de los datos de entrada para la aplicación de este índice.

- Oleaje

Se utilizaron los datos históricos de oleaje del sensor de presión del departamento de oceanografía de la Comisión Federal de Electricidad y el sensor de oleaje y de corriente Woodshole Instruments del Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) situados al sur de la toma de agua de la Central Termoeléctrica Benito Juárez en Rosarito Baja California (Figura 1). Ambos sensores se encuentra entre 10 y 15 m de profundidad y registran el oleaje de la altura significativa cada tres horas. A partir de esta información se hicieron promedios por día y por semana. La tabla II presenta las fechas del oleaje considerado para el modelo.

Tabla II. Fechas de oleaje implementado en el modelo

Verano (Agosto y Septiembre)	1997
Invierno (Enero y Febrero)	1998
Verano (Julio, Agosto y Septiembre)	1998
Invierno (Enero)	1999

- Energía de oleaje

A pesar de que no existe un movimiento neto del agua bajo la acción de la ola cuando las partículas regresan a su posición original, el movimiento de la ola por si sola constituye una transferencia de energía sobre la superficie del mar. El desplazamiento de la superficie de la ola lejos del condiciones estáticas o planas da a la ola una forma de energía potencial. Al mismo tiempo, el movimiento orbital del agua bajo las olas constituye una forma de energía cinética. Si se suman estas dos formas de energía, se obtiene la energía total del oleaje (Komar 1976., Lorang, 2000):

$$E = E_p + E_c$$

$$E = \frac{1}{16} \rho g H^2 + \frac{1}{16} \rho g H^2$$

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

Donde  $\rho$  = densidad del agua de mar

$g$  = gravedad

$H^2$  = altura de oleaje

- Perfiles

Se analizaron los perfiles de playa en seis puntos de control llamados Bancos de Nivel (BN) los cuales se establecieron en el límite de la playa tierra adentro, esto es al principio de la duna o al inicio de alguna construcción dentro de la playa, estos perfiles están registrados en la base de datos del estudio de Mendoza (1999). Los perfiles de playa se obtuvieron mediante la técnica de nivelación topográfica simple de segundo orden que consiste en calcular el desnivel o las diferencias de altura a lo largo de un transecto a intervalos de distancia determinados (Montes de Oca, 1985). La cota de referencia de cada uno de los puntos de control se obtuvo mediante el traslado desde una cota conocida y referida a Nivel Baja Media Inferior (NBMI) ubicada en las instalaciones de la comisión Federal de Electricidad. La diferencia de altura a lo largo del perfil se registro cada 5 m o cada que hubiera un cambio significativo en la playa, hasta donde la marea o el oleaje permitiera al estadalero ingresar al mar.

Con el propósito de obtener los datos de entrada del modelo, los perfiles se analizaron por medio de una agrupación por estación del año es decir, se consideró que el invierno comprende los meses de enero, febrero, marzo. El verano, los meses de julio, agosto y septiembre. Una vez hecha esta agrupación se obtuvo el perfil promedio para cada una de las temporadas. (Anexo I y Tabla III).

Tabla III Perfiles promedio implementados en el modelo

	BN1	BN2	BN3	BN4	BN5	BN6
(Julio, Agosto, Septiembre) Verano 1997	x					x
(Enero, Febrero, Marzo) Invierno 1998	x	x	x	x	x	x
(Julio, Agosto, Septiembre) Verano 1998	x	x	x	x	x	x
(Enero, Febrero, Marzo) Invierno 1999	x	x	x	x	x	x

- Ancho de Playa

Las playas responden a la actividad de las tormentas mediante la disipación de la energía del oleaje y por tanto protegiendo del embate de estas sobre la zona aledaña, el ancho de playa es directamente proporcional a la cantidad de energía absorbida, con el incremento de ancho se crea un amortiguador más efectivo, que reduce la vulnerabilidad de la infraestructura y provee protección adicional contra la erosión por oleaje de tormenta para las propiedades públicas y privadas, especialmente aquellas localizadas a lo largo del frente de la playa donde los riesgos de daños son mayores (Black *et al.* 1990). En este trabajo se define el ancho de playa como la distancia que existe entre el banco de nivel y la cota 0 con respecto al Nivel Bajamar Medio Inferior y se tomó a partir de los perfiles promedio de cada temporada.

- Pendiente de la playa

Existe una dependencia entre la energía del oleaje y la pendiente de la playa esto es, entre mayor la pendiente del oleaje menor la pendiente de la playa. Algunos estudios (Bascom, 1951., Wiegell, 1964., Resctor, 1954., King, 1972) concluyen que el incremento en la energía del oleaje (altura) resulta en un decremento en la pendiente. A su vez que a mayor energía mayor el tamaño de sedimento. Para determinar esta variable se consideró la siguiente ecuación :

$$\text{Tan } \beta = \text{altura del perfil/ ancho del perfil X 100}$$

- Granulometría

Existen tres factores principales que controlan la media del tamaño de sedimentos de una playa: la fuente de sedimentos, la energía del oleaje y la pendiente de la zona costera. Para determinar este factor se tomaron los datos del análisis de granulometría del estudio de Carrillo Berumen (1998) para condiciones de verano e invierno además que se colectaron muestras de septiembre del 2000, las cuales fueron llevadas al laboratorio donde se analizaron mediante el instrumento Horiba LA-910, el cual determina el tamaño de las partículas en un rango entre 0.02 a 1020  $\mu\text{m}$ , basado en la difracción Fraunhofer y Difusión Mie. De este análisis se consideró utilizar la media de cada temporada como dato de entrada para el modelo.

### V.2.2 Vulnerabilidad

La utilidad de la peligrosidad a la erosión en el manejo costero se hace mas evidente cuando se integra la vulnerabilidad. Este elemento representa la determinación de valor del uso de suelo que se encuentra a lo largo de las playas arenosas. Esto normalmente involucra el tipo de construcción, el tipo de infraestructura y servicios que existen en el área. Los edificios residenciales de alta densidad y hoteles de las mismas características representan estructuras con la mayor vulnerabilidad a presentar daño o pérdida por el oleaje debido a la erosión, los parámetros utilizados fueron establecidos por la siguiente ecuación:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{RMA} + \text{CMA} + \text{MR} + \text{MC} + \text{BR} + \text{BC} + \text{ZV}$$

(ecuación 2)

RMA = Residencial Muy Alta Densidad  
 CMA = Comercial Muy Alta Densidad  
 RA = Residencia Alta Densidad  
 CA = Comercial Alta Densidad  
 RM = Residencial Media Densidad  
 CM = Comercial Media Densidad  
 ZV = Zona Vacante

Vulnerabilidad modificada a partir del SWSM de Stone y Fischer 1985

Para determinar la vulnerabilidad, es necesario definir una serie de elementos que sirvan de entrada para definir este índice.

- Zona de influencia  
 Se utilizó el criterio de playa angosta menor a 70 m y playa ancha mayor a 70 m para definir el área de influencia de los BN.

- Tipos de uso de suelo y densidad de uso de suelo.  
Se determinaron tres diferentes uso de suelo y cuatro diferentes densidades, la clasificación se observa en la Tabla IV.

Tabla IV Tipo y densidad de uso de suelo

Habitantes / Hectárea	Comercios / Hectárea	Zona Vacante	Densidad
165- 250	41- >60	-----	Muy Alta
105 -160	21 -40	-----	Alta
1 -155	1 -20	-----	Media
-----	-----	Zona Vacante	Baja

La valoración de estos elementos se hizo a partir de los resultados del índice de peligrosidad y se define en detalle en el apartado de calibración del modelo 1.

### V.2.3 Riesgo (MORECOT)

El modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta (MORECOT) esta definido por la sumatoria de la peligrosidad y vulnerabilidad

(ecuación 3)

$$\text{MORECOT} = \text{Peligrosidad} + \text{Vulnerabilidad}$$

(Cardona 1993)

#### V.2.4.1 Calibración del modelo

Este proceso se refiere a la determinación del ajuste en los valores que permiten obtener los resultados deseados, este proceso se hace a partir de prueba y error hasta encontrar los valores de los coeficientes que mejor reflejan los parámetros de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo a la erosión costera en este sentido se corrieron dos modelos para determinar los valores que mejor reflejan los índices arriba mencionados.

##### V.2.4.1 Modelo 1

###### Peligrosidad

Los valores de este parámetro se determinaron utilizando la ecuación 1, en primer lugar se hizo una prueba parcial para el periodo de verano de 1997 a verano de 1999 utilizando el BN2 (playa angosta) y el BN6 (playa ancha).

Con esto se establecieron los valores mayores y menores de cada uno de los bancos de nivel, posteriormente se realizó una prueba absoluta la cual consistió en establecer el valor mayor y menor combinando ambos bancos de nivel para encontrar un ajuste aceptable entre una playa ancha y una angosta.

Este mismo procedimiento se aplicó utilizando todos los bancos de nivel, para el periodo de enero de 1998 hasta septiembre de 1998.

Los datos obtenidos quedan de tal manera que el valor con menor puntuación representan zonas con baja peligrosidad. Mientras que el valor más alto indica una peligrosidad muy alta. La diferencia entre estos dos valores se dividió en cuatro clases, esto con el fin de obtener una clasificación muy alta, alta, media y baja

### Vulnerabilidad

Se hizo una clasificación de los diferentes usos de suelo y su densidad dentro de la zona de influencia de cada uno de los BN. A cada uso de suelo se le asignó el mismo valor determinado en peligrosidad de manera que, un valor muy alto corresponde al valor de muy alto en la densidad y así sucesivamente (Tabla IV). Posteriormente estos valores se aplicaron a la ecuación 2. En este modelo solamente se utilizó el valor de uso de suelo mas representativo encontrado en la zona de influencia considerando el resto como cero dentro de la ecuación. Este criterio esta basado en dos características. La primera se sustenta en la escala de valores arrojados por la peligrosidad la cual es muy grande para sumar otros usos de suelo y la segunda se tomó el criterio dando prioridad a las vidas humanas.

### Riesgo

Una vez establecidos los valores de peligrosidad y vulnerabilidad, estos fueron sumados de acuerdo a la ecuación 3 para poder determinar el valor de riesgo.

De esta manera se obtuvo el valor mayor y el valor menor, la diferencia se dividió en cuatro y se clasificaron los valores de riesgo en: muy alto, alto, medio y bajo. Los valores de menor puntaje representan zonas con menor riesgo mientras que las de mayor puntaje indican un riesgo muy alto.

### V.2.4.2 Modelo 2

#### Peligrosidad

Se hizo una prueba de sensibilidad, variando el peso de los diferentes elementos dentro de la ecuación 1, de esta manera se probaron cinco variaciones de la peligrosidad. Este procedimiento permitió establecer alguna significancia entre los elementos de la playa que determinan este parámetro.

Debido a que existió una gran variación entre los valores arrojados por la peligrosidad en el modelo 1, estos se normalizaron mediante el método estadístico no paramétrico de Nijkamp y Retvield (1990).

$$B_j = (X_j - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j)$$

**B<sub>j</sub>**= valor del dato estandarizado  
**X<sub>j</sub>**= valor del dato a estandarizar  
**max X<sub>j</sub>**= valor mayor de los datos  
**min X<sub>j</sub>**= valor menor de los datos

Esto permitió una clasificación más fácil de peligrosidad la cual se asignó a una escala aritmética de clases entre 0 y 1, definida por los cuartiles .25, .50 y .75 :

0	.25	.50	.75	1
Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	

Donde 0 es la mejor condición y 1 es la peor condición de peligrosidad.

Los niveles de peligrosidad quedaron determinados de la siguiente manera:

### Bajo

En este nivel no existen elementos o atributos dentro de la playa que se vean afectados de manera significativa por el oleaje. En este sentido debe ser una playa ancha ( $>70$  m) que puede ser reducida y aun así tener la capacidad de amortiguar la incidencia del oleaje aunado a la característica de presentar una pendiente suave  $\approx 2.5$

### Medio

Nivel en el que el ancho de playa se ve reducido sin embargo este no llega a ser una playa angosta  $>70$  m y la pendiente sigue siendo suave  $\approx 2.5$

### Alto

Nivel en el que los elementos o atributos de la playa se ven afectados de cierta manera. La playa ha sido afectada de tal manera que el oleaje la ha reducido a una playa angosta  $<70$  m y presenta una mayor pendiente  $\approx 3.5$

### Muy Alto

Nivel en que los atributos o elementos de la playa se ven afectados de manera significativa y el ancho es menor a los  $<70$  m y con una pendiente  $>3.5$ , incluso puede haber pérdida completa de playa.

### Vulnerabilidad

Para este modelo se utilizaron todos los valores encontrados en la zona de influencia los cuales se integraron conforme a la ecuación 2 utilizando como base la tabla IV. Una vez establecidos los valores, se realizó la misma normalización utilizada en la peligrosidad, la cual se asignó a la misma escala aritmética de clases entre 0 y 1 definida por los cuartiles 25, 50, 75, esto con el propósito de que la vulnerabilidad se presentaran en la misma escala que los valores de peligrosidad

0	.25	.50	.75	1
Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	

Donde 0 es la mejor condición y 1 es la peor condición de peligrosidad.

### Riesgo

El riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta, se implementó mediante la adición de los elementos de peligrosidad y vulnerabilidad, los valores obtenidos se normalizaron como a los elementos anteriores y se clasificaron con el siguiente criterio:

0	.25	.50	.75	1
Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	

Donde 0 es la mejor condición y 1 es la peor condición.

El índice de riesgo quedó determinado de la siguiente manera:

Bajo: Cuando los valores de los índices estén clasificados con valores bajos y medios y la combinación de estos valores.

Medio :Dado por los índices que se encuentren dentro de la clasificación media y la permutación alto y bajo

Alto : Donde se encuentren valores altos y permutaciones de estos con valores medios

Muy alto: Cuando alguno de los índices presenten valores de muy alto y todas las permutaciones o combinaciones de este.

Tabla V Clasificación de riesgo

Riesgo	Peligrosidad	Vulnerabilidad
Bajo	Baja	Baja
Bajo	Baja	Media
Medio	Baja	Alta
Muy alto	Baja	Muy alta
Bajo	Media	Baja
Medio	Media	Media
Alto	Media	Alta
Alto	Media	Muy alta
Medio	Alta	Baja
Alto	Alta	Media
Alto	Alta	Alta
Muy Alto	Alta	Muy alta
Muy alto	Muy alta	Baja
Muy alto	Muy alta	Media
Muy alto	Muy alta	Alta
Muy alto	Muy alta	Muy alta

### V.3 Sistema de Información Geográfica

Los valores introducidos al modelo se integraron a través de un SIG el cual es una base de datos diseñada para trabajar con datos referenciados por coordenadas espaciales o geográficas (Stars y Estes, 1990). De donde se puede obtener una representación del modelo y cada uno de sus elementos en un formato cartográfico de la región. Esta herramienta permite almacenar, recuperar, transformar y desplegar información espacial del mundo real (Figura 4).

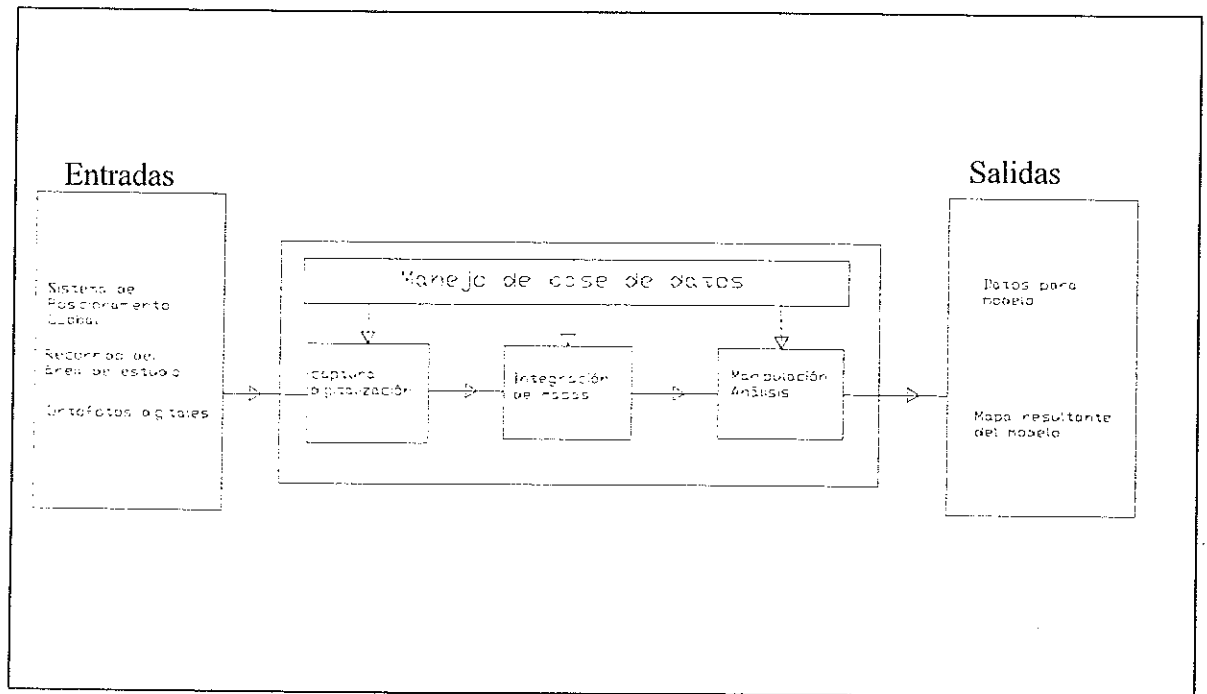


Figura 4. Diagrama de sistemas para ilustrar el SIG tomado de Meaden y Kapetsky (1991).

## Entradas

### Ortofotos Digitales

La ortofoto digital es la imagen digitalizada de una fotografía aérea en donde se ha eliminado el desplazamiento causado por el ángulo de la cámara respecto al terreno. Combinan las características de la imagen de una fotografía con las cualidades geométricas de un plano o mapa. Estas fueron adquiridas del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

Todas fueron referidas con respecto al datum NAD 27, y proyectadas en Universal Transversal Mercator (UTM) de la zona 11 a escala 1:20,000, del año 1993

Las fotos utilizadas en el SIG fueron: I11C79C e I11C79F

### Captura de datos

La captura de datos fue mediante el método de digitalización en modo vector, el cual consiste en tomar una serie de puntos cuya posición está definida por coordenadas geográficas  $x,y$ . En donde un punto puede definir un objeto, una serie de puntos define una línea (línea de costa) y las líneas pueden juntarse y formar un polígono (áreas). Esta digitalización se mediante el paquete AutoCad

### Integración de mapas

Además de la captura de datos fue necesario también especificar, la referencia de la locación, un código de caracterización, etiqueta o un atributo señalando lo que es. Esto se hace mediante la integración de mapas, el cual comprime un número de factores de una gran variedad de fuente de datos en un solo mapa como se observa en la Figura 5.

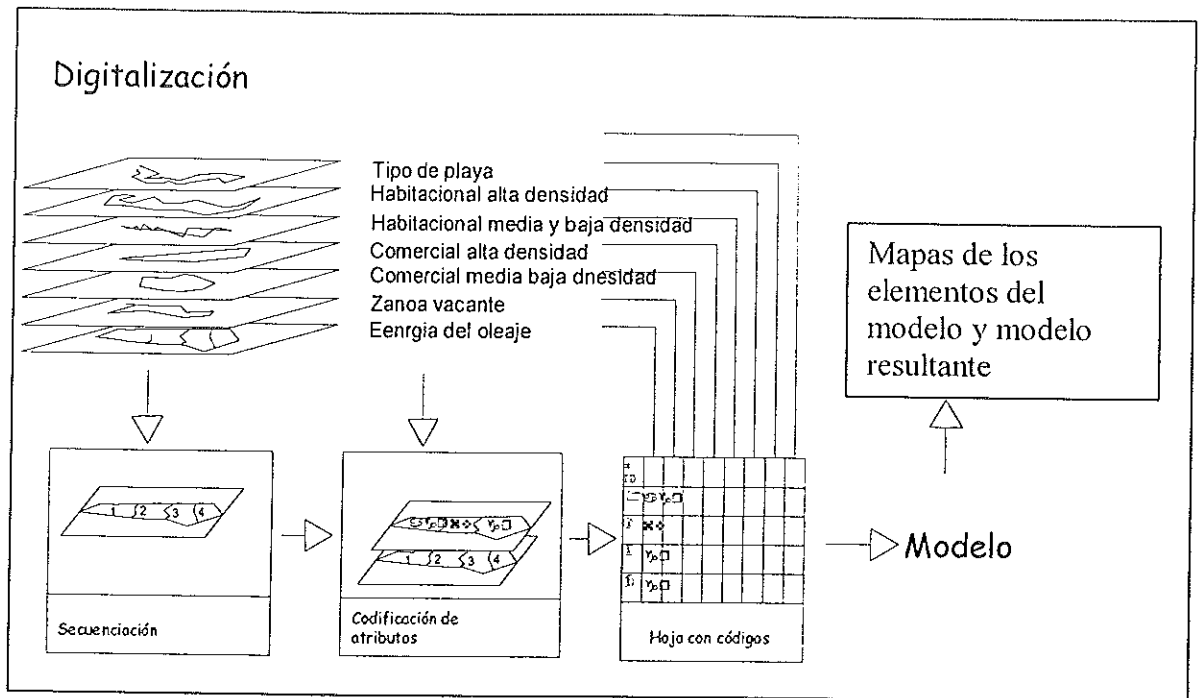


Figura 5. Integración de mapas

### Salidas

Por último los resultados y los elementos que componen el modelo, se integraron a través de la paquetería ArcView a partir del cual se puede presentar en varias formas.

En este trabajo la aplicación, fue en modo cartográfico (mapas) los cuales resaltan los índices utilizados en el MORECOT así como los diferentes componentes que constituyen estos índices.

## VI. Resultados

### VI.1- Refracción

Torres (1999) utilizó el modelo WAVENRG (Stone *et al* , 1995) a lo largo de la costa noroeste de Baja California durante el evento El Niño en Febrero de 1998, en donde se registraron olas de aproximadamente 4 m en aguas profundas con periodos de 14s y con dirección noroeste. La figura 6 muestra las regiones de convergencia de oleaje en Rosarito, lo cual ayudó a identificar zonas para el estudio de riesgo a la erosión. La zona seleccionada para la aplicación del modelo comprende desde la playa situada en la parte norte de la toma de agua de la central termoeléctrica (BN1) hasta la playa frente al hotel Rosarito Beach.

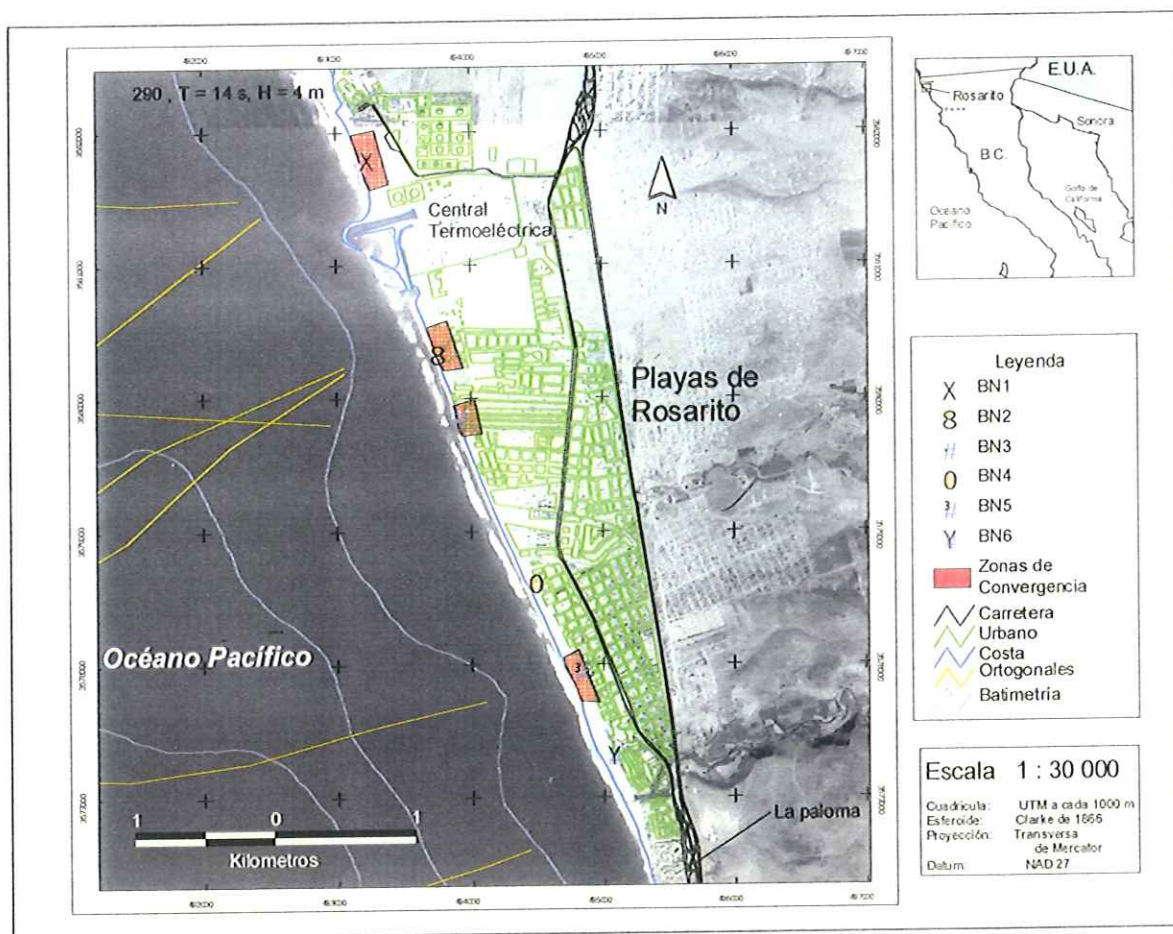


Figura 6 Refracción de oleaje (Torres ,1999) y localización de Bancos de Nivel.

Para implementar el modelo en playa arenosa, se establecieron seis áreas de influencia con sus respectivos Bancos de Nivel (BN), los cuales se enumeraron del 1 al 6 de norte a sur (Figura 6). Su posición geográfica y características morfológicas se indica en la tabla V.

Tabla VI. Coordenadas de localización de Bancos de Nivel y características morfológicas

Estación	Latitud	Longitud	Características Morfológica
BN1	32° 25.23'	117° 05.77'	Playa ancha arenosa con zona vacante en la postplaya
BN2	32° 21.68'	117° 04.15'	Playa angosta arenosa urbanizada en la postplaya
BN3	32° 21.40'	117° 04.10'	Playa angosta arenosa urbanizada en la postplaya
BN4	32° 20.73'	117° 03.67'	Playa ancha arenosa urbanizada en la postplaya
BN5	32° 20.39'	117° 03.47'	Playa ancha arenosa urbanizada en la post playa
BN6	32° 20.00'	117° 03.29'	Playa ancha arenosa urbanizada en post playa

## VI.2 MORECOT

### Calibración

#### VI.2.1 Modelo 1

#### Peligrosidad

Aplicando la ecuación 1, se realizó una prueba parcial para el periodo de verano de 1997 a verano de 1999 utilizando el BN2 y el BN6 los datos de entrada se especifican en la tabla VI.

Tabla VII. Datos de entrada en la prueba parcial de peligrosidad

Elemento	Periodicidad	Fecha inicial	Fecha final
Energía de oleaje	Día	Agosto 1997	Enero 1999
Ancho de playa	Promedio estacional	Verano 1997	Invierno 1999
Pendiente de playa	Promedio estacional	Verano 1997	Invierno 1999
Tamaño de grano	Promedio estacional	Verano 1984	Invierno 1999

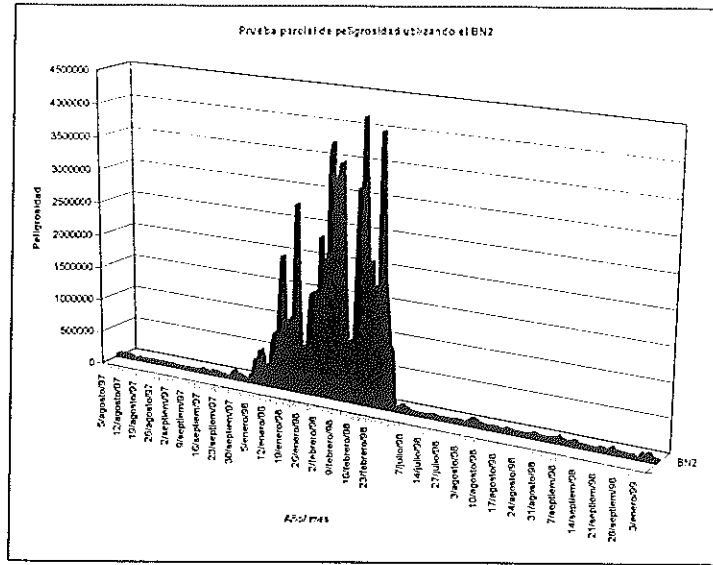
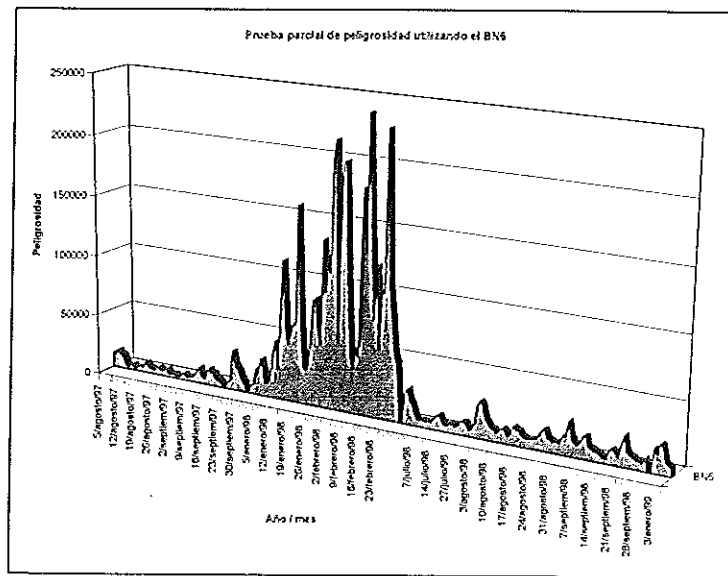


Figura 7 Prueba parcial de peligrosidad utilizando el BN2



Figuras 8 Prueba parcial de peligrosidad utilizando el BN6

Se determinó que la prueba se haría utilizando una playa angosta (Figura 7) y una playa ancha (Figura 8), utilizando la ecuación 1 se concluyó que para ambos casos los valores mayores se presentaron en invierno y los valores menores se presentaron en verano.

Una vez establecidos los valores mayores y menores obtenidos en la prueba parcial, calculados para una playa angosta (BN2) y una playa ancha (BN6), se procedió a establecer un nuevo valor mayor y menor de la combinación de ambos Bancos de Nivel, estos valores a su vez fueron graficados como se observa en la Figura 9

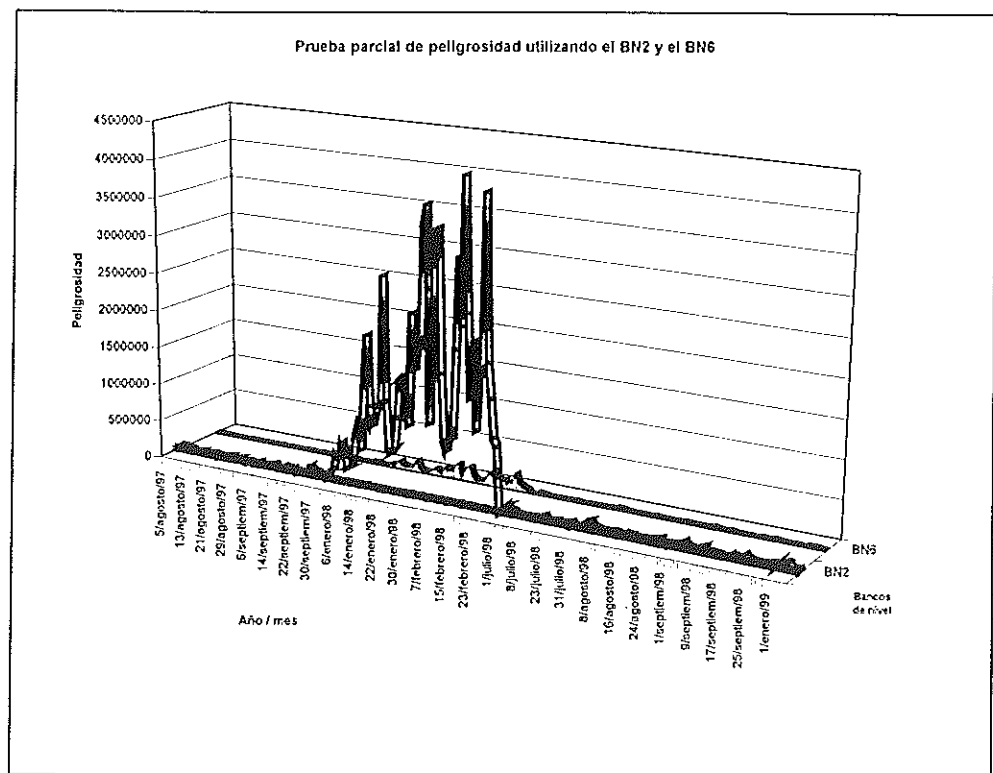


Figura 9 Prueba absoluta de Peligrosidad utilizando BN2 y BN6

Los valores determinados por la ecuación 1, arrojan una mayor peligrosidad para una playa angosta con oleaje de tormenta de invierno, mientras que para una playa ancha con las mismas condiciones no presenta un alto valor de peligrosidad.

Se realizó una prueba absoluta de peligrosidad, utilizando todos los bancos de nivel de la zona de estudio, los datos de entrada se observan en la tabla VII y los resultados en la Figura 10 y anexo 2.

Tabla VIII. Datos de entrada en la prueba absoluta de peligrosidad

Elemento	Periodicidad	Fecha inicial	Fecha final
Energía de oleaje	Día	Enero 1998	Enero 1999
Ancho de playa	Promedio estacional	Enero 1998	Invierno 1999
Pendiente de playa	Promedio estacional	Enero 1998	Invierno 1999
Tamaño de grano	Promedio estacional	Enero 1998	Invierno 1999

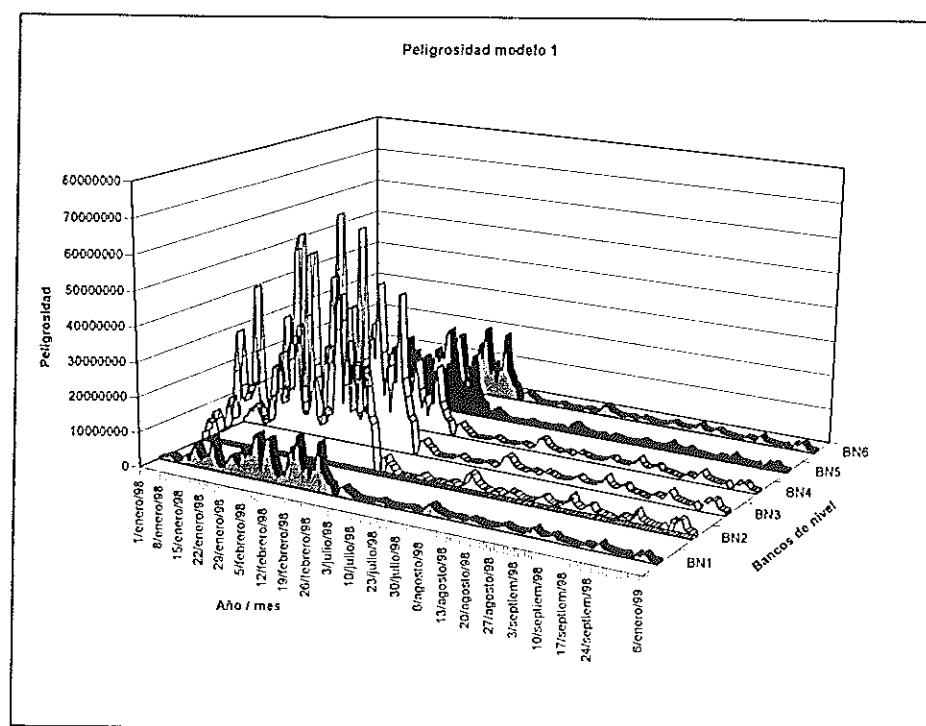


Figura 10. Prueba absoluta de peligrosidad para todos los Bancos de Nivel

Se puede observar que existen mayores valores de peligrosidad en invierno para los Bancos de Nivel 2 y 3, mientras que para el resto de los bancos de nivel los valores son menores aún en época de invierno (figura 10).

### Vulnerabilidad

Para determinar este parámetro la densidad de uso de suelo se clasificó tomando como base la diferencia entre el valor mayor y el valor menor presentado en la peligrosidad y dividiéndola entre cuatro de esta manera, se escogió el elemento más representativo de la densidad de uso de suelo, mientras que el resto no se incluyeron y su valor se considero como cero dentro de la ecuación, (Figura 11, anexo 2).

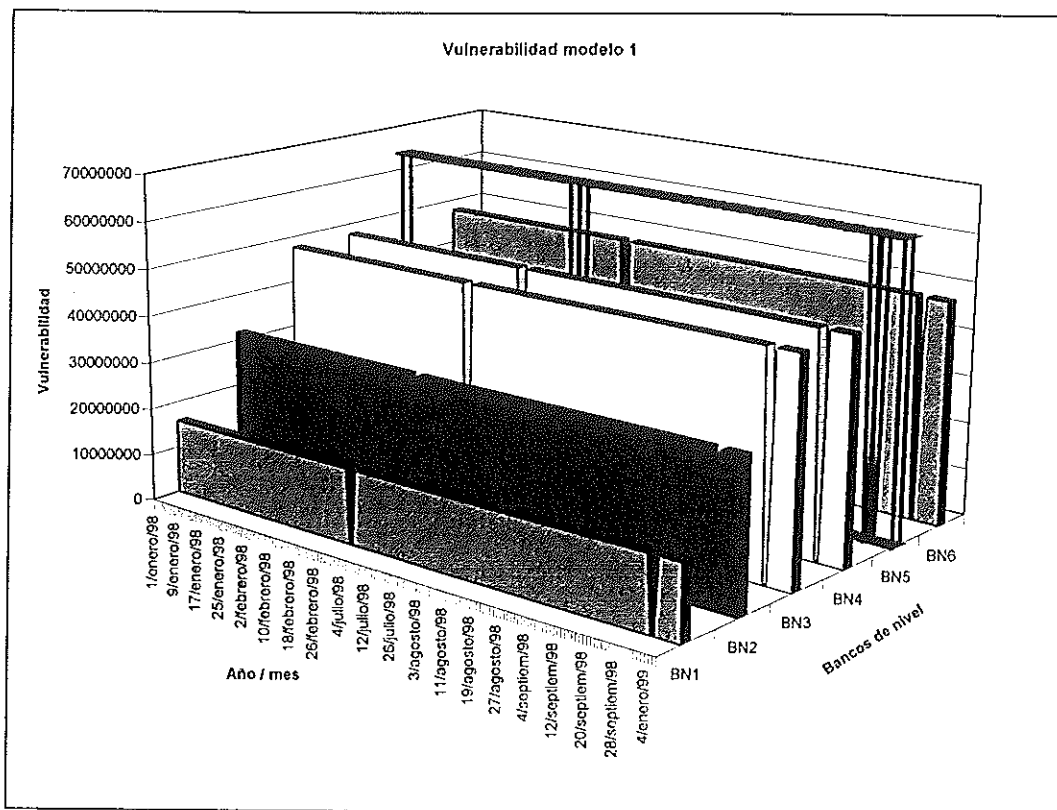


Figura 11 Vulnerabilidad

## RIESGO

Una vez que se estableció el valor de la peligrosidad y la vulnerabilidad, se puede determinar el riesgo (MORECOT) mediante la adición de los elementos antes mencionados

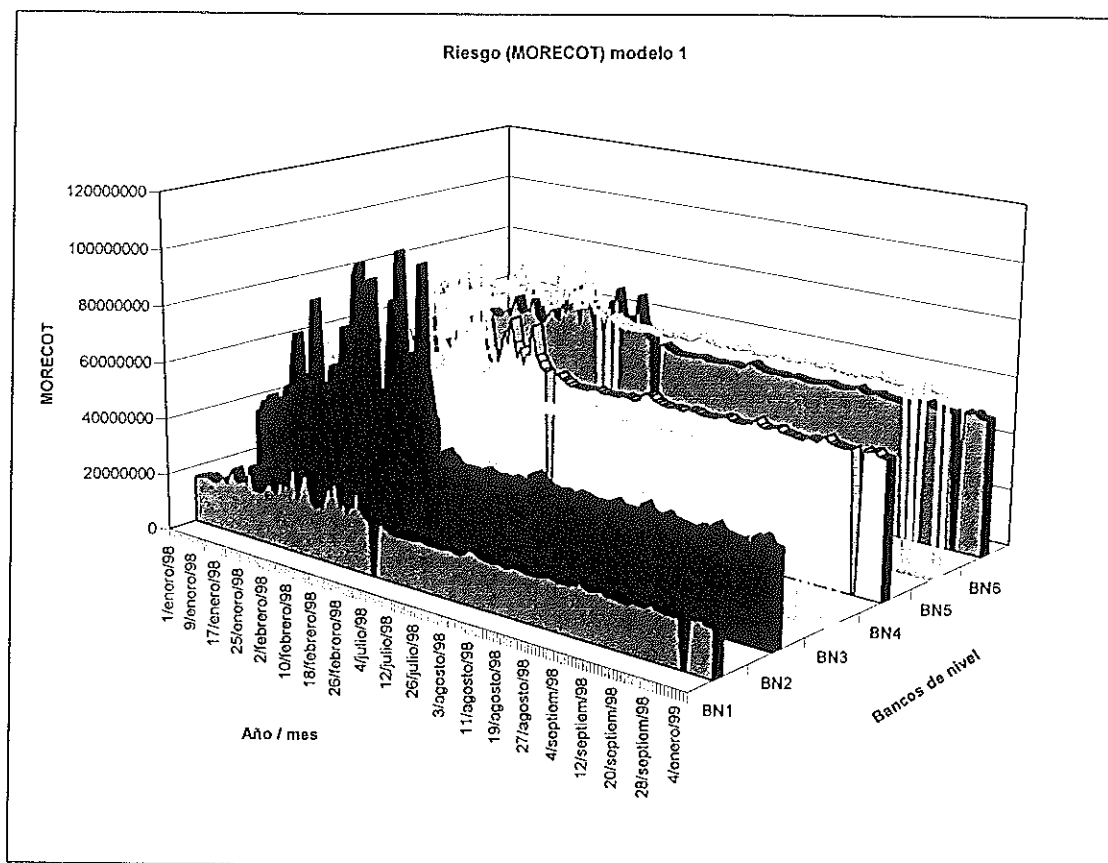


Figura 12 Riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta

Se utilizaron los valores de la Figura 10 y la Figura 11 para hacer una prueba del riesgo MORECOT (Figura 12, anexo 2) en las pruebas preliminares se puede afirmar que el BN2, BN3 y BN5 presenta un riesgo muy alto, el BN4 y el BN6 presentan un riesgo medio mientras que el BN6 presento el menor riesgo de toda la zona de estudio.

De esta manera quedó determinado el peso de cada uno de los componentes de la peligrosidad y se describe a continuación

#### Ancho de playa

La relación general entre el ancho de playa y la penetración del oleaje exhibe una tendencia de creciente resistencia con el incremento de ancho de playa. Este parámetro se elevó al cuadrado en la ecuación para incrementar su significancia relativa como agente preventivo a la erosión

#### Pendiente

En este ejercicio se considera la pendiente de la playa directamente proporcional con la energía del oleaje y por tanto se dejó tal cual en el modelo,

#### Granulometría

En general, existe una tendencia para las playas de mayor energía en el oleaje de presentar las partículas más gruesas, el tamaño de grano es directamente proporcional con la energía del oleaje por lo que los datos de entrada al modelo no se modificaron.

Debido a la gran variación de los valores de peligrosidad en el modelo 1, se realizó una normalización de los datos (Figura 14, anexo 2), esto con el propósito de establecer de una manera mas sencilla los niveles de peligrosidad.

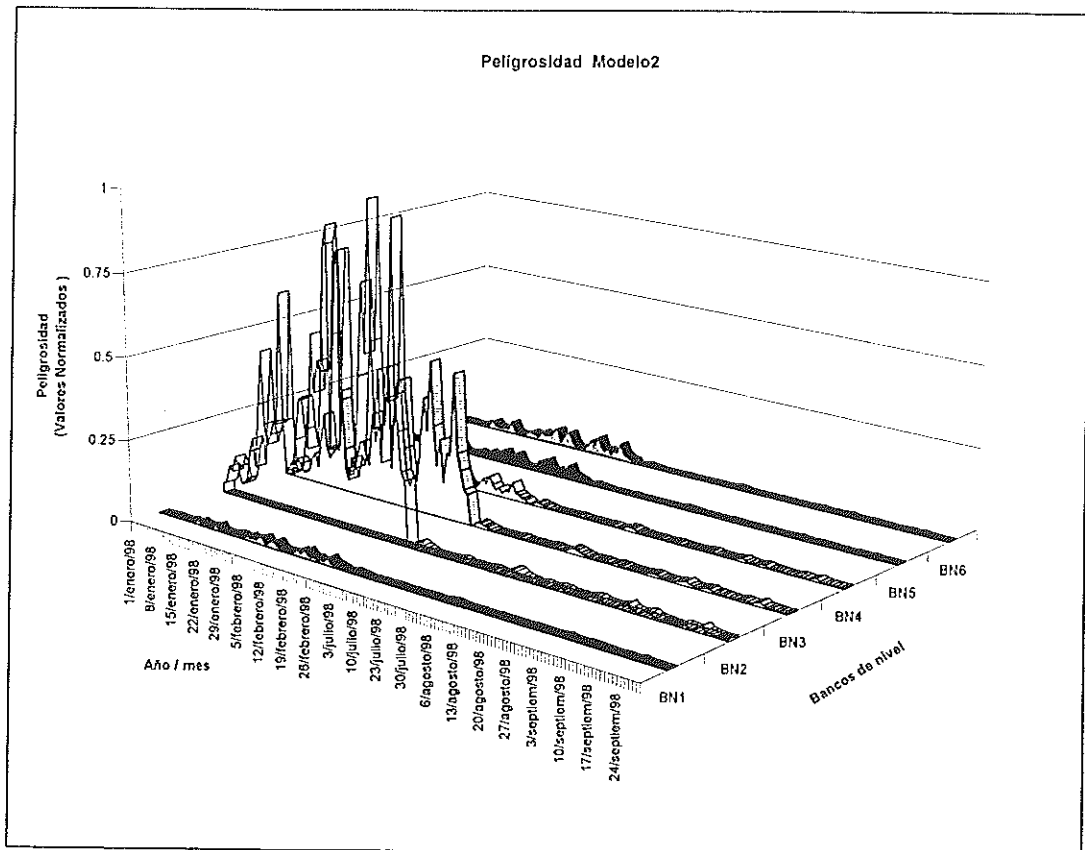


Figura 14 Peligrosidad modelo 2

De esta manera se observa que el BN2 presenta una peligrosidad muy alta en invierno, el BN3 presenta una peligrosidad media para la misma época del año, mientras que el resto de los bancos de nivel presentan una peligrosidad baja para las condiciones tanto de invierno como de verano

## Vulnerabilidad

La implementación del uso de suelo quedó constituida como un valor dentro de los rangos entre 0 y 1, esto con el fin de evitar mayores valores que los de la peligrosidad, por otra parte se hizo la suma de todos los usos de suelo en la zona de influencia y finalmente los datos se normalizaron (Figura 15, anexo 2).

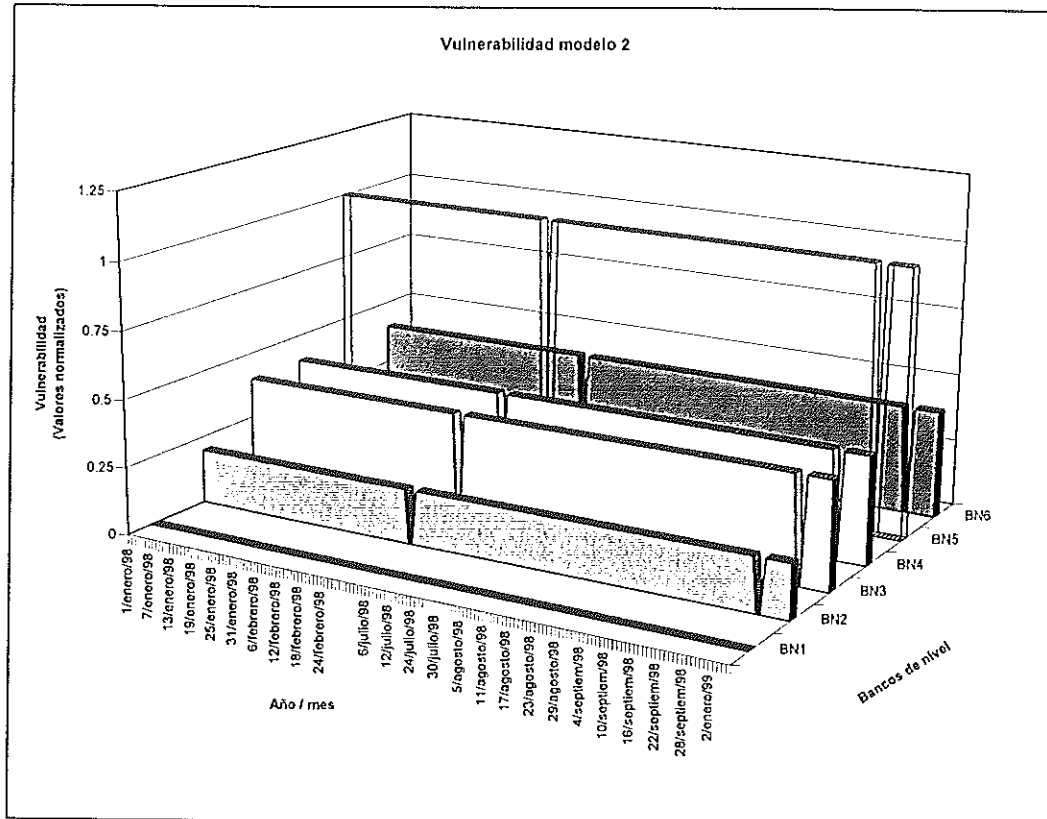


Figura 15 Vulnerabilidad empleada en el modelo 2

Es evidente que el BN5 presenta una vulnerabilidad muy alta, debido a la densidad habitacional que está presente en el área (edificios). El BN6, BN4 y BN3 presentan un nivel medio de vulnerabilidad (casas), Mientras que el BN1 y el BN2 presentan una vulnerabilidad baja en el primer caso por ser una zona vacante y en el segundo por presentar un menor numero de casas en el área de influencia .

### Riesgo (MORECOT)

Los resultados del modelo 2 se observan en la figura 16 (anexo 2) en el que se puede ver de una manera mas fácil las diferentes clasificaciones de riesgo en la zona de Rosarito B.C.

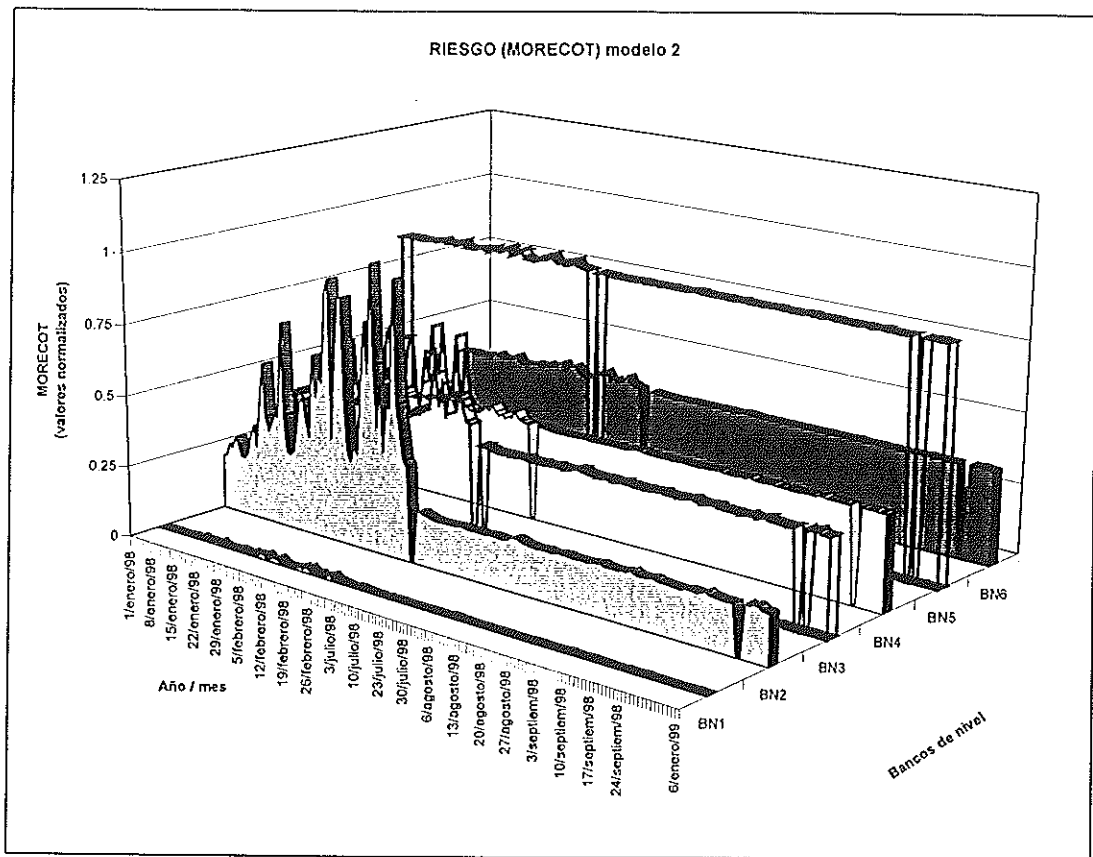


Figura 16 Riesgo (Morecot) empleando el modelo 2

Las zonas que presentan un riesgo muy alto son el BN2 y el BN5, el primero presenta una playa muy angosta y el segundo una densidad habitacional muy alta. El BN3 presenta un riesgo alto debido a que esta área presenta una playa angosta. El BN4 y BN6 presentan una valor medio principalmente por sus playas anchas, el riesgo mas bajo solamente lo presentó el BN1 el cual esta dado por la combinación de su playa ancha y ausencia de infraestructura en la playa .

## SIG

Los resultados de cada uno de los componentes que integran al modelo pueden representarse en mapas mediante un sistema de información geográfica, teniendo la ventaja de habilitar o deshabilitar los elementos o rasgos que nos interesan, en este sentido los resultados obtenidos del modelo 2 se desplegaron en forma cartográfica, La figura 17 se observa la peligrosidad en verano, esta época presenta la menor incidencia de oleaje de tormenta, La figura 18 presenta la peligrosidad en invierno de la misma área. En cuanto a la vulnerabilidad esta se presenta en forma paralela con el tipo de playa en las figuras 19 y 20 La figura 21 es la integración de peligrosidad y vulnerabilidad utilizada en el modelo 2, dando como resultado el nivel de riesgo de las diferentes zonas del área de estudio.

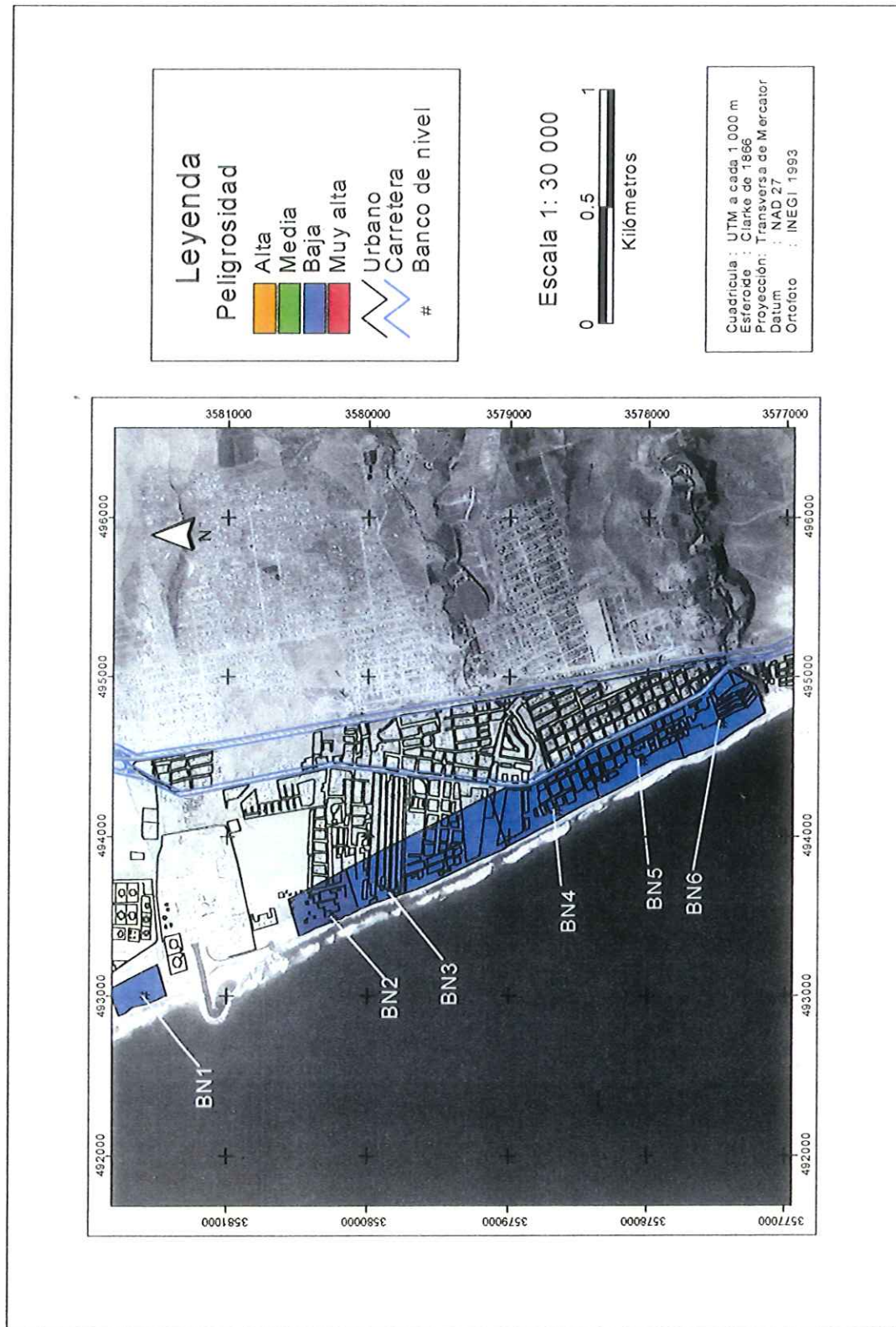


Figura 17 Peligrosidad en Verano de 1998 en Rosarito Baja California

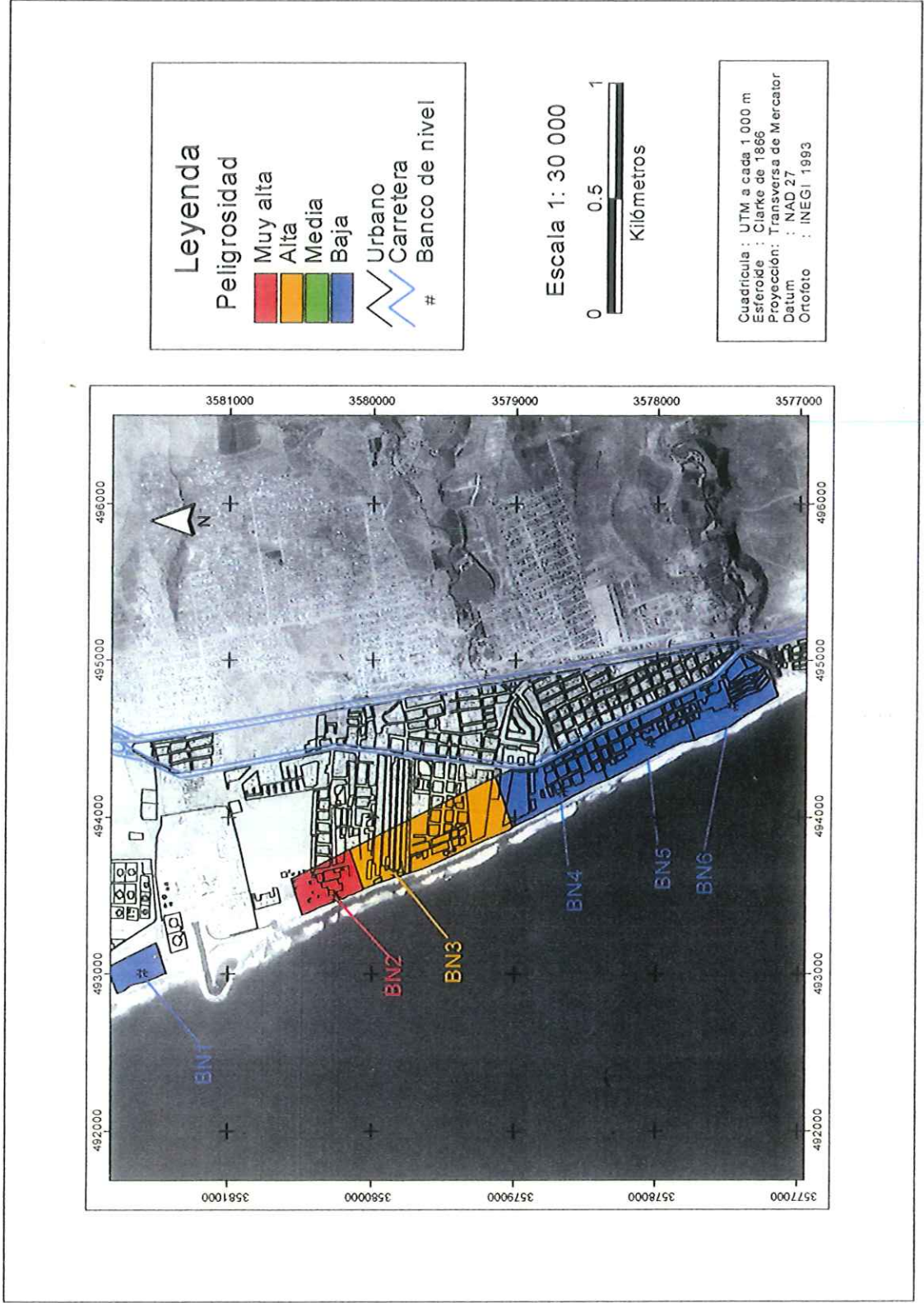


Figura 18 Peligrosidad en Invierno de 1998 en Rosarito B.C.

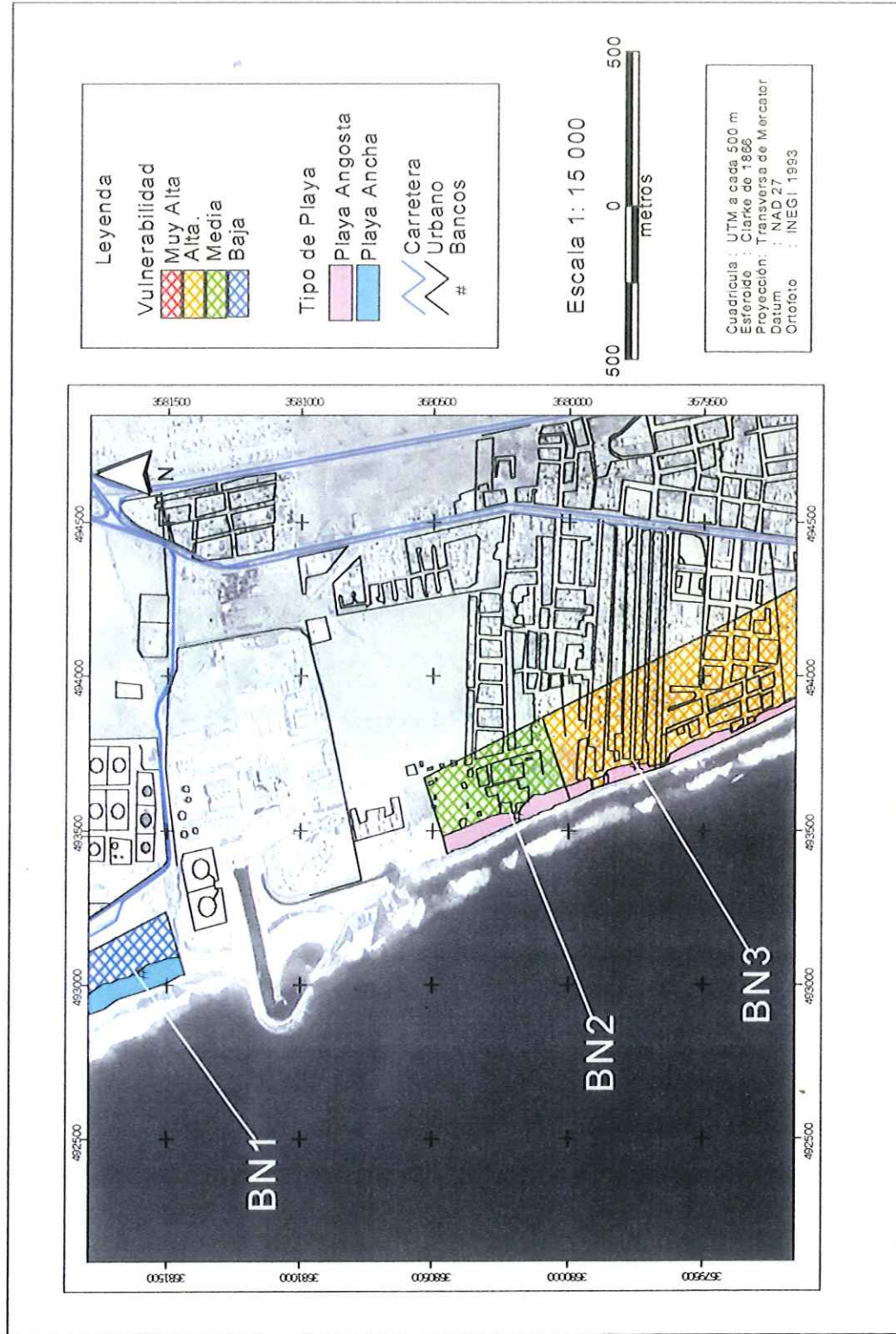


Figura 19 Vulnerabilidad y tipo de playa utilizando el modelo 2 en la parte norte de Rosarito B.C.

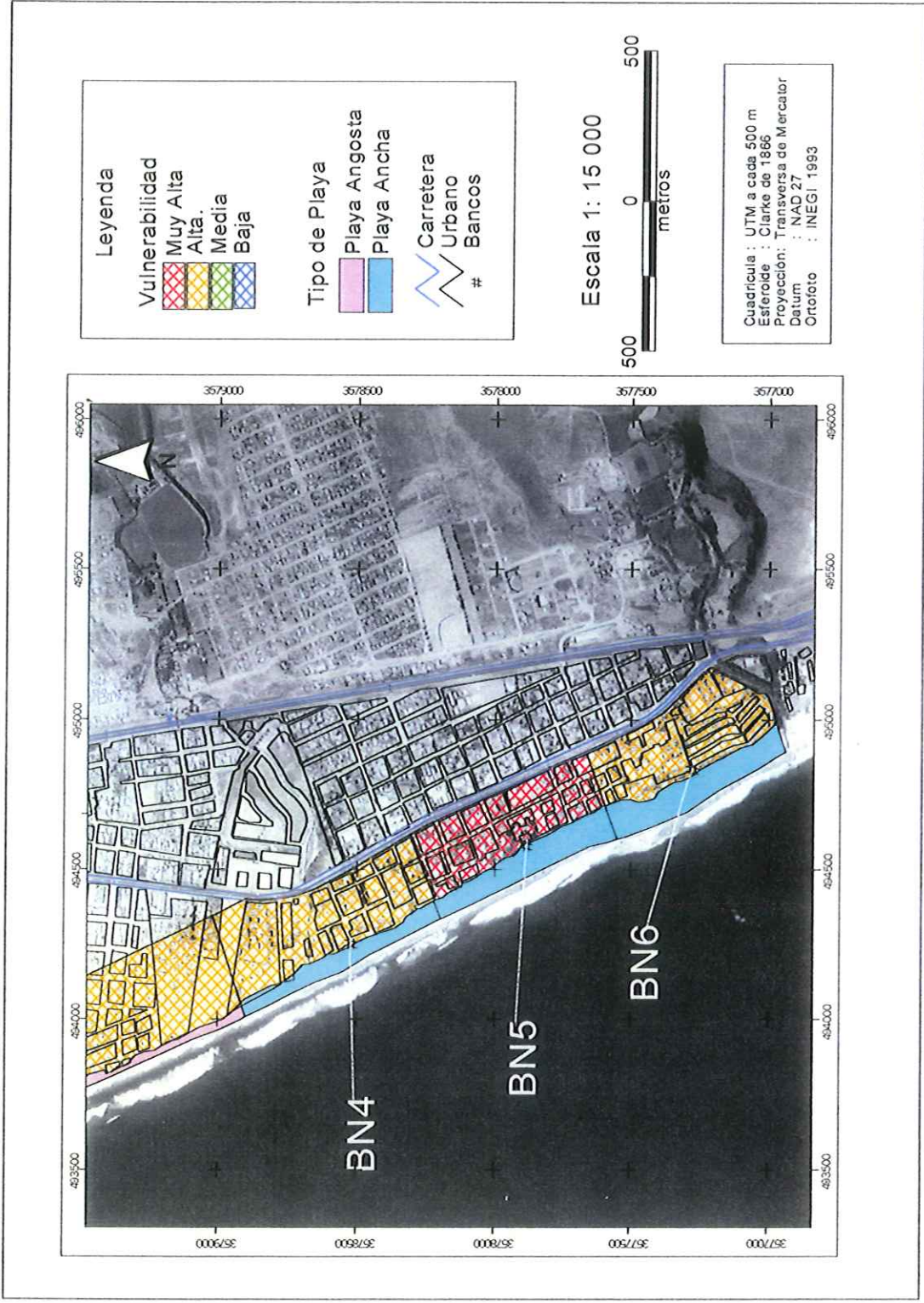


Figura 20 Vulnerabilidad y tipo de playa utilizando el modelo 2 en parte sur de Rosarito B.C.

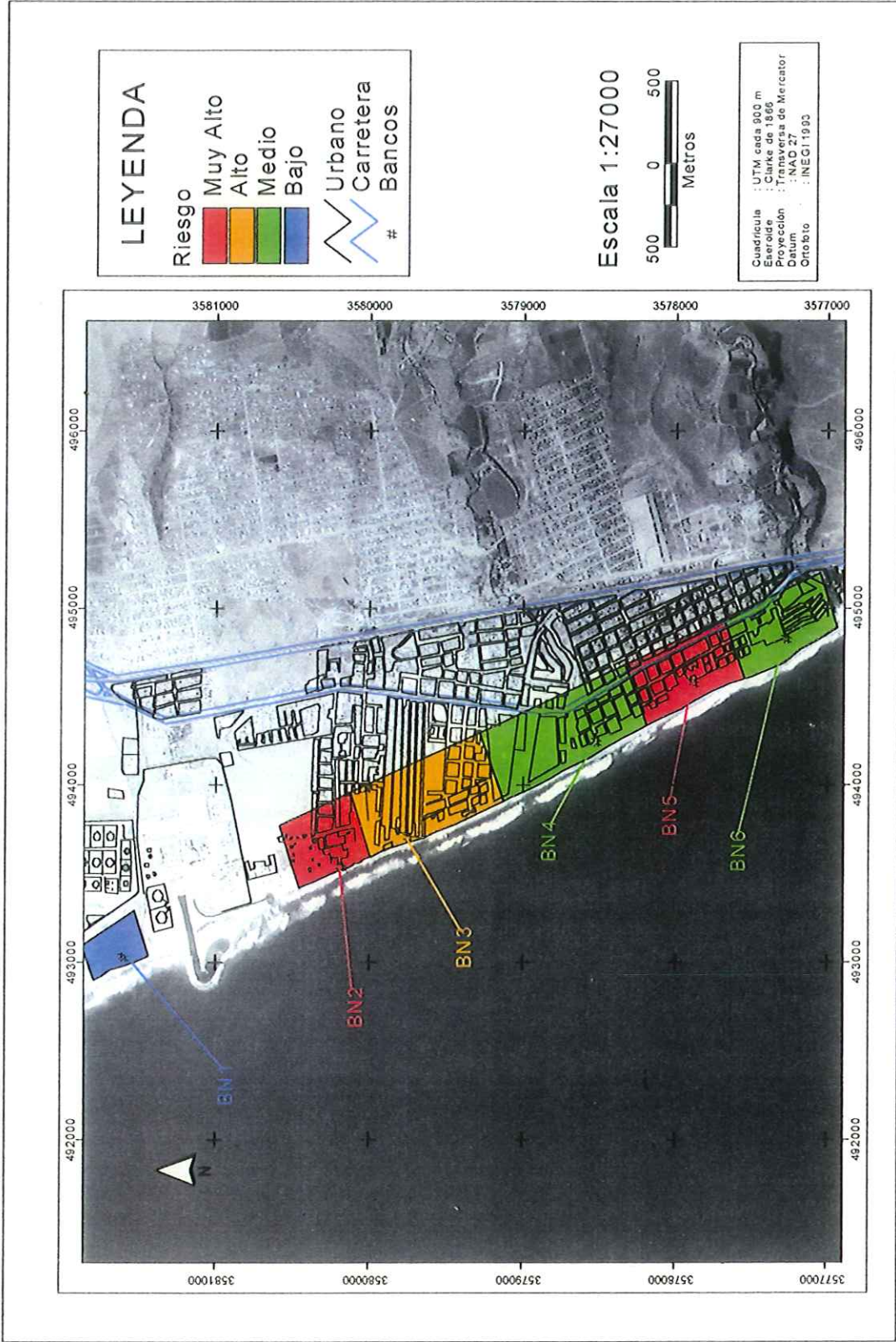


Figura 21 Riesgo (MORECOT) utilizando el modelo 2 en Rosarito B.C.

## VII Discusiones

MORECOT está basado en modelo utilizado por Stone y Fischer (1985) y a su vez se relaciona con el marco conceptual utilizado por Monti (2000) que buscó la vinculación de la relación conceptual entre la peligrosidad la vulnerabilidad dando como resultado el riesgo.

Para presentar de una manera más clara este capítulo, las discusiones se trataron por modelo con todos sus componentes. Se continúa comparando ambos modelos y por último se discute los resultados del sistema de información geográfico aplicado.

### VII.1 Modelo 1

#### Peligrosidad

Los resultados preliminares de este trabajo, muestran que el esquema de peligrosidad es adecuado, ya que permite distinguir la temporalidad ejemplificado por los valores de invierno y de verano (Figura 7 y 8), asimismo es evidente la peligrosidad espacial (Figura 9) en donde se puede identificar una playa ancha BN6 y una playa angosta (BN2), al igual de los resultados en la Figura 10 en donde resaltan los altos valores de peligrosidad del BN2 y BN3 los cuales tienen la característica de presentar una playa angosta, mientras que el resto de los bancos de nivel el valor de peligrosidad es menos evidente.

En este sentido los resultados obtenidos permiten visualizar la importancia de la estacionalidad y el ancho de playa sin embargo, este formato tiene el inconveniente de presentar valores en un rango muy amplio con una diferencia de dos ordenes de

magnitud (64000000 y 426,450) por lo que los intervalos de clase presentan la misma diferencia de valores haciendo complicada la clasificación de los mismos.

### Vulnerabilidad

Una contribución de este trabajo es el haber implementado la densidad de uso de suelo a el factor de vulnerabilidad, mientras que muchos índices de riesgo y vulnerabilidad consideran la necesidad de datos socio económicos (Cooper y McLaughlin, 1997), en este trabajo la operatividad que se identifico fue mediante criterios para separar las clases, comercial, habitacional y zona vacante.

Respecto a esta separación, es importante indicar que la densidad de uso de suelo se clasificó tomando como base la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo presentado en la peligrosidad, y dividiéndola entre cuatro, de esta manera los valores considerados estaban dentro de una rango tan amplio como el de los valores representados por la peligrosidad. Otro procedimiento seguido en el modelo 1 es el de haber utilizado únicamente un dato por área de influencia, esto es el dato de mayor representatividad, sin tomar en cuenta los demás presentes en el área. Este criterio esta basado en dos características , la primera es la escala de valores la cual es muy grande ya que sumar dos o más elementos representa valores fuera de proporción, y segundo se tomó un criterio dando prioridad a las vidas humanas que puedan presentarse en el área de influencia por lo que la zona habitacional fue prioridad, la zona comercial en segundo lugar y la zona vacante en tercer lugar. Esta metodología presenta la desventaja de tomar una característica puntual dentro del área de influencia siendo que existen otros rasgos, importantes sin embargo se hizo la corrida para fines exploratorios.

Por otra parte se considera que para la escala de tiempo utilizada en este modelo la densidad no varía significativamente por lo que estos valores se ven representados como bloques cuando se exponen de manera visual (Figura 11).

### Riesgo

La definición de riesgo está determinada por la suma de los dos parámetros anteriores, por lo que la precisión de estos dos se ve reflejada en los resultados obtenidos. En este sentido se pueden observar diferentes clasificaciones de riesgo, sin embargo la limitante sigue siendo la variación de rango que existe entre los valores mayores y menores, lo cual señala de cierta manera la necesidad de una evaluación de mayor precisión para que este parámetro pueda presentarse de manera satisfactoria.

## VII.2 Modelo 2

### Peligrosidad

Con la experiencia previa del comportamiento del modelo 1 se realizó una prueba de sensibilidad de la peligrosidad, una inquietud respecto a esto, es la similitud tan grande de los resultados a pesar de la variación del peso de los elementos (Figura 13), esto en un principio se pensó que era una debilidad conceptual del modelo y se trató de resolver mediante una diferenciación de tipo de playa basada en la clasificación de la morfología de la playa (ángulo o pendiente de la playa) y los patrones o condiciones de oleaje cercano a la orilla (Wright & Short, 1983). Al hacer este análisis se concluyó que las playas de Rosarito en general son muy similares debido a que la media del tamaño de grano es muy similar, como consecuencia de esto la pendiente, es muy similar en toda el área de estudio y por lo tanto, estos elementos no influyen grandemente en el modelo para el caso de Rosarito, sin embargo esta característica

resulta en una ventaja, ya que se puede determinar la peligrosidad únicamente midiendo el ancho de playa directamente de fotografías aéreas o imágenes de satélite siempre y cuando se tenga en consideración la fecha de la imagen, la época del año y el nivel de marea.

Una vez hecha esta prueba se utilizó el mismo procedimiento del modelo 1 para determinar la peligrosidad, con la diferencia de que los datos fueron normalizados, este factor hizo posible discernir de una manera más fácil los diferentes niveles de peligrosidad y los elementos que constituyen la playa como el tipo de pendiente y ancho de playa.

### Vulnerabilidad

La definición de vulnerabilidad en este modelo (Figura 15) esta representada por la suma de valores de la densidad de uso de suelo encontrados en el área los cuales fueron normalizados, este procedimiento se hizo con el objetivo de asegurar la compatibilidad de valores con el termino de peligrosidad y no solo causó que los valores presentaran una menor magnitud sino que se pudo determinar el intervalo de clases de vulnerabilidad de una manera más práctica.

### Riesgo

Un logro de este trabajo es haber implementado por primera vez el esquema de riesgo en función de peligrosidad y vulnerabilidad de una manera cuantitativa. Esta propuesta aporta un sustento técnico que se convierten en herramientas fácilmente comprensibles para tomadores de decisiones y planificadores. Mientras se conoce que existen limitaciones del modelo los resultados de riesgo muestran un esquema adecuado para propósitos de comparación. En este sentido Benumof *et al* (1997) menciona la importancia de la claridad y entendimiento de las limitaciones y correcto

uso de la información de la erosión costera para la comunidad científica y los tomadores de decisiones.

### VII.3 Modelo 1 vs Modelo 2

A pesar de que en general los dos modelos presentan un mismo comportamiento se establecieron ciertas diferencias al hacer una comparación entre estos, de esta manera el análisis se hizo por índice de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.

#### Peligrosidad

El modelo 1 tiene una mayor fluctuación con respecto a los valores derivados de la fórmula (Figura 10), esta variación se restringe y de alguna manera se filtra mediante la normalización utilizado en el modelo 2, este último procedimiento facilitó determinar la peligrosidad entre los Bancos de nivel 1 y los BN4 BN5 y BN6 que en el modelo 1 no presentaba una diferencia tan clara.

#### Vulnerabilidad

El caso de la vulnerabilidad en el modelo 1 sus valores están bien determinados y se observan las diferencias entre los niveles sin embargo, los valores están fuera de un rango útil. En este sentido el modelo 2 cuyos valores se normalizaron, presenta la misma diferenciación más la ventaja de tener un rango de valores práctico para hacer una clasificación. Es interesante ver como con este procedimiento denota un valor máximo en el BN5, en otras palabras se le da un mayor peso a la densidad poblacional habitacional que ese encuentra en el área de influencia.

## Riesgo

El modelo 1 es el reflejo de sus índices por lo que la dimensión de sus valores esta de nuevo fuera de un rango útil, esta evaluación cuantitativa (MORECOT) no define bien las diferencias entre los bancos de nivel, el BN2, BN3 y BN5 los cuales presentaron valores muy parecidos a pesar de tener características muy diferentes, el BN1 presenta un cierto valor de riesgo siendo que en la realidad es una playa muy ancha y no presenta infraestructura aledaña a la playa. El modelo 2 cuyos resultados son el reflejo de los datos normalizados presenta una diferenciación más clara entre todos los bancos de nivel.

De este análisis se consideró que el modelo 2 refleja de una manera más fiel el proceso de erosión y la peligrosidad la vulnerabilidad y como consecuencia el riesgo en la zona de playas arenosas en Rosarito Baja California.

## VII.4 SIG

Un aspecto sumamente útil de este trabajo es el haber integrado el modelo de riesgo a través de un SIG, de esta manera el modelo utilizado puede presentarse en términos de escala de aplicación, todos los elementos que constituyen el modelo y el modo de presentación. Si bien se hicieron dos modelos, solo se utilizaron los resultados del modelo 2 para el SIG.

Los mapas desplegados (Figuras 17 a 21) permiten evaluar de una manera sencilla y eficaz los diferentes elementos así como el resultado final del modelo, de esta manera, la Figura 17 presenta valores bajos de peligrosidad debió principalmente a la energía del oleaje es cual no es muy grande en verano, en cambio la Figura 18 presenta un régimen energético más severo condiciones de oleaje por tormenta durante la

temporadas de invierno por lo que se observa una clasificación completamente diferente a la Figura 17.

Las Figuras 19 y 20 presentan la clasificación de vulnerabilidad y el tipo de playa de esta manera, no solamente es evidente el potencial del SIG de mostrar gráficamente un parámetro del riesgo sino que a su vez se ejemplifica uno de los elementos que constituyen a la peligrosidad.

Se unieron todos los elementos que constituyen el modelo para determinar las áreas con diferentes niveles de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta (Figura 21). En este sentido fue ilustrativo haber explorado los elementos que los constituyen de forma espacial y estacional. Para finalizar, los mapas desplegados del modelo aportan una instancia en la toma de decisiones, sustentados en un análisis cuantitativo del riesgo, sin embargo esta aproximación es una pequeña parte del complejo problema de la erosión costera.

## VIII. Conclusiones

Se desarrolló un modelo para determinar el riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta para la zona de Rosarito B.C.

Este modelo (MORECOT) se realizó a partir del modelo de Stone y Fischer el cual fue modificado para playas arenosas de la costa del Pacífico y estableciendo el índice de riesgo en función de la peligrosidad (parámetros físicos) y la vulnerabilidad (parámetros antropogénicos).

A partir de la formulación de dos diferentes modelos, se considera que el modelo 2 refleja de una manera mas fiel el índice de peligrosidad vulnerabilidad y riesgo al proceso de erosión por oleaje de tormenta. Por lo que es necesario implementar la normalización de estos índices dentro del procedimiento

Para la zona de estudio existe riesgo muy alto en la zona de influencia del BN 2 y el BN5, un riesgo alto en la zona de influencia del BN3, un riesgo media en las zonas de influencia de los bancos de nivel 5 y 6 y solamente el BN1 presentó un riesgo bajo.

La implementación del modelo a través de un SIG en la zona de Rosarito B.C. permite observar esta clasificación de una manera más clara en los mapas que se emplearon para determinar el MORECOT.

Los beneficios de esta propuesta pueden establecerse en una metodología práctica para la aplicación y la implementación de los resultados en un SIG con despliegues cartográficos sin embargo, existen una limitante en este procedimiento, la cual se deriva del constante cambio en la zona costera por lo que es importante mantener una actualización de la base de datos que alimenta al modelo y a su vez se refleja en los mapas desplegados.

Para finalizar es importante hacer notar que la zona costera presenta una serie de elementos que tienen un comportamiento muy diferente a las playas arenosas, como los cantos rodados, cantiles y estructuras costeras. El MORECOT está diseñado para utilizarse solo en playas arenosas en este sentido es importante seguir en esta línea de investigación pero tomando en cuenta las otras características que constituyen las zona costera.

## IX.Literatura Citada

Appendini, C. M. 1995. Aplicación de un modelo numerico para la estimación de volúmenes de azolve en la central termoeléctrica de Rosarito B.C. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

Appendini, C. M. 1998 Plan de manejo de la erosion costera para Playas de Rosarito, Baja California México. Tesis de Maestria, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

Appendini, C.M y Lizárraga-Arciniega, R. 1998. Development of a shoreline preservation strategy. Proceedings of the California and the World Oceans '97, March 1997, pp. 1494 -1498.

Aragón-Arreola, M.D. 1994. Evaluación de riesgo geológico debido a movimientos de ladera en la ciudad de Tijuana, B.C., México. Tesis de maestría, Departamento de Geología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 124 p.

Bale, J.B. y J.A. Minch. 1971. Coastal and shore landforms of Baja California del Norte, Mexico. 0-71-2 technical report, Universidad de California, Riverside, 82, p.

Bascom, W.H. 1951. The relationship between sand size and beach face slope . Trans american Geophysical Union, 32: pp.866-74

Benumof, B., Griggs, G. y Moore, L., 1997. Coastal erosion: the state of the problem and the problem of the state. En Magoon, O.T., Converse, H., Baird, B. y Miller-Henson, M (ed) California and the World Ocean '97. American Society of Civil Engineers. Virginia Usa (1): pp. 505-514

Benumof, B. T., y Griggs, G. B., 1999. The Dependence of Seacliff Erosión Rates on Cliff Material Properties and Physical Processes: San Diego County, California, Shore & Beach, Vol 67 (4), pp. 29-41.

Bird E., 1987. The Modern Prevalence of Beach erosion, Marine Pollution Bulletin, Vol 18 (4), pp. 151-157.

Bird, E., 1996. Beach Management. John Wiley & Sons. England. 281 p.

Black, E.D., Donnelley, L.P. and R.F. Settle 1990 Equitable arrangements for financing Beach Nourishment Projects, Ocean and Shoreline Management. Pp. 14:191-214

Cabrera-Acevedo G. 1993. Las regiones costeras, Crecimiento y potencial demogáfico, Demos, Vol 6 pp 30-32

Cardona, O.D., 1993 Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo 51-74. En Andrew Maskrey. Los desastres no son naturales: La red de estudios sociales. Bogotá. 167 p.

Carrillo-Berumen, R. M. 1998. Dinámica sedimentaria en las inmediaciones de la obra de toma de la Central Termoeléctrica Presidente Juárez en Rosarito B. C. México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

Forbes, D.L. y Liberman, D. E., 1996. Geological indicators in the coastal zone. En Bergr, A y Iam W (ed) *Assesing Rapid Enviromental Geoindicator Changes in Easrth Systems*. Balkena Rotterdam 466 p.

Gastil, R.G., R.P. Philips y E.C. Allison. 1975. Reconasaince geology of the sata of Baja California, Mexico. Geological Society of America, memoria 140, 170 p

Gómez-Morin, L., 1994 Marco Conceptual y Metodológico para la planificación ambiental del desarrollo costero en México. La experiencia de Baja California Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B.C.

Gornitz, V. y Kanciruk, P., 1989. Assessment of global coatal hazards from sea level rise. Coastal Zone 89, Proc. Symposium Coastal and ocean management, pp. 1345-1359.

Gornitz, V., 1990 Vulnerability of the east coast, Usa to future sea level rise. Journal of Coastal Research Special Issue No.9 pp. 201-237.

Greeve, C.A., Cowell. P. J., thom B.G., 2000. Application of a Geographical Information System for Risk Assessment on Open Ocean Beaches: Colaroy/Narrabeen Beach, Sydney, Australia- An Example. *Enviromental Geosciences*, Volume 7, Number 3, pp. 149-161.

Inman , D.L. y C.E. Nordstrom. 1971. On tectonic and morphologic clasification of coasts. *Journal of Geology*, V 79 N 1 pp.1-21 pp

King , C.A.M. 1972. The relationship between wave incidence , wind direction, and beach changes at Merardsen Bay, *Beaches and coasts* 2,ed. St Martins Press , New York, 570 p.

Komar P.D. 1976 *Beach processes and sedimentation*. Prentice Hall, Inc. New Jersey, E.U.A. 429 p.

Komar, P. D. y Shih, S. 1993. Cliff Erosion along the Oregon Coast: A Tectonic-Sea Level Imprint Plus Local Control by Beach Processes. *Journal of Coastal Research* 9 (3) pp. 747-765

Komar, P.D. 2000. Coastal Erosion - Underlying Factors and Human Impacts : *Shore & Beach*, vol 68 (1), pp. 3-16.

Lazcano-Venegas H., 1997. Variación del perfil de playa bajo condiciones de tormenta en la zona de Playas de Tijuana, B.C. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C.

Lorang, M.S., 2000 Predicting Threshold Entrainment Mass for a Boulder Beach. *Journal of Coastal Research* 16 (2) pp. 432-445.

May., J. P., 1974. WAVENRG: A computer program to determine the distribution of energy dissipation in shoaling water waves with examples from coastal Florida. In: W.F. Tanner (Ed.), *Sediment Transport in the Near Shore Zone*, Florida State University, pp. 22-61.

Mendoza, E. T., 1999. Variación espacio temporal del perfil de playa en Rosarito Baja California. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C.

Minch. J.A. 1967. Stratigraphy and structure of the Tijuana Rosarito Beach area, Northwestern Baja California, Mexico. Geological Society of America Bulletin. V.78 pp. 1155-1178

Montes de Oca. M., 1985. Topografía. Representaciones y servicios de ingeniería S.A. y Litográfica Ingramex. México D.F. 344 p.

Monti A.J., 2000. Evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera basada en indicadores ambientales. Tesina de Especialidad en administración en Recursos Marinos, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B.C.

Mora-Chavarria, J.M., y Silva-Casarin, R., 1998 Método Simplificado para la predicción del cambio en la línea de costa. Congreso Latinoamericano de Hidráulica Oaxaca, México

Moffat & Nichol, Engineers. 1989. Historic wave and sea level data report, San Diego region. Coast of California Storm and Tidal Wave Study 88-6. Los Angeles , California: U.S. Army Corps of Engineers, Los Angeles District.

National Research Council., 1990 Managing Coastal Erosion, National Academy Press, Washington D.C. 182 p.

Nijkamp P. y Rietveld P., 1990. Multicriteria Evaluation in Physical Planning. Elsevier Science Publications. Amsterdam. The Netherlands 219 p.

Pethick, J.S., Crooks S., 2000. Development of coastal vulnerability index: a geomorphological perspective. Environmental Conservation 27 (4) pp. 359- 367.

Queleennec, R. E., 1989. The Corine (coastal Erosion Project): identificaton of coastal erosion problems and data base on the littoral enviroment of eleven european contries. Coastal Zone pp. 4594-4601.

Resctor . R.L. 1954 Laboratory study of the equilibrium profiles of beaches . U.S. Army Corps of Engineers. Beach Erosion Tech. Memo .no.20. 26 p.

Ripple, W. J. 1986 GIS For Resource Management: A Compendium, American Society for Photogrammetry and remote seinsing and american congress on surveying and mapping. Virginia. USA 288 p.

Romero, G. Y Maekrey, A., 1993. Como entender los desastres naturales. 1-8 En Andrew Maskrey. Los desastres no son naturales: La red de estudios sociales. Bogotá. 167 p.

Silva-Casarín, R., 1997. Apuntes de clase "Morfodinámica de playas . DEP FI Facultad de Ingeniería UNAM. México. 80 p.

Sorensen, J. C., Mc Creary, S.T. y Brandani, A., 1992. Costas: arreglos institucionales para manejar ambientes y recursos costeros. United State Agency for International development. International Coastal Resource Center. University of Rhode Island 185 p.

Star, J., y Estes, J., 1990. Introduction to Geographic Information Systems Prentice Hall New Jersey, USA, 303 p.

Stone, G. W., y D.W. Fischer, 1985, Quantifying Florida's Coastal Storm Wave Susceptibility, Proceedings of Coastal Zone '85, ASCE, New York, pp. 2374-2388.

Stone, G. W., Xu, P. P., y Zhang, X. 1995. Estimation of the wave field during hurricane Andrew and morphological change along Louisiana coast. *Journal of Coastal Research* 21 (3) pp. 234-253.

Thieler, W.R., y Hammar-Klose, E.S., 2000, National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise; Preliminary results for the U.S. Atlantic Coast: U.S. Geological Survey Open File Report pp. 99-593, (<http://woodshole.er.usgs.gov/epubs/openfiles/ofr99-593>).

Torres, C., 1999. Estimación del Campo de oleaje y corrientes litorales en la costa noroeste de Baja California, México durante el evento de el Niño de 1998

UNDRO, 1979. Natural disasters and vulnerability analysis. Report of experts group meeting, Génova

U. S. Army Corps of Engineers, 1984 Shore Protection Manual, U. S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia, vol II, 455 p.

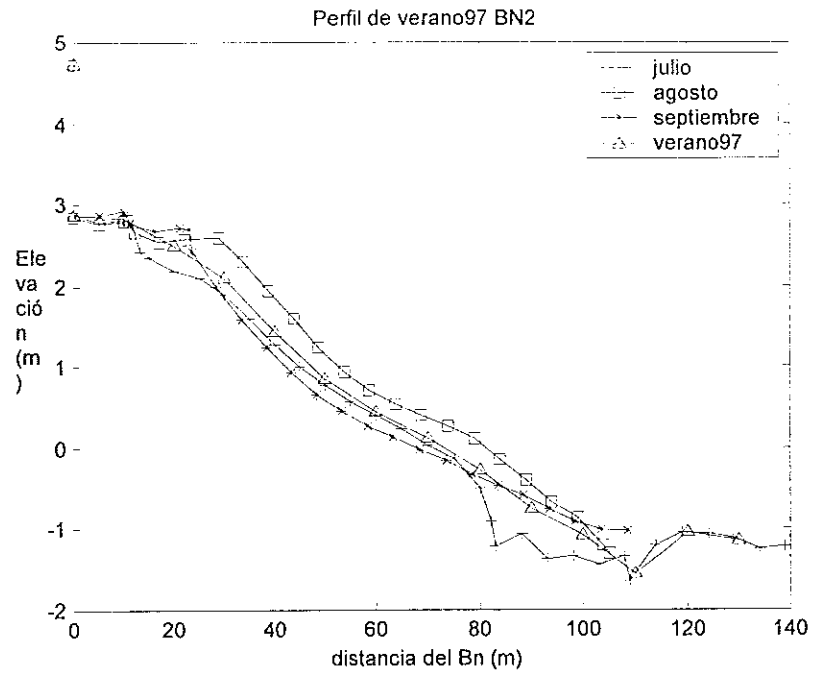
Wiegel, R.L. 1964 Oceanographical Engineering. Prentice Hall, Englewood Cliffs N.J. 53 p.

Wilches-Chaux, G., 1993 La vulnerabilidad global. 9-50 en Andrew Maskrey. Los desastres no son naturales: La red de estudios sociales. Bogotá. 167 p.

Wright, L.D. y Short A.D., 1983 Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In *Handbook of Coastal Processes and Erosion*. P. D. Komar (editor), Boca Raton, FL CRC press, pp.35-64.

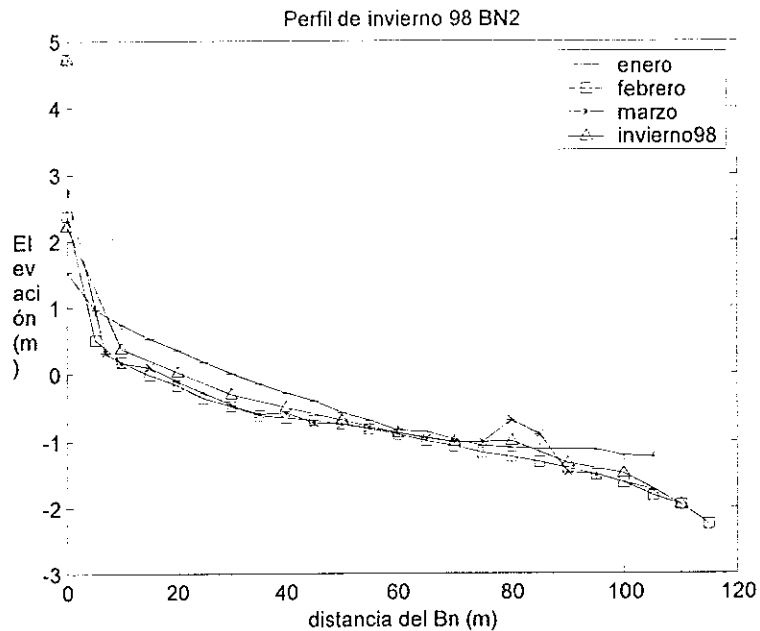
Anexo 1

m Verano97	
0	4.73
0.1	2.87
10	2.84
20	2.486
30	2.094
40	1.425
50	0.849
60	0.434
70	0.114
80	-0.27
90	-0.759
100	-1.085
110	-1.55
120	-1.052
130	-1.138



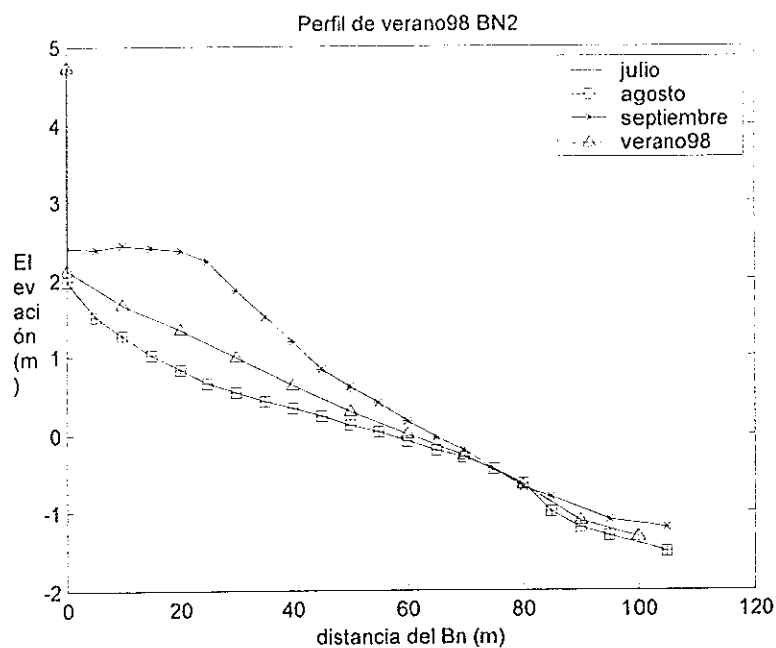
Ancho de Playa	Pendiente de Playa	Granulometría
72 m	3.08	2.89 phi
NBMI	Fórmula	Carrillo Berumen 98

m	Invierno 98
0	4.73
0.1	2.213
10	0.37
20	0.02
30	-0.317
40	-0.507
50	-0.7
60	-0.89
70	-1.03
80	-1.017
90	-1.34
100	-1.498
110	-1.97



Ancho de Playa	Pendiente de Playa	Granulometría
22 m	3.80	2.75 phi
NBMI	Fórmula	Carrillo Berumen 98

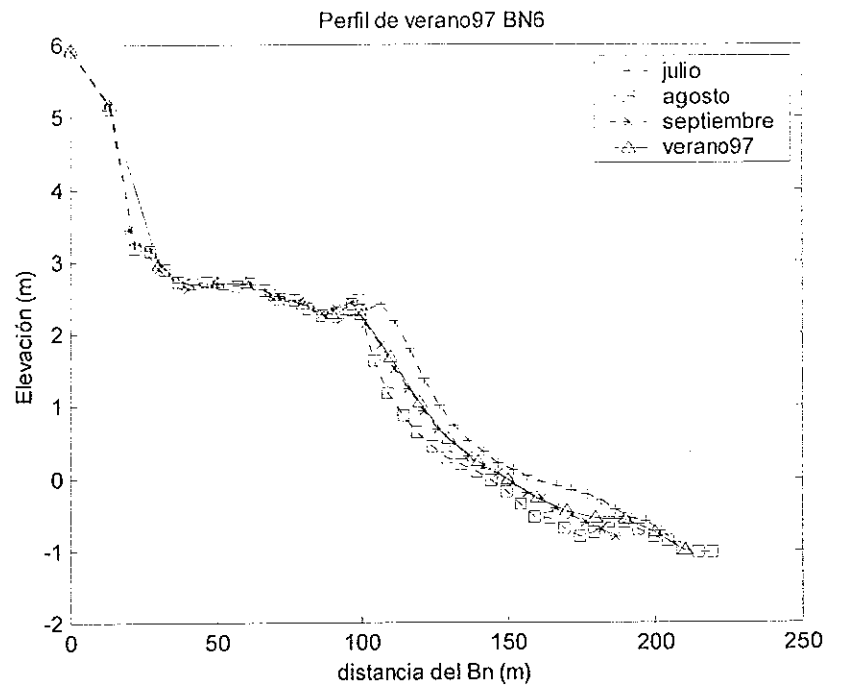
m Verano98	
0	4.73
0.1	2.11
10	1.667
20	1.343
30	0.987
40	0.623
50	0.287
60	-0.003
70	-0.27
80	-0.653
90	-1.11
100	-1.317



Ancho de Playa	Pendiente de Playa	Granulometría
59 m	3.42	2.81
NBMI	Fórmula	Carrillo Berumen

		phi	media	mediana	desviación std.
BN2	Postplaya	1.6158	326.286	296.429	139.477
BN2	Anteplaya	1.5309	346.068	313.559	142.438
BN2	Rompiente	1.604	328.955	295.578	154.744

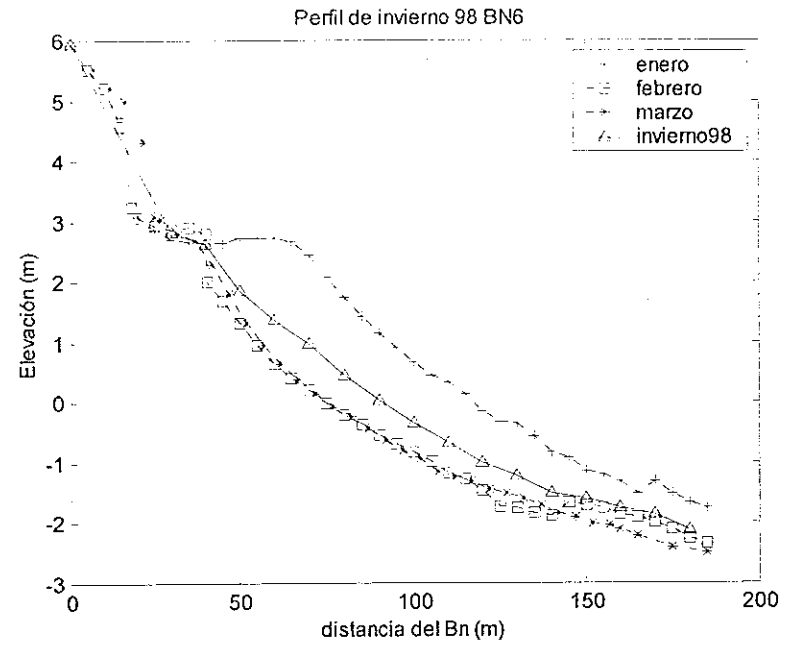
m	verano97
0	5.93
13	5.16
30	2.955
40	2.677
50	2.694
60	2.703
70	2.525
80	2.416
90	2.269
100	2.252
110	1.67
120	1.046
130	0.546
140	0.226
150	-0.031
160	-0.274
170	-0.451
180	-0.564
190	-0.576
200	-0.749
210	-0.996



Ancho de Playa	Pendiente de Playa	Granulometría
145 m	2.43	2.75
NBMI	Fórmula	Carrillo Berumen 98

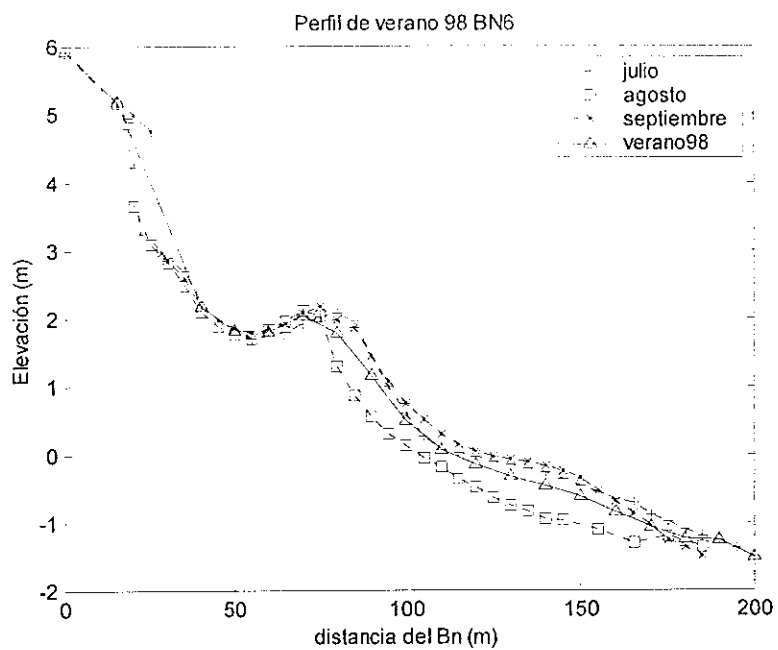
m Invierno 98

0	5.93
30	2.819
40	2.629
50	1.859
60	1.379
70	0.965
80	0.453
90	0.019
100	-0.348
110	-0.683
120	-0.997
130	-1.216
140	-1.499
150	-1.6
160	-1.75
170	-1.863
180	-2.117



Ancho de Playa	Pendiente de Playa	Granulometría
92 m	3.29	2.8
NBMI	Fórmula	Carrillo Berumen 98

m Verano98	
0	5.93
15	5.176
40	2.177
50	1.83
60	1.813
70	2.037
80	1.79
90	1.157
100	0.5
110	0.06
120	-0.153
130	-0.323
140	-0.457
150	-0.615
160	-0.85
170	-1.063
180	-1.242
190	-1.26
200	-1.52

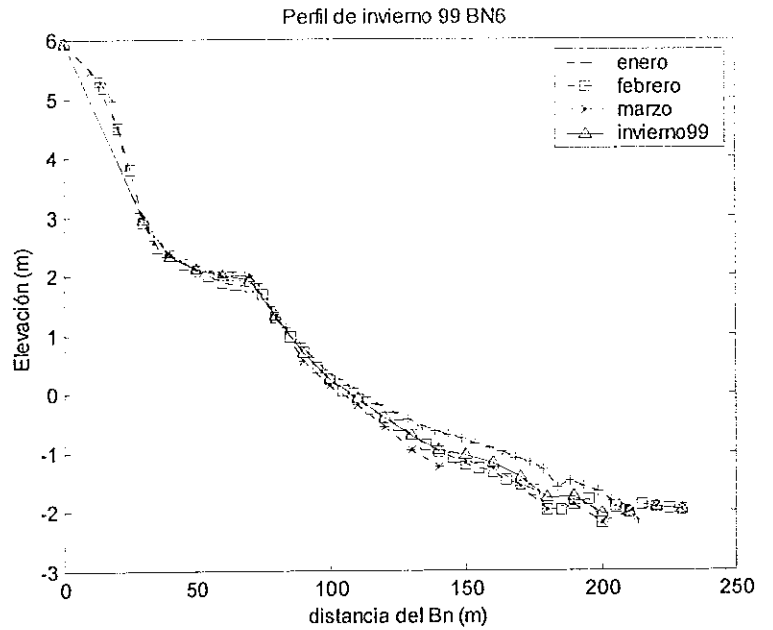


Ancho de Playa	Pendiente de Playa	Granulometría
112 m	2.35	Ver tabla
NBMI	Fórmula	Verano 2000

granulometría

	phi	media	mediana	desviación std.
BN6 postplaya	1.6767	312.803	278.791	153.521
BN6 anteplaya	1.819	283.422	253.539	132.793
BN6 rompiente	1.6767	312.803	278.791	153.521

m Invierno 99	
0	5.93
30	2.942
40	2.345
50	2.117
60	1.998
70	1.933
80	1.323
90	0.683
100	0.246
110	-0.079
120	-0.404
130	-0.71
140	-0.961
150	-1.055
160	-1.18
170	-1.412
180	-1.767
190	-1.751
200	-2.031
210	-2.007
220	-1.93
230	-1.97



Ancho de Playa	Pendiente de Playa	Granulometría
109 m	2.45	2.79
NBMI	Fórmula	Carrillo Berumen 98

Anexo 2













