

Centro de Investigacion Cientifica y de Educacion Superior de Ensenada

FACTORES DE VULNERABILIDAD EN SISTEMAS
LITORALES DE BAJA CALIFORNIA MEXICO ;
BAHIA DE SALSIPUEDES, BAHIA DE TODOS
SANTOS Y PUNTA CABRAS!

TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS

LIDIA SILVA INIGUEZ

ENSENADA, B. C. MEXICO. AGOSTO DE 1995.

RESUMEN de la Tesis de Lidia Silva Iñiguez presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO EN CIENCIAS** en **ECOLOGIA MARINA**. Ensenada, Baja California, México. Agosto de 1995.

FACTORES DE VULNERABILIDAD EN SISTEMAS LITORALES DE BAJA CALIFORNIA (MEXICO): BAHIA DE SALSIPUEDES, BAHIA DE TODOS SANTOS Y PUNTA CABRAS.

Resumen aprobado por: _____

M. en C. Anamaría Escofet Giansone.
Director de tesis

El índice de sensibilidad ambiental (ISA, Gundlach y Hayes, 1978) permite evaluar la vulnerabilidad de la línea de costa al arribo y permanencia de sustancias alóctonas provenientes del océano. Con base en este índice, se determinó la vulnerabilidad de ambientes litorales en tres localidades selectas de la costa de Baja California (México): Bahía de Salsipuedes, Bahía de Todos Santos y Punta Cabras. La sistematización de la información contenida en los antecedentes del método sugieren que el mismo podría actualizarse con la introducción de un atributo adicional para valor el impacto estético y/o a la salud en forma independiente del impacto biológico. El ejercicio de calibración para determinar la capacidad de predicción del ISA indicó que el método tiene muy buena capacidad predictiva sólo para los casos en que el material arribado esté en estado líquido. Se propone una modificación para evaluar el comportamiento de material sólido de origen natural, indicándose la necesidad de ajustes adicionales si el material sólido fuera antropogénico, potencialmente peligroso. En los tres sitios estudiados, existieron diferencias entre los valores del ISA asignados con base a la cartografía (ISAc) y los asignados por mediciones directas de campo (ISAm). Las mayores fuentes de variación ocurrieron en costas cartográficamente indicadas, como acantilados expuestos, playas de arena y playas protegidas mixtas. Se comprobó que el método de Mc.Lachlan (1980) es el más adecuado para desglosar la vulnerabilidad de las playas de arena. En la zona de estudio se reunieron nueve de los trece tipos de costa propuestos por Gundlach y Hayes (1980). Los grados de vulnerabilidad estuvieron desigualmente distribuidos en los tres sitios estudiados. El único que presentó ambientes con alta vulnerabilidad fue Bahía de Todos Santos, siendo también el único sitio que exhibió los tres grados de vulnerabilidad (57.5% de su costa posee vulnerabilidad alta; 37.7%, vulnerabilidad baja; 4.6% vulnerabilidad media). En los otros dos sitios sólo hubo vulnerabilidad baja y media (Bahía Salsipuedes: 82.6% de la longitud de su costa con vulnerabilidad baja; 17.3% con vulnerabilidad media).

Punta Cabras: 60% de la costa con vulnerabilidad media; 40% con vulnerabilidad baja). Dado que el origen de los materiales que llegan a la costa por vía oceánica está fuera del control de las actividades asentadas sobre la misma, y sobre la línea de playa, el manejo de estas condiciones queda prácticamente limitado a acciones posteriores a cualquier evento. La proyección de accidentes ambientales en la zona de estudio indica que, por el uso recreativo y/o por la importancia biológica de los sitios, la limpieza inducida debería contemplarse aún en los casos con baja vulnerabilidad, donde se esperaría una limpieza natural rápida. En los sitios con vulnerabilidad alta, se resalta la importancia de bloquear físicamente la llegada de sustancias. Aunque la prevención de accidentes ambientales en las aguas costeras sería la mejor forma de evitar perjuicios biológicos y/o económicos en las zonas más vulnerables de la costa, las actividades actuales y futuras deben tomar en cuenta la poca viabilidad de este tipo de acción. En cambio, resulta más factible planear la localización y operación de actividades con base en los riesgos antropogénicos provenientes del mar.

FACTORS OF VULNERABILITY IN LITTORAL SYSTEMS OF BAJA CALIFORNIA (MEXICO): BAHIA SALSIPUEDES, BAHIA DE TODOS SANTOS AND PUNTA CABRAS

ABSTRACT

The Environmental Sensitivity Index (ESI, Gundlach and Hayes, 1980) allows the evaluation of the coastline vulnerability to the arrival and permanence of substances coming from the ocean. On the basis of this index, the vulnerability of littoral systems was determined at three sites of the Baja California coast: bahia Salsipuedes, bahia de Todos Santos and Punta Cabras. It is suggested that the method might be updated by the introduction of an additional attribute in order to evaluate aesthetic and health impacts independently from the biological impact. The calibration exercise to determine the predictive capability of the ESI showed that the method has a very good predictive capability only for the cases in which the arrived material is fluid. A modification to evaluate the behavior of solid material is suggested, with the indication of the necessity of additional adjustments in case the solid material is anthropogenic, potentially dangerous. In the three study sites there existed differences between the values of the ESI assigned on the basis of cartography (ESIC) and those assigned from direct field measurements (ESIM). The most important differences occurred on coasts that in the cartography were labeled as exposed cliffs, sandy beaches and mixed protected beaches. It was proven that the method by McLachlan (1980) is the most adequate to evaluate vulnerability of sandy beaches. The study sites exhibited nine of the thirteen types of coastline proposed by Gundlach and Hayes (19880). Degree of vulnerability were unevenly distributed among the three study sites. The only site that exhibited high vulnerability was bahia de Todos Santos, which also was the only site in which all three degrees of vulnerability occurred (57.5% of the coast has high vulnerability, 37.7% has low vulnerability, 4.6% has medium vulnerability). The other two sites had low and medium vulnerability (bahia Salsipuedes: 82.6% of the coast had low vulnerability, 17.3% had medium vulnerability; Punta Cabras: 60% of the coast had medium vulnerability, 40% had low vulnerability). The arrival of substances from the ocean is out of the control of the several human activity settled on the coast because the origin of substances is distant. Management is thus limited to post-event actions. The foreseen of environmental accidents in the study sites indicates that the recreational and biological importance of the coast would make induced cleaning advisable even at sites with low vulnerability in which a rapid natural cleaning could be expected. At sites with high vulnerability, physical barriers should be considered in order to avoid the arrival of substances. Prevention of environmental accidents in coastal waters should be the best way to protect areas with high vulnerability. Since this is very difficult to be achieved, coastal activities should plan for location on the base of man-induced risks.

**CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA**

**DIVISION DE OCEANOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

**FACTORES DE VULNERABILIDAD EN SISTEMAS LITORALES DE
BAJA CALIFORNIA (MEXICO): BAHIA DE SALSIPUEDES, BAHIA
DE TODOS SANTOS Y PUNTA CABRAS.**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para
obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS** presenta:

LIDIA SILVA IÑIGUEZ

Ensenada, Baja California, México. Agosto de 1995.

DEDICATORIA

A mis dos grandes tesoros: ISAY Y RAMON ALEJANDRO

**A mi gran amor, compañero, amigo y esposo RAMON
por todo el cariño, comprensión, paciencia
y apoyo que me ha brindado.**

**A mis padres: TERESA y ALEJANDRO
por haberme dado el ser y todo lo que soy.**

**A mis hermanos:
BERTHA, ESTHER, ALEJANDRO,
MA. LUISA, TERESA, RAFAEL, MARTHA
por todo su apoyo y cariño que me han brindado.**

**A las familias: ÍÑIGUEZ MARTINEZ, SOSA AVALOS, SILVA ÍÑIGUEZ,
VALENZUELA SILVA, GARCIA SILVA, SILVA, RINCON SILVA,
SILVA ORTEGA, ALMANZA SILVA. Por su gran apoyo.**

AGRADECIMIENTOS

A la **M. en C. Anamaría Escofet** por el gran apoyo y dedicación como Directora de Tesis además, por todos los conocimientos y el apoyo moral que me brindó durante mi estancia en Ensenada.

A los investigadores del Comité de Tesis: **Dra. Diana Tentori, Dr. Leonardo Lizárraga** y al **M. en C. Lorenzo Gómez-Morín Fuentes**, que apoyaron este trabajo con acertados y valiosos comentarios, sugerencias y conocimientos.

A la **Universidad de Colima** y muy en especial al **C. Rector Lic. Fernando Moreno Peña**, por su valioso apoyo durante la realización de mis estudios de Maestría.

Al **Lic. Jorge Humberto Silva Ochoa**, por su apoyo durante toda mi formación profesional.

A todos los integrantes del Laboratorio de Bentos del CICESE que apoyaron la realización de este trabajo y, muy especialmente, al **M. en C. Hector Atilano Silva** por su gran apoyo y su valiosa ayuda en la revisión del escrito final.

Al **CONACyT** por haberme becado durante mi estancia en el CICESE.

Al **Sr. José Luis Corona** del "Fraccionamiento Campestre Rancho Bonito", por su colaboración para la realización de este trabajo.

A **todos los Investigadores y Profesores del CICESE** por compartir sus conocimientos y experiencias.

A todo el personal del CICESE en general y muy especialmente a **Lupita Morales** por el apoyo brindado dentro de la biblioteca.

Al personal de Laboratorio de Geología de la UABC y en particular al **M. en C. Oscar González Yajimovlch.**

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I. INTRODUCCION.....	1
I.1 Objetivos.....	3
II. ANTECEDENTES.....	4
II.1. Antecedentes generales.....	4
II.1.1. Eventos y accidentes mundiales.....	4
II.1.2. Evolución de los índices propuestos para medir el grado de vulnerabilidad de la línea de costa a la llegada y permanencia de sustancias alóctonas provenientes del océano.....	8
II.2 Antecedentes particulares de la zona de estudio: accidentes ambientales en la costa noroeste de Baja California.....	10
III. AREA DE ESTUDIO.....	13
III.1. Marco regional.....	13
III.2. Sitios específicos de estudio.....	16
IV.- MATERIAL Y METODO.....	22
IV.1. Sistematización de los antecedentes del ISA.....	22
IV.2. Ejercicio de calibración del ISA.....	22
IV.2.1. Generación de una modificación al ISA para evaluar material sólido.....	25
IV.3. Ejercicio de calibración cartográfico del ISA.....	25
IV.3.1. Asignación del ISA con base en las mediciones directas de campo.....	25
IV.3.1.1. Trabajo de campo.....	26
IV.3.1.2. Análisis de laboratorio.....	26
IV.4. Comparación de los resultados obtenidos del ejercicio de calibración cartográfico.....	29
IV.5. Tipos de línea de costa en la zona de estudio: localización, valores del ISA y Vulnerabilidad.....	30
V. RESULTADOS.....	31
V.1. Sistematización de los antecedentes del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA).....	31
V.2. Ejercicio de calibración del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA).....	33
V.2.1. Aplicación estándar del ISA.....	35
V.2.1.1. El evento del "Tampico Maru".....	35
V.2.1.2. El evento del "Florida".....	36

V.2.1.3. El evento del "Bouchard 65"	36
V.2.1.4. El evento del "Arrow"	37
V.2.1.5. Evento del supertanque "Urquiola"	39
V.2.1.6. En el evento de "Punta Cabras"	42
V.2.2. Generación de una modificación del ISA que permita evaluar el arribo de material sólido	44
V.2.2.1. Aplicación del ISA modificado a casos de material sólido natural	45
V.2.2.2. Aplicación del ISA modificado a un caso hipotético en Punta Cabras donde se supuso que el material sólido arribado fuera antropogénico	46
V.3. Resumen de los resultados de la calibración.	49
V.4. Ejercicio de calibración cartográfico del ISA	51
V.4.1. Asignación del ISA usando únicamente material cartográfico.	51
V.4.1.1. Bahía de Salsipuedes.	55
V.4.1.2. Bahía de Todos Santos	55
V.4.1.3. Punta Cabras.	56
V.4.2. Asignación del ISA con base en mediciones directas de campo	57
V.4.2.1. Playas de arena	57
V.4.2.2. Acantilados expuestos.	59
V.2.2.3. Playas expuestas mixtas.	60
V.4.3. Comparación de los resultados obtenidos con el ISAc y el ISAm	62
V.4.4. Análisis estadístico	63
V.5. Tipos de línea de costa en la zona de estudio: localización, valores del ISA, y vulnerabilidad.	66
V.6. Proyección de eventos en la zona de estudio.	71
VI. DISCUSION.	77
VII. CONCLUSIONES.	82
LITERATURA CITADA	84

LISTA DE FIGURAS

Figura

Página

1 Area de Estudio.

20

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I	Principales derrames mundiales de hidrocarburos y/o derivados por accidentes de embarcaciones.	6
II	Sensibilidad de algunas especies marinas a derivados aromáticos solubles reportados por Moree <i>et al.</i> , 1973 y Moore <i>et al.</i> , 1978.	6
III	Evolución de los índices propuestos para medir el grado de vulnerabilidad de la zona costera (Robillard <i>et al.</i> , 1980).	9
IV	Derrames de hidrocarburos y/o derivados por accidentes de embarcaciones en la costa noroeste de Baja California.	11
V	Clasificación ambiental propuesta en orden creciente de vulnerabilidad a daños por derrames de hidrocarburos propuesta por Gundlach y Hayes, 1978.	21
VI	Evaluación de la capacidad predictiva del ISA a la llegada y permanencia de material ajeno proveniente del océano.	23
VII	Escala de rangos para valorar el grado de exposición de playas de arena propuesto por McLachland (1980).	27
VIII	Resumen de las actividades de campo en la Bahía de Salsipuedes, Estero Punta Banda y Playas de Punta Cabras, B.C.	26
IX	Tipos de línea de costa y sus atributos físicos y biológicos relevantes para la asignación de los valores del ISA. (Eo: Energía del oleaje; Pp: Profundidad de penetración; τ : Tiempo de permanencia; CNL: Capacidad natural de limpieza; Mo: Mortalidad y Re: Recuperación).	31
X	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, Aplicando el ISA estándar en el evento del "Tampico Maru".	34

LISTA DE TABLAS (Continuación)

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
XI	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Florida".	35
XII	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Bouchard 65".	36
XIII	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Arrow". (*) Indica que se aplicó el ISA con base a la descripción original que atribuye al "Arrow" el hidrocarburo presente; no se consideraron datos posteriores sobre presencia de hidrocarburos no pertenecientes al "Arrow". La correspondencia de los atributos que no se reportan en la literatura se consideran diferentes a lo esperado.	37
XIV	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Urquiola". La correspondencia de los atributos que no se reportan en la literatura se consideran diferentes a lo esperado.	39
XV	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento de "Punta Cabras". El atributo de recuperación no aplica debido a la naturaleza del material, su correspondencia se consideró diferente a la esperada.	42
XVI	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA modificado al evento real de "Punta Cabras".	44
XVII	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA modificado al evento "Punta Cabras" (<u>caso hipotético</u>).	46
XVIII	Resultado del ejercicio de calibración de la capacidad predictiva del índice de sensibilidad ambiental (ISA): Aplicación estándar del ISA (renglones 1-6); aplicación del ISA modificado para evaluar el arribo de material sólido (renglón 7); igual al anterior, para casos en que el material sólido arribado sea peligroso (renglón 8).	48

LISTA DE TABLAS (Continuación)

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
XI	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Florida".	35
XII	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Bouchard 65".	36
XIII	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Arrow". (*) Indica que se aplicó el ISA con base a la descripción original que atribuye al "Arrow" el hidrocarburo presente; no se consideraron datos posteriores sobre presencia de hidrocarburos no pertenecientes al "Arrow". La correspondencia de los atributos que no se reportan en la literatura se consideran diferentes a lo esperado.	37
XIV	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Urquiola". La correspondencia de los atributos que no se reportan en la literatura se consideran diferentes a lo esperado.	39
XV	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento de "Punta Cabras". El atributo de recuperación no aplica debido a la naturaleza del material, su correspondencia se consideró diferente a la esperada.	42
XVI	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA modificado al evento real de "Punta Cabras".	44
XVII	Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA modificado al evento "Punta Cabras" (<u>caso hipotético</u>).	46
XVIII	Resultado del ejercicio de calibración de la capacidad predictiva del Índice de sensibilidad ambiental (ISA): Aplicación estándar del ISA (renglones 1-6); aplicación del ISA modificado para evaluar el arribo de material sólido (renglón 7); igual al anterior, para casos en que el material sólido arribado sea peligroso (renglón 8).	48

LISTA DE TABLAS (Continuación)

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
XIX	Comparación de los resultados del ejercicio de calibración con base en el ISA estándar y el ISA modificado para evaluar la vulnerabilidad de la costa.	48
XX	Caracterización de la franja costera en la zona de estudio, con base al ISA asignado sobre la cartografía (ISAc) (izquierda de la tabla) y sobre mediciones directas de campo (ISAm) (derecha de la tabla). Entre paréntesis, se indican condiciones que pueden interpretarse a partir de la orientación de los segmentos de costa (columna 2) o de los análisis de campo (columna 5).	51
XXI	Valores del ISAc asignados en la zona de estudio, agrupados por tipos de costa.	55
XXII	Valoración del grado de exposición de las playas de arena localizadas en los intermareales tipos de la zona de estudio, usando el método de Mc.Lachlan, 1980.	59
XXIII	Resumen de la comparación de los resultados obtenidos con el ISAc y el ISAm.	62
XXIV	Resultados del análisis estadístico.	63
XXV	Desglose de las diferencias entre el ISAc y el ISAm por tipo de costa.	64
XXVI	Resultados globales sobre la localización de los tipos de línea de costa y sus valores del ISA en la zona de estudio. Los tipos de línea de costa, según Gundlach y Hayes (1978); los valores del ISA son una combinación de los establecidos por estos autores y los resultados de este estudio aplicando la metodología de Mc.Lachlan (1980) en las playas de arena.	65
XXVII	Resumen de la vulnerabilidad en cada uno de los sitios de estudios, por grupos de tipos de costa.	68

FACTORES DE VULNERABILIDAD EN SISTEMAS LITORALES DE BAJA CALIFORNIA (MEXICO): BAHIA DE SALSIPUEDES, BAHIA DE TODOS SANTOS Y PUNTA CABRAS.

I. INTRODUCCION

Las alternativas económicas, como la urbanización, la pesca, el turismo e industria, el incremento y concentración de la población humana, han ocasionado durante los últimos años una fuerte presión sobre los recursos naturales y el paisaje de la zona costera que, por tanto, se considera de las áreas más afectadas por el quehacer humano (Brandani y Schnack, 1986; Rivas y Cendrero, 1990).

Los seis tipos de actividades humanas principales que se desarrollan en los ambientes costeros son: 1) Residencial y recreacional; 2) industrial y comercial; 3) disposición de desechos; 4) agricultura, acuacultura y pesca; 5) reservas naturales y 6) militares y estratégicas. Dichas actividades pueden variar ampliamente en tiempo y espacio, y algunas pueden ser complementarias y/o conflictivas (Ketchum, 1972 citado en Carter, 1991).

Los ambientes litorales (playas, estuarios, lagunas, puntas rocosas, etc), presentan una gran variedad de problemas como son: erosión natural y artificial, sedimentación y degradación asociada a la urbanización, sobreutilización de las playas y contaminación. Esta última es el efecto más notorio de los factores asociados a las actividades antropogénicas, tanto locales como las que se originan a distancia y que posteriormente por algún medio (viento, ríos y corriente), son transportados hasta estos ambientes.

La llegada y permanencia de sustancias alóctonas procedentes del océano pueden producir disturbios o impactos ecológicos, a la salud humana, socio-económicos y estéticos sobre la línea de costa. La gravedad de estos eventos depende de las propiedades del contaminante (naturaleza química, concentración,

estado físico disuelto o particulado, así como la periodicidad o frecuencia con que el contaminante es introducido y/o llega a la zona, y a la vulnerabilidad y capacidad de limpieza del sitio específico al que llegan (Vallejo-Salazar, 1991; Villegas-Jiménez, 1994).

El manejo de peligros y riesgos en las zonas costeras presentan grandes dificultades, por tratarse de fenómenos impredecibles, no periódicos y de magnitud incontrolable como es el caso de derrames de sustancias peligrosas y/o basuras (Cendrero, 1989; Charlier, 1989; Qanir, 1989; Vallejo-Salazar, op. cit.).

El Índice de sensibilidad ambiental (ISA), propuesto por Gundlach y Hayes (1980) permite evaluar la vulnerabilidad de la línea de costa a la permanencia de sustancias alóctonas provenientes del océano al medio. Se le considera una herramienta efectiva, rápida y relativamente de bajo costo, que prevé información útil para predecir y planear un manejo adecuado de la zona costera.

Se ha empleado con buenos resultados en la determinación de la vulnerabilidad a derrames de hidrocarburos en las costas de E.U. (Gundlach y Hayes, 1978); en las costas de Alaska (Michel *et al.*, 1978); en España (Gundlach *et al.*, 1978); en el estado de Washington (Kopenski y Long, 1981); en las costas del Golfo de México (Contreras y *et al.*, 1988) en Kuwait (Mohammad *et al.*, 1985) y más recientemente en las costas de Texas (incluyendo Laguna Madre), durante el derrame del "Ixtoc I".

Estos conceptos también pueden ser aplicables al arribo de basura y desechos sólidos naturales o artificiales, que se están reconociendo como otra fuente principal de contaminación marina (Morris, 1980; Clarck, 1989; Pearce, 1992; Rivic *et al.*, 1992; Corbin y Singh, 1993; Laws, 1993; Garrity y Levings, 1993). Sus efectos sobre la zona costera incluyen daños a la salud humana y ecológicos, degradación estética y pérdidas económicas.

En general, se ha tratado de identificar diferentes grados de vulnerabilidad, donde un extremo serían las marismas y sistemas estuarino-lagunares (máxima

vulnerabilidad) y el otro serla puntas rocosas y/o acantilados expuestos (mínima vulnerabilidad) (Gundlach, *et al.*, 1980; Davis, *et al.*, 1980).

En Baja California, los municipios de Tijuana y Ensenada tienen concentrada su población en la franja costera. Este hecho ha producido que en los últimos 15 años se incremente la demanda de espacio para una variedad de usos competitivos como fuentes de producción y factores de desarrollo tales como sitios de asentamientos humanos, centros turísticos, complejos industriales y zonas agrícolas, pesqueras y acuaculturales. Este desarrollo, en su mayoría desordenado, ha sido la causa principal de problemas no sólo de carácter físico (degradación ambiental) sino también social y de salud, haciendo de primordial importancia planear y ordenar los usos de la zona costera y así lograr un aprovechamiento óptimo que garantice su estabilidad y máximo rendimiento (Bennett-Domínguez, 1990; Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología, 1992; Vázquez-Botello *et al.*, 1994).

En general puede predecirse que toda la costa del estado seguirá la tendencia general a nivel mundial de concentración de la población sobre la zona costera (Contreras, *et al.*, 1988). Por lo tanto, son necesarias aportaciones que ayuden a planear el desarrollo costero.

En este trabajo se profundizaron los alcances del índice de sensibilidad ambiental (ISA, Gundlach y Hayes, 1980) en tres localidades de la costa de Baja California: Bahía Salsipuedes, Bahía de Todos Santos y Punta Cabras.

1.1 Objetivos.

1. Explorar las bases conceptuales y los alcances aplicados del ISA.
2. Determinar con base en el ISA, la vulnerabilidad de ambientes litorales en tres localidades selectas de la costa de Baja California: Bahía de Salsipuedes, Bahía de Todos Santos y Punta Cabras, B.C.

3. Relacionar los resultados con propuestas integrables a programas de manejo de la zona costera.

II. ANTECEDENTES.

Los antecedentes importantes para este trabajo se presentan en dos grandes grupos: generales y particulares para la zona de estudio.

II.1. Antecedentes generales.

Esta sección muestra algunos de los principales eventos y accidentes mundiales de derrames de hidrocarburos y/o derivados. Además, la evolución de los índices propuestos para medir el grado de vulnerabilidad de la costa a la llegada y permanencia de sustancias alóctonas provenientes del océano.

II.1.1. Eventos y accidentes mundiales.

En la mayoría de los países el petróleo es la principal fuente de energía. Los combustibles derivados de él son usados en todo tipo de motores. En México, el 85% de la energía consumida es producida por esta vía (Cossio de los Santos, *et al.*, 1986, citado en Peraaza-Castillo, 1990).

En años recientes, se ha hecho un gran esfuerzo para cuantificar las descargas de hidrocarburos al océano por accidentes de barcos, ya que son una de las principales causas de contaminación; como la gran mayoría de estos percances ocurren cerca a la costa, su efecto es mayor en términos de cantidad como en impacto ambiental. El promedio de derrames puede variar considerablemente de un año a otro, dependiendo de la frecuencia de ocurrencia de accidentes; los de mayor envergadura han sido reconocidos por las reseñas. Los tanques WWII que en 1942 derramaron 533,000 tons de hidrocarburo en la costa Este de los E.U. (Campbell *et al.*, 1977 citado en Pavia *et al.*, 1982); el Emperatriz del Atlántico y el Capitán Egeo (1979) vertieron 300,000 ton. de hidrocarburo al Este de Tobago (Ware, 1989 citado en Laws, 1993); el Castillo de

Bellever derramó 250,000 ton. de hidrocarburo en el Cabo de Buena Esperanza en 1983 (Ware, op. cit.), y el Amoco Cádiz descargó 223,000 ton. de aceite crudo a lo largo de las costas francesas (D'Ozouville *et al.*, 1982). Por hacer una comparación con estos grandes accidentes, el Exxon Valdez (1989) derramó 35,000 ton. de hidrocarburos en las aguas costeras de Alaska (Laws op. cit.), (tabla I).

La contaminación marina por hidrocarburos representa un factor no favorable que puede ocasionar cambios permanentes en la estructura biológica de las aguas oceánicas. En general, el daño biológico es más severo si la descarga ocurre cerca o en un ambiente costero, ya que su recuperación total puede tomar años o décadas (Kullenberg, 1984 y Mironov, 1968, citados en Peraaza-Castillo, op. cit.).

La sensibilidad de la flora y/o fauna individual a los derivados de aromáticos solubles ha sido reportada por Moore *et al.*, 1973 y Moore *et al.*, 1978 (tabla II).

En la década de los 70's no se había considerado el riesgo que presentaba la salud humana al ingerir alimentos marinos contaminados con compuestos aromáticos; sin embargo, una evaluación detallada de los riesgos carcinogénicos debidos a la contaminación de organismos marinos, así como los riesgos secundarios a los humanos a través de la dieta fue solicitada por un grupo de expertos convocados por GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, 1985) quienes concluyeron que cuando los compuestos carcinogénicos presentes en los organismos marinos no han sido metabolizados o destruidos *post mortem* durante su cocción, existe riesgo de inducción de cáncer en los humanos que los consuman. La magnitud del riesgo es desconocida, pero se supone está relacionada con la naturaleza del compuesto, la concentración en el organismo y la cantidad del producto marino consumido (Peraaza-Castillo, op. cit.).

TABLA I. Principales derrames mundiales de hidrocarburos y/o derivados por accidentes de embarcaciones.

NOMBRE DE LA EMBARCACION Y LUGAR DEL ACCIDENTE.	FECHA	TIPO Y CANTIDAD DERRAMADA (tons).	REFERENCIAS
*Tanques <u>WWII</u> , costa Este de E.U.	1942	Varios; 533,740	Campbell <i>et al.</i> (1977)
* <u>Torrey Canyon</u> , costas U.K.	1967	Crudo; 117,000	Smith (1968)
* <u>Arrow</u> , Bahía de Chedabucto.	1970	Bunker C; 18,220	Owens (1971); Vandermeulen y Gordon (1976)
* <u>Metula</u> , Estrecho de Magallanes, Chile.	1974	Crudo; 53,000	Blount (1978); Hann (1974)
* <u>Amoco Cadiz</u> , costas Francesas.	1978	Crudo; 223,000	Gundlach y Hayes (1978); Hayes <i>et al.</i> (1979)
* <u>Urquiola</u> , La Coruña, España.	1978	Crudo; 110,000	Gundlach y Hayes (1977); Gundlach <i>et al.</i> (1978)
* <u>Howard star</u> , Bahía de Tampa.	1978	Crudo y destilado; 140	Getter <i>et al.</i> (1980a)
* <u>Peck Slip</u> , Este de Puerto Rico.	1978	Aceite No. 6; 1,500	Getter <i>et al.</i> (1980b); Gundlach <i>et al.</i> (1979)
* <u>Burmah Agate</u> , Texas.	1979	Crudos y refinados; 8,800	Thebeau y Kana (1981); Thompson <i>et al.</i> (1981)
** <u>Emperatriz del Atlántico y Capitán Egeo</u> , costa Este de Tobago.	1979	Varios; 300,000	Ware (1989)
** <u>El Castillo de Bellever</u> , Cabo de Buena Esperanza.	1983	Varios; 250,000	Ware (1989)
** <u>Exxon Valdez</u> , costas de E.U.	1989	Varios; 35,000	Laws, 1993

* citados en Pavia *et al.*, (1982). ** citados en Laws (1993).

TABLA II. Sensibilidad de algunas especies marinas a derivados aromáticos solubles reportados por Moore *et al.*, 1973 y Moore *et al.*, 1978.

TIEMPO DE EXPOSICION	CONCENTRACION ($\mu\text{g/ml}$)	ESPECIE	TIPO DE EFECTO
Unas cuantas horas.	1 a 100	Mayoría de especies marinas adultas	Letal.
Unas cuantas horas.	0.1 a 1	Estadios larvales de la mayoría de especies marinas.	Letal.
No se reportó	1 a 100	Gasterópodos marinos	Agudo y/o grave
No se reportó	5 a 50	Bivalvos marinos	Letal.
No se reportó	10 a 100	Algas marinas	Agudo y/o grave

II.1.2. Evolución de los índices propuestos para medir el grado de vulnerabilidad de la línea de costa a la llegada y permanencia de sustancias alóctonas provenientes del océano.

En décadas pasadas, se desarrollaron numerosos índices que representaban el efecto de los hidrocarburos sobre los recursos biológicos, físicos y humanos en la zona costera. Sin embargo, la aplicación de muchos de ellos en situaciones reales no mostraron éxito. Algunos, en virtud de su simplicidad, ignoran información esencial; otros son tan complejos que incluyen demasiado información y la presentan por partes en índices muy sencillos.

Estos índices a derrames de hidrocarburos y/o sustancias peligrosas han sufrido una gran evolución, la cual fue resumida por Robillard *et al.*, (1983) y sintetizada en la tabla III.

- En sus trabajos pioneros, Owen (1971 a y b) sugirió y describió detalladamente la relación básica entre la línea de costa, persistencia del hidrocarburo, procesos costeros y sensibilidad biológica.

- Posteriormente, Hayes *et al.*, (1976) definieron y clasificaron diez tipos de líneas de costa en términos de un índice de susceptibilidad a derrames de hidrocarburos, el cual se fundamenta en la longevidad física del aceite en cada tipo de ambiente, sin que se produzca limpieza mecánica.

- Varias contribuciones casi simultáneas (Ruby, 1977; Gundlach y Hayes, 1978; Ruby y Hayes, 1978; Michel, *et al.*, 1978) modificaron el índice de susceptibilidad de Hayes, *et al.*, (op. cit.), avanzando en la descripción de la persistencia del hidrocarburo en los diferentes ambientes costeros y haciendo algunas consideraciones biológicas. Este avance se conoce como índice de vulnerabilidad a derrames de hidrocarburos.

- Worbets (1979) agregó la sensibilidad humana a la escala de sensibilidad geológica y biológica definida por Hayes, *et al.*, (op. cit.). Además, introdujo una

escala que pondera varios recursos de la línea de costa, y desarrolló un sistema de clasificación numérico para el Mar Beaufort en las costas de Canadá.

- Nummendam (1980) definió ocho tipos de línea de costa en términos de retención potencial (persistencia) del aceite.

- Foget *et al.*, (1979) presentaron una clasificación de la sensibilidad modificada de Hayes *et al.*, (op. cit.), basándose en: a) tipo de hidrocarburo; b) penetración y hundimiento del aceite; c) nivel de energía en la línea de costa; d) temperatura ambiente; e) persistencia esperada del hidrocarburo y f) sensibilidad biológica. Esta última es una evaluación subjetiva basada en los niveles de mortalidad esperada de una especie dominante, recolonización esperada para las especies dominantes, y grado de recuperación de la comunidad. Posteriormente desarrollaron una matriz para clasificar la sensibilidad basándose en: a) diez tipos de línea de costa y b) cuatro niveles de sensibilidad relativa al tipo de hidrocarburo.

- Gundlach *et al.*, (1980) incorporaron la sensibilidad de algunos recursos biológicos tales como aves y mamíferos marinos en el índice de vulnerabilidad de Gundlach y Hayes (op. cit.) y renombró a este índice como índice de sensibilidad ambiental (ISA), el cual incluye también datos de estacionalidad y localización para los recursos biológicos en forma de símbolos en los mapas.

- Finalmente Robillard *et al.*, (op. cit.) describieron una combinación de la vulnerabilidad de la línea de costa y el índice de sensibilidad en términos de: a) contaminación potencial, características físicas y persistencia del hidrocarburo; b) procesos físicos en el momento del derrame; c) biología; d) geología y sedimentos; e) uso humano del área; f) reserva operacional y g) impactos de limpieza. Este índice fue desarrollado específicamente para ayudar a directores y operadores ambientales, quienes están encargados de implementar estrategias de protección y limpieza en los derrames de sustancias peligrosas. Sin embargo,

este índice no es de uso práctico, ya que toda la información recabada no se presenta en un índice sencillo de forma gráfica o narrativa.

TABLA III. Evolución de los índices propuestos para medir el grado de vulnerabilidad de la zona costera (Robillard *et al.*, 1980).

AUTOR	AÑO	APORTACION.
Owen	1971	Sugirió la relación básica entre la línea de costa, persistencia del aceite, sensibilidad biológica y procesos costeros.
Hayes <i>et al.</i>	1976	Definieron y clasificaron la región costera a través del Índice de Susceptibilidad (IS) a derrames de hidrocarburos, que se basa en la longevidad física del aceite en cada tipo de ambiente.
Ruby	1977	Modificaron el IS de Hayes <i>et al.</i> , describieron la persistencia del hidrocarburo en cada tipo de ambiente, e hicieron consideraciones biológicas. Renombraron a éste Índice como Índice de Vulnerabilidad (IV) a derrames de hidrocarburos.
Gundlach y Hayes	1978	
Ruby y Hayes	1978	
Michel <i>et al.</i>	1978	
Worbets	1979	Al IS de Hayes <i>et al.</i> , le agregó la sensibilidad humana e introdujo una escala que pondera varios recursos de la línea de costa. Desarrolló un sistema numérico de clasificación para el Mar de Beaufort, Canadá.
Foget <i>et al.</i>	1979	Modificó el IS de Hayes <i>et al.</i> , y desarrolló una matriz para determinar la sensibilidad basándose en 10 tipos de costa y 4 niveles de sensibilidad relativa al tipo de hidrocarburo.
Nummendal	1980	Definió 8 tipos de línea de costa en términos de retención potencial (persistencia) del hidrocarburo.
Gundlach <i>et al.</i>	1980	Modificaron el IV de Gundlach <i>et al.</i> , donde incorporaron la sensibilidad de algunos recursos biológicos y lo renombraron Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA).
Robillard <i>et al.</i>	1980	Implementaron un índice específico para uso de directores y operadores ambientales el cual combina la vulnerabilidad costera y el Índice de sensibilidad.

II.2 Antecedentes particulares de la zona de estudio: accidentes ambientales en la costa noroeste de Baja California (tabla IV).

La zona noroeste de la península de Baja California, se ha visto en ocasiones gravemente impactada por diferentes tipos de hidrocarburos; de acuerdo a Peraaza-Castillo, (op. cit.), éstos provienen de las siguientes cinco fuentes: 1) Chapopoteros o infiltraciones naturales; 2) accidentes; 3) lavados de sentinas de las embarcaciones; 4) residuos presentes en las descargas de aguas negras y 5) transporte por la corriente de California.

El primer accidente registrado en la zona costera del estado es el ocurrido en marzo de 1957, cuando 60,000 barriles de petróleo fueron derramados en la Bahía Tampico, B.C., (situada a los 31° 20' 59.5" de Lat. N. y 116° 28' 15.5" Long W) a consecuencia del naufragio del "Tampico Maru". Se ocasionaron fuertes daños principalmente en la franja litoral, destruyéndose casi totalmente las comunidades de plantas y animales marinos. Entre los organismos autóctonos que fueron aniquilados se encontraron langostas, abulones, erizos, mejillones, estrellas de mar, almejas y una multitud de formas de vida más pequeña (Dawson, *et al.*, 1960; Foster *et al.*, 1986; North, 1967; North *et al.*, 1964).

En 1963 se empezó a introducir petróleo a Baja California por el desembarcadero submarino de Petróleos Mexicanos situado en Rosarito, B.C., desde donde son distribuidos a los núcleos urbanos e industriales de la región. Los combustibles que se almacenan son: gasolinas nova y extra, tractomex, diesel, intermedio 15, combustóleo y turbosina (Peraaza-Castillo, *op. cit.*).

El 15 y 16 de abril de 1971 el barco-tanque "Plan de Ayala" derramó 60,000 barriles de aceite pesado cerca de Rosarito, B.C; en el mismo año, se registraron 295 derrames de aceite pesado sobre la costa sur de California, E.U.A (Salas-Flores *et al.*, *op. cit.*).

En enero 1972, las aguas costeras de Baja California se vieron contaminadas nuevamente con hidrocarburos, cuando el barco "California", propiedad de la Secretaría de Marina, se hundió en la playa de Saldamando, ubicada dentro de la Bahía de Salsipuedes, B.C., perdiendo totalmente el contenido de combustible (Peraaza-Castillo *op. cit.*; Salas-Flores *op. cit.*).

De menor envergadura fue el accidente ocurrido el 18 de noviembre de 1988, cuando el barco atunero "Teacapan" encalló en la Isla de San Benito, derramando incontrolablemente durante cuatro días 900,000 litros de gasóleo. El daño ecológico total no ha sido hasta la fecha evaluado; sin embargo, ocasionó

que más de 1000 kg de abulón y una considerable cantidad de langosta afloraran muertas a la superficie (Peraaza-Castillo op. cit.).

El tránsito marino frente a las costas de Baja California es uno de los más intensos; barcos de diferentes tipos navegan por estas áreas (pesqueros, mercantes, turísticos, de guerra, barcos-tanque para transporte de petróleo, etc), ya que las rutas de navegación de los buques-tanques petroleros y gaseros, así como las rutas comerciales de navegación a Canadá, E.U., incluida la península de Alaska, Japón y Corea entre otros, incluyen rutas cercanas a las costas de Baja California (un promedio de 100 a 150 navíos hacen uso de ellas), por representar éstas un gran ahorro (Aguirre-Maquivar, 1988 citado en Peraaza-Castillo op. cit.; Salas-Flores *et al.*, op. cit.).

TABLA IV. Derrames de hidrocarburos y/o derivados por accidentes de embarcaciones en la costa noroeste de Baja California.

LUGAR DEL ACCIDENTE.	NOMBRE DEL BARCO.	FECHA	VOLUMEN DERRAMADO	HIDROCARBURO DERRAMADO
Bahía Tampico.	Tampico Maru.	1957	60,000 bar.	Petróleo.
Rosarito.	Plan de Ayala.	1971	60,000 bar.	Aceite pesado.
Playa Saldamando	California.	1972	No cuantificado.	Combustible.
Isla Sn. Benito.	Teacapan.	1988	900,000 l.	Gasóleo.

III. AREA DE ESTUDIO.

III.1. Marco regional.

Geología de la línea de costa. Los sedimentos a lo largo de la línea de costa entre Tijuana y El Rosario, B.C. varían en tamaño, desde arena fina hasta peñascos. La geología incluye rocas cuyas edades varían desde el Cretácico Temprano hasta el Reciente. Las principales unidades litológicas y estratigráficas de la zona de estudio son: a) rocas volcánicas y volcanoclásticas de la formación de Alisitos; b) sedimentos marinos de la formación del Rosario; c) roca volcánica Terciaria; d) sedimentos Plio-Pleistoceno y e) Holoceno (aluvión-eólico), (Secretaría de Obras Públicas, 1969; Delgado *et al.*, 1990).

La clasificación fisiográfica más detallada fue realizada por Bale y Minch (1971), en base a las características de las playas y forma de la costa. Dentro de este último atributo se consideran la elevación, la forma, la litología y la pendiente.

Minch (1972), determinó las áreas de Punta Salsipuedes y Punta San Miguel como las zonas con mayor actividad de deslizamientos y hundimientos.

Ledezma y Huerta (1993), caracterizaron el área desde el Descanso a Punta San Miguel bajo un índice de riesgo geológico, considerando: a) La pendiente de la zona; b) la inestabilidad de las unidades geológicas de la formación de las Playas de Rosarito y c) la acción de las olas, que está en función de la forma de costa y la distancia a la costa de donde se localiza el deslizamiento. De acuerdo a esto, la Bahía de Salsipuedes se considera como la zona con mayor riesgo geológico de toda la zona.

Climatología.- De acuerdo al sistema de Köppen (1948, citado en Rzedowski, 1981), a la península de Baja California le corresponden los climas de las categorías BW (seco desértico), Bs (seco estepario) y Cs (templado con temporada lluviosa en épocas frías del año).

Markham (1972) y Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo (1974) caracterizaron el área de estudio por tener un patrón distintivo, donde se combinan lluvias moderadas en invierno y temperaturas frías, seguidas de veranos secos calientes y sin lluvias. La precipitación media anual es de 200 mm y la temperatura promedio para el mes más frío (enero) es de 12.5 °C y para el mes más cálido (agosto) es 20 °C.

Vientos.- El viento dominante en la zona de estudio tiene una dirección NW; las direcciones W WNW le siguen en importancia. Estas direcciones se presentan en la mayor parte del año. En invierno la dirección es más variable pero la intensidad cambia poco (Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, op. cit.).

Circulación costera.- Este parámetro está influenciado por la topografía del fondo, configuración de la costa, tipo de sedimento, oleaje incidente, mareas, viento dominante y otros factores. La zona de estudio se encuentra dentro de la influencia de la gran corriente de California que fluye de manera general de Norte a Sur.

Mareas y oleaje.- Las mareas astronómicas de la región son de tipo mixto semi-diurnas, con notable desigualdad diurna. Se ha reportado que el rango de marea tiene una pequeña variación espacial a lo largo de la costa del Pacífico de Baja California. El puerto de Ensenada, B.C., registra una máxima marea de +1.48 m y una mínima de -1.40 m con respecto al nivel medio del mar (López-Uriate, 1994).

Los vientos que predominan en la costa noroccidental de Baja California producen un régimen de oleaje de alta energía que incide sobre las costas. En el área de estudio, el oleaje se aproxima generalmente del NW y W (Salas-Flores, *et al.*, 1974; Pérez-Higuera y Chee-Barragán, 1984 y López-Araiza, 1992) con período promedio de 10 a 30 seg. (Elizarrarás, 1986, citado en López-Araiza, op.

cit.). La altura promedio oscila entre 1 a 2 m (Marmolejo, 1985; citado en López-Araiza, op. cit.).

Vegetación.- La distribución y componentes florísticos principales de Baja California no es clara ni exacta, ya que la mayoría de los trabajos publicados que hacen referencia a la vegetación bajacaliforniana (Rzedowski, op. cit.; Brown, 1982; Barbour y Billings, 1988; en Delgadillo, 1992) dan información pobre acerca de los diferentes tipos de vegetación.

La vegetación de la zona de estudio presenta básicamente la formación de matorral costero, con un alto valor paisajístico, y chaparral (Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, op. cit.; Rzedowski, op. cit.; Delgadillo, op. cit.; Programa Regional de Desarrollo Urbano del Corredor Tijuana Ensenada B. C., 1992).

Los principales tipos de algas explotadas en la costa noroccidental de Baja California son sargazo rojo (*Gelidium cartilagineum* y *G. robustum*) y pelo de cochi (*Gigartina canaliculata*). Sus usos principales son extracción de agar y de carragenos respectivamente (López-Araiza, op. cit.).

Pesca ribereña.- De acuerdo a López-Araiza (op. cit.) los principales recursos explotados en la costa noroccidental de Baja California por la pesca ribereña son: crustáceos, moluscos, equinodermos, peces y elasmobranquios.

Especies marinas.- Los organismos que han sido reportados en la zona de estudio (Pacheco, 1980; Pacheco, *et al.*, 1982; Aguiar-Rosas, 1982; Ramos-Mancilla, 1985; Escobar-Fernández, 1987) son entre otros: algas y fanerógamas marinas, peces y crustáceos.

Uso de la tierra.- Con base al uso de la tierra, Gilman (1972) clasificó a la costa oeste del estado de Baja California en cuatro distintas regiones: a) Industrial y turística; b) oasis horticultural; c) agrícola y comercial y d) costera deshabitada.

En la zona costera comprendida entre Tijuana y Maneadero los usos principales que le dan a la tierra la ubican dentro de la primera región (industrial y

turística), donde se encuentran condominios tipo casa de playa, moteles y campos turísticos para acampar. La línea de costa ubicada entre Santo Tomás hasta Colonet se usa principalmente en horticultura, por lo tanto se clasificó dentro de oasis horticultural y la franja costera localizada entre Colonet a El Rosario tiene uso principalmente agrícola, por lo que se le considera dentro de la tercera región.

III.2. Sitios específicos de estudio.

Los sitios de estudio fueron en la zona intermareal de tres localidades: la Bahía de Salsipuedes, la Bahía de Todos Santos y Punta Cabras, B.C. (Figura 1).

De acuerdo a Bale y Minch (1971) los tres sitios de estudio se clasifican fisiográficamente de la siguiente manera:

Bahía de Salsipuedes:

CARACTERISTICAS DE LA PLAYA: Acantilados marinos altos y playas.

FORMAS DE COSTA: Tierras bajas (elevación); meseta o altiplanicies (forma); rocas volcánica (litología); plana o suavemente inclinada (pendiente).

Bahía de Todos Santos:

CARACTERISTICAS DE LA PLAYA: Playas de arena sin acantilados, llanuras de fango, barra de arena con dunas y estuario con aluviones en forma de abanico.

FORMAS DE COSTA: Tierras bajas (elevación); valles de ríos y terrazas (forma); rocas volcánicas y sedimentarias estratificadas (sedimentología); plana o suavemente inclinada (pendiente).

Punta Cabras:

CARACTERISTICAS DE LA PLAYA: Bahías con acantilados altos y playa sin acantilados.

FORMAS DE COSTA: Tierras bajas (elevación); dunas y terrazas (forma); rocas volcánicas y sedimentarias estratificadas (litología); plana o suavemente inclinada (pendiente).

Una caracterización global de los tres sitios es la siguiente:

Bahía de Salsipuedes. Comprende 15 km de costa entre Punta San Miguel (aproximadamente a 12 km al norte de Ensenada B.C, a los 31° 54' 14" N y 116° 45' W) y Punta Salsipuedes (32° 02' 38" N y 116° 53' W). La costa en esta zona presenta alternancia de acantilados y pequeñas playas de arena, mixtas y rocosas expuestas. Predominando los acantilados cuya altura varía desde aproximadamente 5 a 80 m (Bale y Minch, 1971; Ledezma-Vázquez y Huerta-Santana, 1993). Durante el trabajo de campo realizado para este estudio, pudo percibirse que esta bahía está aún en condiciones prístinas, aunque son muy evidentes las tareas de preparación del terreno para instalación de infraestructura urbana y hotelero-recreativa. Actualmente sólo existe un pequeño campo turístico en el cuadrante sur ("Campo Saldamando"). El carácter prístino se percibe por ejemplo en la composición y abundancia de la fauna del intermareal rocoso, donde pueden aún observarse las grandes estrellas de mar (*Pisaster ochraceus*). Existen evidencias de explotación artesanal de mejillones y lapas gigantes (*Lottia gigantea*), aunque la abundancia de ejemplares de gran tamaño de esta última indican que el acceso del ser humano aún es escaso. Otro rasgo de buenas condiciones de las aguas puede percibirse en los cardúmenes de pelágicos menores que se concentran sobre todo en su mitad norte, en torno a los manchones de *Macrocystis pyrifera*. La pesca artesanal de langosta y erizo es conspicua, pudiendo observarse con frecuencia no menos de 6 pangas. Son abundantes las aves propias de puntas rocosas (golondrinas, gaviotas, cormoranes); también se observaron lobos marinos descansando sobre la costa. Como corroboración, al carácter prístino puede señalarse que la cañada que desemboca a Bahía Salsipuedes se encuentra en estado excelente de

conservación (Programa de Desarrollo Urbano del Corredor Tijuana Ensenada, B. C., 1992). La sensibilidad al arribo de material proveniente de mar se sospecha por la presencia de grandes maderos y troncos de árboles detenidos entre las rocas, así como algunos cúmulos de macroalgas.

Bahía de Todos Santos. Se encuentra ubicada entre los paralelos 31° 43' y 31° 54' N y los meridianos 116° 36' 116° 49' W. Está limitada al Sur y Oeste por la península de Punta Banda, que es rocosa y montañosa, y las Islas de Todos Santos; al Norte, por la costa de Baja California; al Sureste, por la laguna costera conocida como estero de Punta Banda, separada por una barra arenosa de 7.5 km., que se extiende desde Punta Banda hacia el noroeste. (Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, 1974).

Se caracteriza por tener: a) playas protegidas arenosas tales como "La Cueva del Tigre" y las playas ubicadas en la boca del estero; b) playas expuestas arenosas como son "Monalisa" y las ubicadas en la parte externa de la barra del Estero Punta Banda ("Hotel Baja Beach" y "Agua Caliente") y c) sistema estuarino-lagunar, (Estero Punta Banda) que cuenta con planicies de inundación de mareas protegidas y marismas.

La bahía tiene intenso uso por parte del ser humano, y presenta problemas de contaminación en relación con las actividades establecidas. La capacidad de limpieza varía según las condiciones de viento (Argote-Espinoza, *et al.*, 1991). Escofet y Burgeño (1993) encontraron que en seis de once sitios selectos las descargas urbanas e industriales eran incompatibles con la capacidad de limpieza de las aguas someras a las que llegan, la cual era baja en las tres condiciones de viento. Los estudios bacteriológicos indican que el cuadrante sur, hacia el Estero de Punta Banda está menos contaminada que el resto (*Lizarraga-Partida y Vargas en prensa).

El Estero de Punta Banda, que limita la bahía hacia el sur, tiene importancia como eslabón del Corredor Migratorio del Pacífico (Escofet, *et al.*,

1988; Palacios *et al.*, 1991) y como sitio de anidación del gallito marino, *Sterna antillarum browni* (Palacios-Castro, 1992). La barra arenosa del estero está completamente modificada por la infraestructura urbana y hotelera en un 75% de su extensión (Escofet, 1989 y 1994) Como consecuencia del abatimiento de las dunas costeras, la capacidad protectora de las mismas se ha perdido en la porción modificada de la barra, así como su valor de habitat para el chorlito nevado, *Charadrius alexandrinus* (González-Yajimovich, 1993). La pesca artesanal es limitada; la recolección del camarón fantasma, *Callinasa callifonica*, para carnada viva es muy frecuente (obs. pers.). La playa externa de la barra recibe mucho material proveniente del océano; es frecuente observar objetos atribuibles a desechos de los barcos, e incluso peces muertos que se han atribuido a descargas descuidadas de buques pesqueros.

Punta Cabras. Comprende aproximadamente 3.5 km de costa, y se localiza a 87 km al sur de Ensenada, B.C. (31° 18' 30"-31° 20' 30' LN y 116° 25' 30" 116° 27' 30" LW). La costa en esta zona presenta una punta rocosa con acantilados bajos (2 a 30 m de alto). La punta separa dos playas arenosas. Al Norte se ubica la playa expuesta mixta de arena y cantos rodados (en adelante Playa Punta Cabras Norte). Al Sur se encuentra la playa de bolsillo con arena de grano fino conocida como Playa Punta Cabras Sur, que cuenta con una serie de tres terrazas marinas. En ambas playas son muy conspicuos los cumulos de macroalgas, desprendidos del fondo y transportados por las corrientes (Escofet-Burgeño, 1993 y López-Uriarte, 1994).

Se trata de un sitio prístino donde existe pesca comercial de erizo y captura artesanal de mejillones en todas las porciones rocosas. La actividad recreativa es de tipo familiar, con algo de turismo internacional; generalmente se realiza campismo, y sólo ocasionalmente se advierten trailers. No existen vertimientos locales hacia el mar. Dentro del Corredor Migratorio del Pacífico, es un punto intermedio entre dos humedales principales distantes 180 km uno del otro (Estero

de Punta Banda y Bahía San Quintín). Sus playas son importantes sitios de alimentación para playeros migratorios (Lopez-Uriarte, 1994).

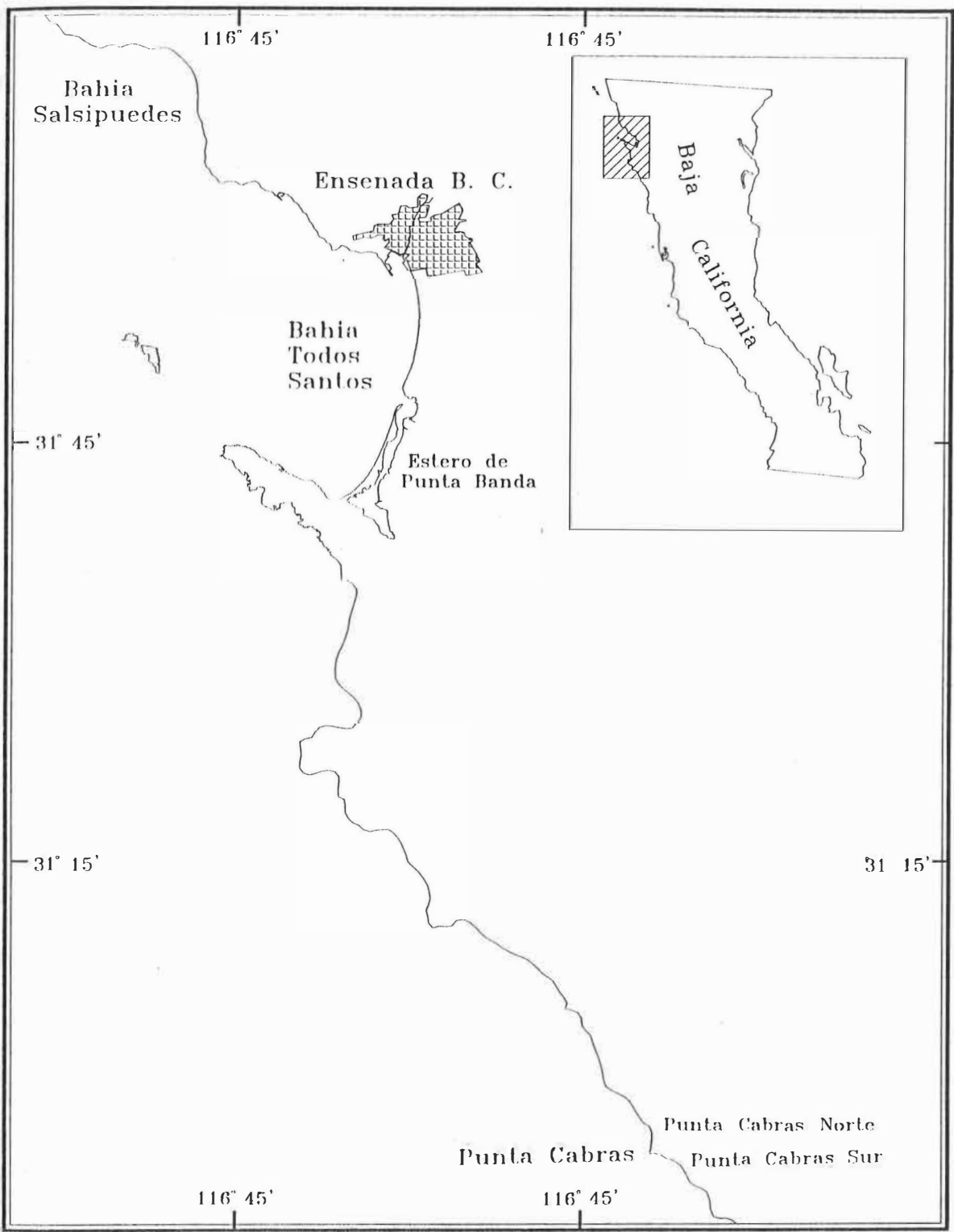


Figura 1. Area de estudio.

IV.- MATERIAL Y METODO.

IV.1. Sistematización de los antecedentes del ISA.

Se reunió y se sistematizó la información contenida en las principales contribuciones que originaron el ISA propuesto por Gundlach y Hayes (1978), con la finalidad de rastrear y explicitar las razones implícitas en la asignación del valor numérico del ISA (tabla V).

TABLA V. Clasificación Ambiental propuesta en orden creciente de vulnerabilidad a daños por derrames de hidrocarburos propuesta por Gundlach y Hayes, 1978.

VALOR DEL ISA	TIPO DE COSTA.
1	PUNTA ROCOSA Y ACANTILADO EXPUESTO.
2	PLATAFORMA EROSIONADA POR LAS OLAS.
3	PLAYA DE ARENA.
4	PLAYA DE ARENA CON GRANO MEDIO A GRUESO.
5	PLAYA PROTEGIDA DE ARENA FINA.
6	PLAYA EXPUESTA MIXTA Y BLOQUES ROCOSOS EXPUESTOS.
7	PLANICIES DE MAREA EXPUESTA.
8	PLAYA PROTEGIDA MIXTA Y BLOQUES ROCOSOS PROTEGIDOS.
9	PLANICIES DE MAREA PROTEGIDA.
10	MARISMAS Y MANGLARES.

IV.2. Ejercicio de calibración del ISA.

Con la finalidad de visualizar la capacidad predictiva del ISA a la llegada y permanencia de material ajeno proveniente del océano, se seleccionó bibliografía sobre eventos de derrames de hidrocarburos y otros materiales, realizándose un ejercicio de calibración. Para este ejercicio se pudo contar solamente con aquellos trabajos que, además de describir los derrames, incluyeron datos específicos sobre morfología costera, tipo de material arribado y comportamiento del mismo una vez arribado al medio.

Los siguientes seis eventos fueron seleccionados para este ejercicio; los cinco primeros se refieren a derrames de hidrocarburos y/o derivados, mientras que el último se refiere a material sólido natural (macroalgas).

El evento del "Tampico Maru". Derramó diesel frente a las costas de Baja California, el 27 de marzo de 1957, afectando únicamente acantilados expuestos (Dawson, *et al.*, 1960; North, 1967; North *et al.*, 1964).

El evento del "Florida". Ocurrió en la Bahía de Buzzard (Massachusetts) el 16 de septiembre de 1969, donde se derramaron entre 650,000 a 700,000 l. de aceite diesel No. 2; afectando fuertemente la marisma de Wild Harbor (Sanders, 1978; Teal, 1978).

El evento del "Bouchard 65". Ocurrido el 9 de octubre de 1974, afectó nuevamente a la Bahía de Buzzard (Massachusetts) cuando se derramó aceite y ocasionó graves daños a en la marisma de Winsor Cove (Hampson y Moul, 1978).

El evento del "Arrow". Afectó aproximadamente 300 km de la línea de costa en la Bahía de Chedabucto (Nueva Escocia) en el mes de febrero de 1970, cuando derramó aceite diesel (Bunker C fuel oil) y contaminó bloques rocosos expuestos, marismas y planicies de marea protegidas (Keiz, *et al.*, 1978; Stewcart y Marks, 1978; Thomas, 1978).

Evento del supertanque "Urquiola". Encalló y se hundió en el puerto de la Coruña, Esp., el 12 de mayo de 1976, cuando transportaba 100,000 ton. de aceite crudo; afectó los siguientes cinco tipos de costa: a) acantilados expuestos; b) bloques rocosos protegidos; c) playas protegidas de arena con grano fino; d) playas de arena de grano grueso, y e) playas expuestas mixtas de grava y arena (Gundlach, *et al.*, 1978).

En el evento de "Punta Cabras". Se registró quincenalmente a partir de septiembre de 1990 a Junio de 1991: la biomasa de macroalgas (material flotante) que por efecto de las corrientes llegaron a la costa de Punta Cabras, B.C. Los tipos de costa a las que arribaron fueron: playas protegidas de arena, playas

expuestas mixtas de arena y cantos rodados y plataforma erosionada por las olas (Escofet y Burgeño, op. cit.; López-Uriarte, op. cit.).

Con base exclusivamente a los datos geomorfológicos que figuran en estos trabajos, se valoró el sitio dentro de la escala de vulnerabilidad costera propuesta por Gundlach, *et al.*, 1978 (aplicación del ISA estándar).

De acuerdo al grado de vulnerabilidad asignado en el paso anterior, se predijeron los atributos físicos y biológicos implicados en el ISA (energía del oleaje, profundidad de penetración, tiempo de permanencia, capacidad natural de limpieza, mortalidad y recuperación biológica), los cuales nos evalúan el comportamiento esperado del material arribado.

Con base al comportamiento descrito en la bibliografía del material una vez que arribó a la costa, y a las características físicas del lugar, se valoraron los atributos del ISA, evaluando así el comportamiento observado del material arribado a la costa.

Finalmente se compararon los atributos esperados y observados del ISA (comportamiento teórico y real del material arribado a la costa). Para establecer el resultado a esta comparación, se asignaron tres niveles (alto, medio y bajo) dependiendo del número de atributos compartidos. Si comparten un máximo de 2 atributos, el nivel de comparación es bajo, por lo tanto, la capacidad predictiva es mala; si comparten 3 ó 4 atributos, el nivel de comparación será medio y la capacidad predictiva del ISA será regular, y si los atributos compartidos son 5 ó 6, el nivel de comparación será alto, al igual que la capacidad predictiva (tabla VI).

TABLA VI. Evaluación de la capacidad predictiva del ISA a la llegada y permanencia de material ajeno proveniente del océano.

NUMERO DE ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLOGICOS DEL ISA COMPATIDOS.	NIVEL DE LA COMPARACION	CAPACIDAD PREDICTIVA DEL ISA
0 A 2	BAJO	MALA
3 A 4	MEDIO	REGULAR
5 A 6	ALTO	BUENA

IV.2.1. Generación de una modificación al ISA para evaluar material sólido.

Por la escasa capacidad predictiva del ISA en un caso (Punta Cabras), se generó una modificación al ISA que permitiera evaluar el arribo de material sólido natural (macroalgas), y corroborar si dicho índice podría tener buena capacidad predictiva en situaciones reales, donde el material arribado fue sólido de origen natural. Dicha modificación consistió en considerar únicamente los atributos de energía del oleaje, tiempo de permanencia (escala de horas a días, días a semanas y semanas a un mes); y capacidad natural de limpieza, descartando la profundidad de penetración.

IV.3. Ejercicio de calibración cartográfico del ISA.

Con la finalidad de conocer el grado de error que pudiera haber si el ISA se asignara únicamente en base a la cartografía, se realizó un ejercicio de calibración cartográfico donde se asignó el ISA usando únicamente material cartográfico (ISAc) y resultados de las mediciones directas (ISAm).

En la asignación de los valores del ISAc el primer paso es realizar una "traducción" de la descripción que exista en la cartografía disponible, a las categorías utilizadas por Gundlach y Hayes, (1978), incluyendo el atributo de "expuesto" y "protegido", que pueden interpretarse a partir de la orientación de los segmentos de costa.

La asignación de los tipos de costa se hizo con base en la siguiente integración de cartografía: HIIB11, HIIB32, DMA STOCK NO. 21AC021139 y 21AHA21021 (con escalas 1:300,000; 1:180,000; 1:50,000 y 1:35,000 respectivamente).

IV.3.1. Asignación del ISA con base en las mediciones directas de campo.

Se recorrió cada uno de los sitios estudiados, reconociéndose en escala 1:1 el tipo de ambiente costero; además, se realizaron mediciones y muestreos específicos.

IV.3.1.1. Trabajo de campo.

Se realizaron tres periodos de salidas a campo, donde se llevaron a cabo:

* Mediciones físicas: Con la finalidad de valorar el grado de exposición de las playas de arena se midieron los siguientes parámetros: longitud, amplitud y pendiente de la playa; profundidad de la capa reducida; acción y altura del oleaje; amplitud de la zona de rompientes y posición exacta de la playa, usando un posicionador GPS Magallanes (excepto en el último periodo).

* Mediciones biológicas. Esta medición fue únicamente en las puntas rocosas y se realizó con base a la macrofauna, considerando a los organismos presentes en una inspección macroscópica.

* Colecta de sedimentos en las playas de arena.- Se colectaron tres muestras de sedimento a 5 cm de profundidad en la cara de la playa, y se transportaron al laboratorio para posteriormente ser analizadas y obtener la distribución del tamaño de partículas.

El primer periodo de salidas a campo se realizó del 13 de julio al 23 de agosto de 1994 en la Bahía de Salsipuedes, donde se muestrearon las playas de Salsipuedes, Rancho Bonito y Saldamando, que fueron los únicos lugares a que tuvimos acceso. El siguiente periodo se realizó 5 y 6 de septiembre de 1994, en la Bahía de Todos Santos, donde las playas Cueva de los Tigres, Monalisa y la playa externa de la barra arenosa del estero de Punta Banda se muestrearon, y el último periodo fue el 8 de octubre de 1994 en las playas de Punta Cabras, donde se muestrearon las playas Punta Cabras Norte y Sur (tabla VIII).

IV.3.1.2. Análisis de laboratorio.

Las muestras de sedimento se analizaron con la finalidad de obtener el tamaño medio de grano del sedimento, usando el método de análisis por tamíces descrito en el Manual de Prácticas de Sedimentología de la UABC, (1993). Donde la muestra recibe un pre-tratamiento que consiste en eliminar la materia orgánica y las sales solubles, básicamente tratándolas con peróxido de hidrógeno al 30%,

hasta que la muestra deje de hacer efervescencia; finalmente se lava la muestra con agua destilada.

Para separar por tamaños la muestra se realizó el tamizado usando tamices U. S. Standard con intervalos de 0.5 ϕ durante 15 minutos.

La distribución del tamaño de partículas se obtuvo por el método de Momentos, usando un programa ya establecido para computadoras.

TABLA VIII. Resumen de las actividades de campo en la Bahía de Salsipuedes, Estero Punta Banda y Playas de Punta Cabras, B.C.

AREA	PLAYA	FECHA	ACTIVIDADES REALIZADAS
Bahía de Salsipuedes	Playas de Salsipuedes	13/ 7/ 94 y	Se midió longitud, amplitud y tamaño de sedimento en la playa y se registraron los organismos con mayor abundancia en las puntas rocosas.
		23/ 8/ 94	Se midió la profundidad de la capa reducida, acción del oleaje, amplitud de la zona de rompientes, pendiente y posición exacta de la playa
	Playas de Rancho Bonito	9 y 22/ 8/94	Se realizaron las mismas actividades anteriores.
	Playa Saldamando	14/ 7/ 94 y 23/ 8/ 94	Se realizaron la mismas actividades anteriores.
Bahía de Todos Santos.	Playa interna y externa de la barra de arena del estero de Punta Banda.	5/ 9/ 94	Se realizaron las mediciones físicas y de sedimentos en cada playa.
	Playas la Cueva de los Tigres, Monalisa, Estero Beach y Planicie de inundación	6/ 9/ 94	Se realizaron las mediciones físicas y de sedimentos en cada playa.
Punta Cabras.	Pta. cabras Nte. Pta. Cabras Sur.	8/ 10/ 94	Se realizaron las mediciones físicas y de sedimentos en cada playa.

Con base a las grandes variaciones encontradas entre el ISAc y el ISAm particularmente en las playas de arena, acantilados expuestos y playas mixtas; se decidió aplicar una metodología más fina a su tratamiento. Se adoptó la

metodología de Mc.Lachlan (1980) por considerarse más completa y objetiva para evaluar el grado de exposición de las playas de arena, el cual divide en cuatro categorías: muy expuesta; expuesta; protegida; y muy protegida (tabla VII).

TABLA VII. Escala de rangos para valuar el grado de exposición de playas de arena propuesto por McLachland (1980).

PARAMETRO	RANGO	PUNTOS				
ACCION DEL OLEAJE.	a) Prácticamente ausente	0				
	b) Variable, de ligera a moderada altura de la ola rara vez excede 1 m.	1				
	c) Continua, moderada, y la altura de la ola rara vez excede 1 m.	2				
	d) Continua, fuerte, altura de la ola excede 1 m.	3				
	e) Continua, extrema, altura de la ola menor de 1.5 m.	4				
AMPLITUD DE LA ZONA DE ROMPIENTE.	a) Muy amplia, las olas primero rompen en barreras.	0				
	b) Amplitud moderada, las olas usualmente rompen de 50-150 m de la playa.	1				
	c) Estrecha, olas largas rompen en la playa.	2				
PORCENTAJE DE ARENA MUY FINA (62 - 125 μ m).	a) 5 %	0				
	b) 1 - 5 %	1				
	c) 1 %	2				
DIAMETRO MEDIO DE LA PARTICULA (μ m).	PENDIENTE DE LA PLAYA					
	1/10	1/10 - 1/15	1/15 - 1/25	1/25 - 1/50	1/50	
	> 710	5	6	7	7	7
	500 - 710	4	5	6	7	7
	350 - 500	3	4	5	6	7
	250 - 350	2	3	4	5	6
180 - 250	1	2	3	4	5	
< 180	0	0	1	2	3	
PROFUNDIDAD DE LA CAPA REDUCIDA (cm).	a) 0 - 10	0				
	b) 10 - 25	1				
	c) 25 - 50	2				
	d) 50 - 80	3				
	e) > 80	4				
HOYOS ESTABLES DE ANIMALES.	PRESENTES	0				
	AUSENTES	1				

Tipo de playa y su descripción (puntuación otorgada en la tabla M-2).

PUNTOS	TIPO DE PLAYA	DESCRIPCION
16 A 20	MUY EXPUESTA	Acción del oleaje fuerte, no está presente la capa reducida, la macrofauna presente es la que tiene alta movilidad.
11 A 15	EXPUESTA	Acción del oleaje de moderada a fuerte, la capa reducida se localiza profunda, generalmente no hay presencia de hoyos.
6 A 10	PROTEGIDA	Poca acción del oleaje, la capa reducida está presente, algunos hoyos de macrofauna se encuentran presentes.
1 A 5	MUY PROTEGIDA	Virtualmente no hay acción del oleaje, la capa reducida es superficial y existen abundantes hoyos de macrofauna.

El método de Mc.Lachlan (op. cit.) desdobra las categorías establecidas por Gundlach y Hayes (op. cit.), para playas de arena pero los valores del ISA se asigna con base a dichos autores, se realizó una modificación para denotar que: a) Las playas muy expuestas están posicionadas hacia el extremo de menor vulnerabilidad; b) Las muy protegidas tienden al extremo de mayor vulnerabilidad.

A efectos prácticos, en este trabajo se utilizó el siguiente código:

Playas de arena muy expuestas: Esta categoría no existe en la clasificación de Gundlach y Hayes (op. cit.), la cual únicamente asigna un ISA de 3 a las playas de arena. En caso de encontrar ambientes de este tipo, correspondería darles un valor de ISA igual a 3^V^- (que indica: ISA = 3, con menor vulnerabilidad).

Playas de arena expuestas. Corresponde exactamente a la categoría playas de arena de Gundlach y Hayes (op. cit.) y se denota con un ISA de 3.

Playas de arena protegida. Corresponde exactamente a la categoría playa protegida de arena fina de Gundlach y Hayes (op. cit.) y se denota con un ISA de 5.

Playas de arena muy protegidas. Esta categoría tampoco existe en la clasificación de Gundlach y Hayes (op. cit.). Corresponde darles un valor modificado del ISA (5^V^+ , que indica: ISA = 5, con mayor vulnerabilidad).

IV.4. Comparación de los resultados obtenidos del ejercicio de calibración cartográfico.

Las diferencias entre los valores del ISAc y los del ISAm se trabajaron estadísticamente con tres pruebas: frecuencias observadas vs. esperadas (chi-cuadrada), prueba de rangos para muestras pareadas (Wilcoxon), y suma de rangos de Mann-Whitney.

IV.5. Tipos de línea de costa en la zona de estudio: localización, valores del ISA y Vulnerabilidad.

Los tipos de línea de costa de la zona de estudio y su relación con la vulnerabilidad a la llegada y permanencia de material ajeno a la costa, se llevó a cabo, por el método propuesto por Gundlach Hayes, 1978 adaptando la metodología de Mc.Lachlan (1980) para la categoría de playas de arena protegidas. Además se realizaron predicciones teóricas en la zona de estudio, con base en eventos ocurridos en sitios con características físicas y biológicas semejantes.

V. RESULTADOS.

V.1. Sistematización de los antecedentes del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA).

En esta parte del trabajo se reunió y sistematizó toda la información contenida en las principales contribuciones que originaron el ISA (tabla IX); el objetivo fue rastrear y explicitar las razones implícitas en la asignación del valor numérico del ISA. Este tipo de ejercicio aporta a la repetibilidad del método y a su confrontación.

La columna 1 corresponde al tipo de costa y la columna 2 es el ISA asignado según Gundlach y Hayes (1978).

En la columna 3 se desglosan los atributos físicos:

- Energía del oleaje (E_o), la cual puede variar dependiendo de las condiciones mecánicas (vientos, mareas).

- Profundidad y grado de penetración (P_p), que depende primeramente de la porosidad y compactación del sustrato como también de la viscosidad y volumen del fluido derramado.

- Tiempo de permanencia (τ), que va a depender de la energía del oleaje, del tipo de sedimento y de la acción química y bacteriana.

- Capacidad natural de limpieza (CNL), que depende primeramente de los niveles de energía y de los procesos costeros.

La columna 4 desglosa las consecuencias biológicas, sobre dos atributos: la mortalidad y recuperación. La columna 5 resume el impacto biológico. La última columna resume la factibilidad y necesidad de limpieza mecánica y/o manual en cada tipo de costa.

Se observa que la energía del oleaje es el factor principal para determinar la capacidad natural de limpieza; esto destaca en los extremos de alta y baja energía del oleaje (tabla IX, renglones 1-3 y 8-10 respectivamente). En

situaciones en que la energía del oleaje es variable (renglones 4-7), la energía del oleaje no es el único atributo determinante, sino que se combina con la penetrabilidad del substrato, balanceándose ambos factores en la asignación del ISA.

TABLA IX. Tipos de línea de costa y sus atributos físicos y biológicos relevantes para la asignación de los valores del ISA. (Eo: Energía del oleaje; Pp: Profundidad de penetración; τ : Tiempo de permanencia; CNL: Capacidad natural de limpieza; Mo: Mortalidad y Re: Recuperación).

TIPO DE COSTA.	ISA	ATRIBUTOS FÍSICOS				CONSECUENCIAS BIOLÓGICAS.		IMPACTO BIOLÓGICO	LIMPIEZA MECÁNICA INDUCIDA.	
		Eo	Pp	τ	CNL	Mo	Re		Factibilidad	Necesidad
PUNTA ROCOSA Y ACANTILADO EXPUESTO.	1	ALTA	NO EXISTE	DIAS A SEMANAS	ALTA	ALTA	RAPIDA	BAJO	ALTA	NO NECESARIA
PLATAFORMA EROSIONADA POR LAS OLAS.	2	ALTA	MUY LIGERA.	POCAS SEMANAS	ALTA	MEDIA	RAPIDA	BAJO.	ALTA	POCO NECESARIA
PLAYA DE ARENA.	3	ALTA	LIGERA	MESES A 1 AÑO	ALTA	MEDIA	RAPIDA	BAJO	ALTA	NECESARIA
PLAYA DE ARENA CON GRANO MEDIO A GRUESO.	4	MODERADA A ALTA	MEDIA A PROFUNDA	1 A 2 AÑOS	MEDIA A ALTA	BAJA MODERADA A RAPIDA		MINIMO	MEDIA	NECESARIA
PLAYA PROTEGIDA DE ARENA FINA.	5	BAJA, MEDIA Y/O ALTA	LIGERA A MEDIA	1 A 2 AÑOS	BAJA, MEDIA Y/O ALTA	BAJA LENTA A MODERADA		MEDIO BAJO	MEDIA	NECESARIA
PLAYA EXPUESTA MIXTA Y BLOQUES ROCOSOS EXPUESTOS.	6	ALTA Y/O MODERADA A BAJA	PROFUNDA A SUPERFICIAL	1 A 2 AÑOS	ALTA Y/O MEDIA	BAJA RAPIDA A LENTA		BAJO MODERADO	MEDIA	NECESARIA
PLANICIES DE MAREA EXPUESTA.	7	MEDIA A ALTA	MUY LIGERA	MESES A 1-2 AÑOS	BAJA	ALTA MODERADA		ALTO	BAJA	MUY NECESARIA
PLAYA PROTEGIDA MIXTA Y BLOQUES ROCOSOS. PROTEGIDO.	8	BAJA	SUPERFICIAL (CHARCAS)	2 A 5 AÑOS	BAJA	ALTA LENTA		ALTO	MUY BAJA	MUY NECESARIA
PLANICIES DE MAREA PROTEGIDA.	9	BAJA	SUPERFICIAL	2 A 5 AÑOS	BAJA	ALTA LENTA		ALTO	MUY BAJA	MUY NECESARIA
MARISMAS Y MANGLARES.	10	BAJA	SUPERFICIAL	2 A 5 AÑOS	BAJA	ALTA LENTA		ALTO	MUY BAJA	MUY NECESARIA

También se observa que los valores crecientes del ISA corresponden con un impacto biológico creciente, el cual balancea dos atributos: mortalidad y

recuperación. De este modo, aunque la mortalidad fuera alta, el impacto biológico sería bajo si ocurriera una recuperación rápida. (por ejemplo, tabla IX, renglón 1).

La última columna tiene mucha importancia para el manejo. En ella se marcan dos tendencias contrarias: 1) la factibilidad de limpieza, que es menor en los sustratos particulados; 2) la necesidad de una limpieza mecánica inducida, que es mayor en los sustratos particulados. De esta manera, la factibilidad de limpieza está en función directa con el tipo de costa y su energía de oleaje; en cambio, la necesidad de una limpieza mecánica está directamente ligada con el impacto biológico, el cual es mayor en sustratos particulados debido a la penetración del material en los mismos.

En esta última columna se detectó un caso (renglón 3) que no puede explicarse por los atributos explícitos, ya que figura la necesidad de limpieza mecánica con un impacto biológico bajo. Esta misma combinación, en los renglones 1 y 2 no se consideró necesaria. La explicación posible para esto es que se consideró un atributo no explicitado, que es el impacto estético y/o a la salud, que haría necesaria la limpieza por el alto uso de este tipo de ambientes por el hombre.

De esta última observación sale una de las propuestas de modificación que resulta de este trabajo, donde se ve como necesario introducir una columna adicional, que valore el impacto estético y/o a la salud en forma independiente del impacto biológico.

V.2. Ejercicio de Calibración del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA).

La pregunta que orientó esta parte del trabajo fue: **¿Qué capacidad de predicción tiene el ISA a la llegada y permanencia de material ajeno a la costa transportado por corrientes oceánicas y/o costeras?**

Los seis casos analizados afectaron 9 de los 14 tipos de costa considerados por Gundlach y Hayes, 1978: punta rocosa; acantilados expuestos; plataforma erosionada por las olas; playa de arena; playa de arena con grano

medio a grueso; playa protegida de arena fina; playa expuesta mixta y/o bloques rocosos expuestos; planicies de marea expuesta; playa protegida mixta y/o bloques rocosos protegidos; planicies de marea protegida; marismas y/o manglares. No estuvieron presentes las puntas rocosas, las playas de arena, las planicies de marea expuesta, las playas protegidas mixtas, ni los manglares.

Tres de los eventos ocurrieron en sitios donde existe más de un tipo de costa. De tal modo, resultó un total de 14 eventos reales.

Los resultados de este ejercicio se agrupan en dos secciones:

V.2.1. Aplicación estándar del ISA (tabla XVIII, renglones del 1-6).

Estos son los resultados específicos de la calibración. De ellos se desprenden la siguiente sección, que refiere a un atributo no considerado en el ISA: que el material arribado esté en estado sólido.

V.2.2. Generación de una modificación al ISA que permita evaluar el arribo de material sólido.

Esta sección es un resultado lateral del ejercicio de calibración, y se generó por la escasa capacidad predictiva del ISA en un caso (Punta Cabras) en donde el material arribado era sólido (macroalgas). Se exploró en dos modalidades:

V.2.2.1. Aplicación del ISA modificado a casos de arribo de material sólido natural.

Esta sección del ejercicio resultó de la necesidad de ver si el ISA, podría tener buena capacidad predictiva en situaciones reales cuando el material arribado no fuera líquido.

V.2.2.2. Aplicación del ISA modificado a un caso hipotético donde se supuso que el material sólido arribado fuera antropogénico.

Esta sección resultó de proyectar los resultados de la sección anterior, a situaciones muy probables en la costa, como es la llegada de material sólido arrojado por los barcos.

V.2.1. Aplicación estándar del ISA.

Los siguientes seis eventos fueron seleccionados para el ejercicio de calibración del ISA; los cinco primeros se refieren a derrames de hidrocarburos y/o derivados, mientras que el último se refiere a material sólido natural (macroalgas).

V.2.1.1. El evento del "Tampico Maru".

Derramó diesel frente a las costas de Baja California, el 27 de marzo de 1957, afectando únicamente acantilados expuestos (Dawson, *et al.*, 1960; North, 1967; North y Clendenning, 1964).

De acuerdo a los atributos físicos y biológicos esperados para el tipo de costa donde ocurrió el evento, corresponde asignar un ISA de 1, el cual descansa sobre: alta energía; nula penetración; tiempo de permanencia de días a semanas; alta capacidad de limpieza natural; alta mortalidad, y rápida recuperación.

La descripción del evento (Dawson, *et al.*, 1960; North, 1967; North y Clendenning, 1964) permitió comprobar que cinco atributos se comportaron del modo esperado, mientras que el tiempo de permanencia fue diferente (el material permanenció meses, cuando lo esperado era que permaneciera de días a semanas).

La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue alto (5/6). De esto resultó un nivel de comparación alto y una buena capacidad predictiva del ISA (Tabla X).

TABLA X. Resultado del ejercicio de calibración del ISA, Aplicando el ISA estándar en el evento del "Tampico Maru".

TIPO DE COSTA.	ISA	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS ESPERADOS.	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS OBSERVADOS.	ATRIBUTOS COMPARATIVOS	NIVEL DE COMPARACION	CAPACIDAD PREDICTIVA.
* Acantilados expuestos.	1	Eo: Alta. Pp: No existe T: Días a semanas. CNL: Alta Mo: Alta. Re: Rápida	Eo: Alta. Pp: Nula. T: Meses. CNL: Alta. Mo: Alta. Re: Rápida.	5	ALTO.	BUENA.

V.2.1.2. El evento del "Florida".

Ocurrió en la Bahía de Buzzard (Massachusetts) el 16 de septiembre de 1969, donde se derramaron entre 650,000 a 700,000 l. de aceite diesel No. 2; afectando fuertemente la marisma de Wild Harbor (Sanders, 1978; Teal, 1978).

De acuerdo a los atributos físicos y biológicos esperados para las costas con marismas, corresponde asignar un ISA de 10, los cuales indican que estos tipos de ambientes costeros son los más vulnerables debido a que presentan: baja energía de oleaje; penetración superficial formando charcas; tiempo de permanencia mayor a 5 años; baja capacidad de limpieza natural; alta mortalidad debido a que estas zonas son altamente productivas y lenta recuperación.

La descripción del evento (Sanders, 1978; Teal, 1978) permitió comprobar que los seis atributos se comportaron del modo esperado. Por lo tanto, la proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue alto (6/6). De esto resultó un nivel de comparación alto y una buena capacidad predictiva del ISA (Tabla XI).

TABLA XI. Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Florida".

TIPO DE COSTA.	ISA	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS ESPERADOS.	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS OBSERVADOS.	ATRIBUTOS COM- PARTIDOS	NIVEL DE COMPA- RACION	CAPACI DAD PREDIC TIVA
* <u>Marisma</u> en Wild Harbor.	10	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: Mayor a 5 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: Mayor a 5 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	6	ALTO.	BUENA.

V.2.1.3. El evento del "Bouchard 65".

Ocurrido el 9 de octubre de 1974, afectó nuevamente a la Bahía de Buzzard (Massachusetts) cuando se derramó aceite y ocasionó graves daños a en la marisma de Winsor Cove (Hampson y Moul, 1978).

Los atributos físicos y biológicos esperados, al igual que el valor del ISA, son idénticos al evento anterior.

La descripción del evento (Hampson y Moul, 1978) permitió comprobar que los seis atributos se comportaron del modo esperado. La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue alto (6/6). De esto resultó un nivel de comparación alto y una buena capacidad predictiva del ISA (tabla XII).

TABLA XII. Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Bouchard 65".

TIPO DE COSTA.	ISA	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS ESPERADOS.	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS OBSERVADOS.	ATRIBUTOS COMPARADOS	NIVEL DE COMPARACION	CAPACIDAD PREDICTIVA
* Marisma en Winsor Cove.	10	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: Mayor a 5 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: Mayor a 5 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	6	ALTO.	BUENA.

V.2.1.4. El evento del "Arrow".

Afectó aproximadamente 300 km de la línea de costa en la Bahía de Chedabucto (Nueva Escocia) en el mes de febrero de 1970, cuando derramó aceite diesel (Bunker C fuel oil) y contaminó bloques rocosos expuestos, marismas y planicies de marea protegidas (Keiz, *et al.*, 1978; Stewart y Marks, 1978; Thomas, 1978).

Los atributos físicos y biológicos esperados difieren según los tipos de costa presentes en el sitio, resultando tres eventos reales (tabla XIII):

a) Bloques rocosos expuestos. Corresponde asignar un ISA de 6, el cual se basa: en la alta y/o moderada-baja energía; penetración de profunda a superficial;

tiempo de permanencia de uno a dos años; alta y/o media capacidad de limpieza natural; baja mortalidad, y rápida a lenta recuperación.

TABLA XIII. Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Arrow". (*) Indica que se aplicó el ISA con base a la descripción original que atribuye al "Arrow" el hidrocarburo presente; no se consideraron datos posteriores sobre presencia de hidrocarburos no pertenecientes al "Arrow". La correspondencia de los atributos que no se reportan en la literatura se consideran diferentes a lo esperado.

TIPO DE COSTA	ISA	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS ESPERADOS.	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS OBSERVADOS.	ATRIBUTOS COM- PARTI- DOS	NIVEL DE COMPA RACION	CAPACI DAD PREDIC TIVA.
* <u>Bloques ro- cosos ex- puestos.</u>	6	Eo: Alta y/o de Mode- rada a baja. Pp: Profunda-superficial T: 1 a 2 años. CNL: Alta y/o media. Mo: Baja. Re: Rápida a lenta.	Eo: NO SE REPORTA Pp: Superficial T: Mayor de 3 años. CNL: Baja. Mo: Media. Re: Lenta.	2	BAJO.	MALA.
* <u>Planicies de marea protegidas.</u>	9	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: Mayor de 5 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: Más de 7 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	6	ALTO.	BUENA 2
* <u>Marismas.</u>	10	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: Mayor a 5 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: Más de 7 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	6	ALTO	BUENA

La descripción del evento en bloques rocosos expuestos (Keizer, *et al.*, 1978; Stewart y Marks, 1978; Thomas, 1978) permitió comprobar que dos atributos se comportaron del modo esperado. La energía del oleaje no se reporta por lo que, se considera un comportamiento diferente a lo esperado; el tiempo de permanencia fue mayor a la esperada; la capacidad de limpieza fue baja mientras se esperaba alta y/o media; la mortalidad fue media mientras que lo esperado era baja.

La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue bajo (2/6). De esto resultó un nivel de comparación bajo y una capacidad predictiva mala.

b) Planicies de marea protegida. Corresponde asignar un ISA de 9, el cual descansa sobre: baja energía; penetración superficial formando charcas; tiempo de permanencia mayor a cinco años; baja capacidad de limpieza natural; alta mortalidad y lenta recuperación.

La descripción del evento en planicies de marea protegida permitió comprobar que los seis atributos se comportaron del modo esperado.

La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue alto (6/6). De esto resultó un nivel de comparación alto y una capacidad predictiva buena.

c) Marismas. El comportamiento de los atributos esperados al igual que el valor del ISA, son idénticos a los reportados en los eventos del "Florida" y "Bouchard 65". La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue alto (6/6). De esto resultó un nivel de comparación alto y una capacidad predictiva buena.

V.2.1.5. Evento del supertanque "Urquiola".

Encalló y se hundió en el puerto de La Coruña, Esp., el 12 de mayo de 1976, cuando transportaba 100,000 ton. de aceite crudo; afectó los siguientes cinco tipos de costa: a) acantilados expuestos; b) bloques rocosos protegidos, c) playas protegidas de arena con grano fino; d) playas de arena de grano grueso, y e) playas expuestas mixtas de grava y arena (Gundlach y Hayes, 1978).

Los atributos físicos y biológicos esperados difieren según los tipos de costa presentes en el sitio, resultando cinco eventos reales (tabla XIV):

a) Acantilados expuestos. Corresponde asignar un ISA de 1, donde las características físicas y biológicas esperadas son: idénticos a los reportados en el evento del "Tampico Maru".

La descripción del evento (Gundlach, *et al.*, op. cit.) permitió comprobar que cinco atributos se comportaron del modo esperado, mientras que la mortalidad observada fue baja.

TABLA XIV. Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento del "Urquiola". La correspondencia de los atributos que no se reportan en la literatura se consideran diferentes a lo esperado.

TIPO DE COSTA.	ISA	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS ESPERADOS.	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS OBSERVADOS.	ATRIBUTOS COMPARTIDOS.	NIVEL DE COMPARACION	CAPACIDAD PREDICTIVA.
* <u>Açantilados expuestos.</u>	1	Eo: Alta. Pp: No existe. T: Días a semanas. CNL: Alta. Mo: Alta. Re: Rápida.	Eo: Alta. Pp: No existe. T: Días a semanas. CNL: Alta. Mo: Baja. Re: Rápida.	5	ALTO	BUENA
* <u>Bloques rocosos protegidos.</u>	8	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: 2 a 5 años. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	Eo: Baja. Pp: Superficial. T: NO SE REPORTA. CNL: Baja. Mo: Alta. Re: Lenta.	5	ALTO	BUENA
* <u>Playas protegidas de Arena con grano fino.</u>	5	Eo: Baja, Media y/o Alta Pp: Ligera a Moderada. T: 1 a 2 años CNL: Baja, Media y/o Alta. Mo: Baja. Re: Lenta a Moderada.	Eo: Baja. Pp: Ligera. T: 1 a 2 años. CNL: Baja. Mo: NO SE REPORTA Re: NO SE REPORTA	4	MEDIO	REGULAR
* <u>Playas de arena de grano medio a grueso</u>	4	Eo: Moderada a Alta. Pp: Media a Profunda. T: 1 a 2 años CNL: Media a Alta. Mo: Baja. Re: Moderada a Rápida	Eo: Alta. Pp: Profunda. T: 1 a 2 años CNL: Alta. Mo: NO SE REPORTA Re: NO SE REPORTA	4	MEDIO	REGULAR
* <u>Playas mixtas expuestas de arena y grava.</u>	6	Eo: Alta y/o moderada - baja Pp: Profunda a superficial. T: 1 a 2 años. CNL: Alta y/o Media Mo: Baja. Re: Rápida a Lenta.	Eo: Baja. Pp: Profunda. T: 2 años. CNL: Baja. Mo: NO SE REPORTA Re: NO SE REPORTA	3	MEDIO	REGULAR

La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue alto (5/6). De esto resultó un nivel de comparación alto y una capacidad predictiva buena.

b). Bloques rocosos protegidos. Corresponde asignar un ISA de 8, el cual descansa sobre: baja energía; penetración superficial; tiempo de permanencia de dos a cinco años; baja capacidad de limpieza natural; alta mortalidad, y lenta recuperación.

La descripción del evento permitió comprobar que cinco atributos se comportaron del modo esperado mientras el tiempo de permanencia no se reporta, por lo que se considera diferente a lo esperado.

La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue alto (5/6). De esto resultó un nivel de comparación alto y una capacidad predictiva buena.

c) Playas protegidas de arena con grano fino. Corresponde asignar un ISA de 5, el cual se basa en: baja, media y/o alta energía del oleaje; ligera a moderada profundidad de penetración; tiempo de permanencia de uno a dos años; baja, media y/o alta capacidad de natural de limpieza; baja mortalidad, y lenta a moderada recuperación.

La descripción del evento permitió comprobar que los cuatro atributos físicos se comportaron del modo esperado mientras que la mortalidad y recuperación no se reporta.

La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue media (4/6). De esto resultó un nivel de comparación medio y una capacidad predictiva regular.

d) Playas de arena de grano medio a grueso. Corresponde asignar un ISA de 4, el cual se basa en: moderada a alta energía del oleaje; media a profunda penetración; tiempo de permanencia de uno a dos años; media a alta capacidad natural de limpieza; baja mortalidad, y moderada a rápida recuperación.

La descripción del evento en este tipo de costa permitió comprobar que los cuatro atributos físicos se comportaron del modo esperado mientras que la mortalidad y recuperación no se reportan por lo que se consideró su comportamiento diferente al esperado.

La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue media (4/6). De esto resultó un nivel de comparación medio y una capacidad predictiva regular.

e) Playas mixtas expuestas de arena y grava. Corresponde asignar un ISA de 6, el cual se basa en: alta y/o moderada-baja energía; penetración de profunda a superficial; tiempo de permanencia de uno a dos años; alta y/o media capacidad de limpieza natural; baja mortalidad, y rápida a lenta recuperación.

La descripción del evento (Gundlach, *et al.*, op. cit.) permitió comprobar que tres de los atributos físicos se comportaron del modo esperado, mientras que la capacidad natural de limpieza fue baja. La mortalidad y recuperación no se reportaron, considerándose por tal motivo que su comportamiento fue diferente al esperado.

La proporción de atributos cuyo comportamiento esperado y observado fue medio (3/6). De esto resultó un nivel de comparación medio y una capacidad predictiva regular.

V.2.1.6. En el evento de "Punta Cabras".

Se registró quincenalmente a partir de septiembre de 1990 a junio de 1991: la biomasa de macroalgas (material flotante) que por efecto de las corrientes llegaron a la costa de Punta Cabras, B.C. Los tipos de costa a las que arribaron fueron: playas protegidas de arena, playas expuestas mixtas de arena y cantos rodados y plataforma erosionada por las olas (Escofet y Burgeño, op. cit.; López-Uriarte, op. cit.).

Los atributos físicos y biológicos esperados difieren según los tipos de costa presentes en el sitio, resultando tres eventos reales (tabla XV):

a) Playas protegidas con arena fina. Corresponde asignarles un ISA de 6, el cual se basa en: baja, media y/o alta energía; penetración ligera a media del material arribado; tiempo de permanencia de uno a dos años; baja, media y/o alta capacidad de limpieza natural; baja mortalidad y lenta a moderada recuperación.

TABLA XV. Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA estándar en el evento de "Punta Cabras". El atributo de recuperación no aplica debido a la naturaleza del material, su correspondencia se consideró diferente a la esperada.

TIPO DE COSTA.	ISA	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS ESPERADOS.	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS OBSERVADOS.	ATRIBUTOS COM- PARTI- DOS.	NIVEL DE COMPA RACION	CAPACI DAD PREDIC TIVA.
* <u>Playa protegi- da de bolsillo con arena fina.</u>	5	Eo: Baja media y/o alta Pp: Ligera a media T: 1 a 2 años. CNL: Baja media y/o alta Mo: Baja. Re: Lenta a moderada.	Eo: Baja a media. Pp: Nula. T: Semanas a 1 mes. CNL: Baja a media. Mo: Nula. Re: NO APLICA.	2	BAJO.	MALA.
* <u>Playa ex- puesta mixta de arena y cantos rodados.</u>	6	Eo: Alta y/o de Mode- rada a baja. Pp: Profunda-superficial T: 1 a 2 años. CNL: Alta y/o media. Mo: Baja. Re: Rápida a lenta.	Eo: Moderada-Baja. Pp: Nula. T: Semanas a 1 mes. CNL: Media a baja. Mo: Nula. Re: NO APLICA.	2	BAJO.	MALA.
* <u>Plataforma erosionada por las olas.</u>	2	Eo: Alta. Pp: Muy ligera. T: Pocas semanas. CNL: Alta. Mo: Media. Re: Rápida.	Eo: Alta. Pp: Nula. T: Horas a días. CNL: Alta Mo: Nula. Re: NO APLICA.	2	BAJO.	MALA.

La descripción del evento (Escofet y Burgeño, op. cit.; López-Uriarte, op. cit.) permitió comprobar que dos de los atributos físicos se comportaron del modo esperado mientras que la penetración fue nula (debido al tipo de material arribado). El tiempo de permanencia fue menor; la mortalidad fue nula y la recuperación no aplica en este caso debido a la naturaleza del material.

La proporción de atributos de comportamiento esperado y observado fue baja (2/6). De esto resultó un nivel de comparación bajo y una capacidad predictiva mala.

b) Playas expuestas mixtas de arena y cantos rodados. Corresponde asignarle un ISA de 6. El comportamiento esperado de sus atributos físicos y biológicos son idénticos a los reportados en el evento del "Arrow".

La descripción del evento es idéntico al anterior (V.2.1.6.a). De igual manera, la proporción de atributos compartidos muestra un nivel bajo de correspondencia y una mala capacidad de predicción.

c) Plataforma erosionada por las olas. Se le asigna un ISA de 2, con base en: alta energía del oleaje; muy ligera profundidad de penetración; tiempo de permanencia de pocas semanas; alta capacidad natural de limpieza; mortalidad media y rápida recuperación.

La descripción del evento es idéntico al anterior (V.2.1.6.a). De igual manera, la proporción de atributos compartidos muestra un nivel bajo de correspondencia y una mala capacidad de predicción.

V.2.2. Generación de una modificación del ISA que permita evaluar el arribo de material sólido.

Con base a los resultados de Punta Cabras, donde se encontró una correspondencia baja entre los atributos esperados y observados se hizo patente que el método del ISA descansa sobre el supuesto de que el material arribado está en estado líquido. Esto se entiende porque toda esta metodología se desprendió de eventos de derrames de hidrocarburos. Por lo tanto, como el caso de Punta Cabras se trataba de material sólido (macroalgas) se supuso que los resultados obtenidos se deblan a la estructura interna del ISA, que pesa la capacidad de penetración del sustrato, atributo que es relevante sólo si el material se encuentra en estado líquido. Con base a lo anterior, se decidió generar una modificación del método que considera únicamente los atributos de energía del

oleaje, tiempo de permanencia (escala de horas a días, días a semanas y semanas a un mes); capacidad natural de limpieza, y que descartará la profundidad de penetración.

Esta modificación se exploró en dos modalidades: a) con material sólido de origen natural caso real de Punta Cabras, donde el material arribado fueron macroalgas y b) en un caso hipotético donde el material sólido arribado fuera antropogénico.

V.2.2.1. Aplicación del ISA modificado a casos de material sólido natural.

Se exploró nuevamente el caso de Punta Cabras, donde resultaron afectados tres tipos de costa y los atributos físicos esperados difieren según los tipos de costa presentes en el sitio, resultando tres eventos reales (tabla XVI).

TABLA XVI. Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA modificado al evento real de "Punta Cabras".

TIPO DE COSTA.	ISA	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLOGICOS ESPERADOS.	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLOGICOS OBSERVADOS.	ATRIBUTOS COM- PARTI- DOS.	NIVEL DE COMPA RACION	CAPACI DAD PREDIC TIVA.
* <u>Playa protegida de bolsillo con arena fina.</u>	5	Eo: Baja media y/o alta T: Semanas a 1 mes. CNL: Baja media y/o alta	Eo: Baja a media. T: Semanas a 1 mes. CNL: Baja a media.	3	ALTO.	BUENA
* <u>Playa expuesta mixta de arena y cantos rodados.</u>	6	Eo: Alta y/o de Moderada a baja. T: Días a 1 mes. CNL: Alta y/o media.	Eo: Moderada-Baja. T: Semanas a 1 mes. CNL: Moderada a baja	3	ALTO.	BUENA
* <u>Plataforma erosionada por las olas.</u>	2	Eo: Alta. T: Horas a días. CNL: Alta.	Eo: Alta. T: Horas a días. CNL: Alta	3	ALTO.	BUENA

a) Playas protegidas con arena fina. Se le asigna un ISA de 5, el cual se basa en: baja, media y/o alta energía; tiempo de permanencia de semanas a un mes; baja, media y/o alta capacidad de limpieza natural.

La descripción del evento (Escofet y Burgeño, op. cit.; López-Uriarte, op. cit.) permitió comprobar que los tres atributos físicos se comportaron del modo esperado.

La proporción de atributos del ISA modificado cuyo comportamiento esperado y observado coincidió fue alto (3/3). De esto resultó un nivel de comparación alto y una capacidad predictiva alta.

b) Playa expuesta mixta de arena con cantos rodados. Corresponde asignarle un ISA de 6, el cual se basa en: alta y/o moderada a baja energía del oleaje; tiempo de permanencia de días a un mes; alta y/o media capacidad de limpieza natural.

La descripción del evento permitió comprobar que los tres atributos físicos se comportaron del modo esperado; por lo tanto, el nivel de comparación entre lo esperado y lo observado fue alto (3/3) al igual que su capacidad predictiva.

c) Plataforma erosionada por las olas. Corresponde asignarle un ISA de 2, en base a: alta energía; tiempo de permanencia de horas a días; alta capacidad de limpieza natural.

La descripción del evento permitió comprobar que los tres atributos físicos se comportaron del modo esperado, ocasionando esto que el nivel de comparación entre lo esperado y lo observado fuera alto (3/3), al igual que su capacidad predictiva.

V.2.2.2. Aplicación del ISA modificado a un caso hipotético en Punta Cabras donde se supuso que el material sólido arribado fuera antropogénico.

En esta sección (tabla XVII), los atributos mortalidad, recuperación e impacto biológico deberán ser considerados. Además, se observa la necesidad de incluir dentro de estos atributos un parámetro más que valore el impacto estético y económico de la costa en función del uso por el hombre.

En el evento de Punta Cabras, como ya se dijo anteriormente, se afectaron tres tipos de costa, y los resultados de la exploración de un caso hipotético donde el material sólido arribado fuera antropogénico son los siguientes:

a) Atributos como la mortalidad y recuperación podrían ser reincorporados al ISA, pero como la mortalidad y recuperación esperados en el ISA se refieren implícitamente a hidrocarburos y/o derivados, su aplicación se dificulta al desconocerse la calidad de material sólido que pudiera arribar.

b) Por lo anterior, los resultados observados de mortalidad y recuperación podrían cubrir todo el espectro (alta, media y/o baja), lo cual dificulta el nivel de comparación entre los atributos esperados y los observados.

c) Además, como la mortalidad y recuperación refieren exclusivamente a la flora y fauna, efectos que podrían no ser tan prioritarios en caso de fuertes daños estéticos y/o a la salud. Estas condiciones son intratables dentro de la estructura del ISA. Por lo tanto, se refuerza la necesidad de introducir modificaciones que permitan valorar el impacto estético y/o a la salud.

TABLA XVII. Resultado del ejercicio de calibración del ISA, aplicando el ISA modificado al evento "Punta Cabras" (caso hipotético).

TIPO DE COSTA.	ISA	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS IMPLICADOS EN EL ISA.	ATRIBUTOS FISICOS Y BIOLÓGICOS OBSERVADOS.	ATRIBUTOS COM- PARTIDOS.	NIVEL DE COMPA RACION	CAPACI DAD PREDIC TIVA.
* <u>Playa protegida de bolsillo con arena fina.</u>	5	Eo: Baja media y/o alta τ : Semanas a 1 mes. CNL: Baja media y/o alta Mo: Baja Re: Lenta a moderada.	Eo: Baja a media. τ : Semanas a 1 mes. CNL: Baja a media. Mo: Baja, media y/o alta. Re: Moderada.	6	ALTO.	BUENA
* <u>Playa expuesta mixta de arena y cantos rodados.</u>	6	Eo: Alta y/o de Moderada a baja. τ : Días a un mes. CNL: Alta y/o media. Mo: Baja Re: Rápida a lenta.	Eo: Moderada-Baja. τ : Semanas a 1 mes. CNL: Media a baja Mo: Baja, media y/o alta. Re: Lenta	6	ALTO.	BUENA
* <u>Plataforma erosionada por las olas.</u>	2	Eo: Alta. τ : Horas a días. CNL: Alta. Mo: media Re: Rápida	Eo: Alta. τ : Horas a días. CNL: Alta Mo: Baja, media y/o alta. Re: Rápida	6	ALTO.	BUENA

V.3. Resumen de los resultados de la calibración.

Aplicando el ISA estándar el 50% de los eventos reales (7) mostraron alta correspondencia entre el comportamiento esperado y el observado. Tres eventos (21%) tuvieron una correspondencia media; cuatro eventos (29 %) mostraron baja correspondencia entre los atributos físicos y biológicos esperados y los observados. (tabla XVIII, renglones 1-6 y tabla XIX, columna 3, izquierda).

En los cuatro eventos con baja correspondencia, se detectó que dicho resultado era artificial y no reflejaba carencias del índice: En el caso de bloques rocosos expuestos, la descripción (Keiz, *et al.*, 1978; Stewcart y Marks, 1978; Thomas, 1978) sobreestimó el tiempo de residencia del material propio del "Arrow", ya que en base al seguimiento, los mismos autores reconocieron que la contaminación reciente provenía de otras fuentes (petróleo y derivados procedentes de una marina y/o barcos pesqueros).

En los tres casos de Punta Cabras: la baja correspondencia se debió al desajuste entre la naturaleza física y origen del material arribado y la capacidad del método, donde la profundidad de penetración, tiempo de permanencia, mortalidad, y recuperación dan por supuesto que el material arribado está en estado líquido, y que es dañino.

Luego de retrabajar el caso de Punta Cabras con el ISA modificado, los tres tipos de costa involucrados en este evento presentaron una alta correspondencia entre los atributos esperados y observados (tabla XVIII, renglón 7, tabla XIX, columna 3 derecha).

Considerando estos nuevos resultados dentro de los seis casos analizados, (tabla XIX) observamos un incremento en el número de eventos reales con alta correspondencia (71%). El porcentaje de eventos reales con correspondencia media no varió; sin embargo, sólo un caso mostró baja correspondencia, disminuyendo grandemente el porcentaje (7%).

TABLA XVIII. Resultado del ejercicio de calibración de la capacidad predictiva del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA): Aplicación estándar del ISA (renglones 1-6); aplicación del ISA modificado para evaluar el arribo de material sólido (renglón 7); igual al anterior, para casos en que el material sólido arribado sea peligroso (renglón 8).

CASO.	TIPO DE SUSTANCIA	TIPO DE COSTA INVOLUCRADO ESPECIFICACION.	CORRESPONDENCIA ENTRE LOS ATRIBUTOS ESPERADOS Y OBSERVADOS.
1. Tampico Maru.	Diesel.	Acantilados expuestos.	ALTO.
2. Florida.	Diesel.	Marismas.	ALTO.
3. Bouchard 65.	Aceite.	Marismas.	ALTO.
4. Arrow.	Petróleo crudo.	Bloques rocosos expuestos. Marismas. Planicies de marea protegidas.	BAJO. ALTO. ALTO.
5. Urquiola.	Petróleo crudo.	Acantilados expuestos. Playa con arena gruesa. Playa protegida con arena fina. Playa expuesta mixta. Bloques rocosos protegidos.	ALTO. MEDIO. MEDIO. MEDIO. ALTO.
6. Punta Cabras.	Macroalgas.	Plataforma erosionada por las olas. Playa protegida con arena fina. Playa expuesta mixta.	BAJO. BAJO. BAJO.
7*. Punta Cabras. (ISA modificado).	Macroalgas.	Plataforma erosionada por las olas. Playa protegida con arena fina. Playa expuesta mixta.	ALTO. ALTO. ALTO.
8*. Punta Cabras. (ISA modificado).	Sólida, antropogénica.	Plataforma erosionada por las olas. Playa protegida con arena fina. Playa expuesta mixta.	VARIABLE. IRRELEVANTE FRENTE A IMPACTO ESTETICO Y/O A LA SALUD. NECESITA PROFUNDIZACION.

TABLA XIX. Comparación de los resultados del ejercicio de calibración con base en el ISA estándar y el ISA modificado para evaluar la vulnerabilidad de la costa.

TIPO DE COSTA.	CASOS	CORRESPONDENCIA ENTRE LOS ATRIBUTOS ESPERADOS Y OBSERVADOS DEL					
		ISA ESTÁNDAR			ISA MODIFICADO		
		ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA
1. ACANTILADOS EXPUESTOS	2	2/2			2/2		
22. PLATAFORMA EROSIONADA POR OLAS	1			1/1	1/1		
3. PLAYAS PROTEGIDAS DE ARENA FINA	2		1/2	1/2	1/2	1/2	
4. PLAYAS DE ARENA C/ GRANO GRUESO	1		1/1			1/1	
5. PLAYAS EXPUESTAS MIXTAS	2		1/2	1/2	1/2	1/2	
6. BLOQUES ROCOSOS EXPUESTOS	1			1/1			1/1
7. BLOQUES ROCOSOS PROTEGIDOS	1	1/1			1/1		
8. PLANICIES DE MAREA PROTEGIDAS	1	1/1			1/1		
9. MARISMAS	3	3/3			3/3		
TOTAL DE EVENTOS REALES.	14	7/14	3/14	4/14	10/14	3/14	1/14
PORCENTAJE DE EVENTOS REALES	100	50 %	21 %	29 %	71 %	21 %	7 %

Con base a los resultados, se considera que: a) El ISA estándar es buen predictor de los eventos reales en caso de que el material arribado sea líquido. b) La modificación para evaluar el comportamiento de material sólido, es adecuada para materiales naturales, pero necesita ajustes si se trata de material antropogénico.

V.4. Ejercicio de calibración cartográfico del ISA.

Esta parte del trabajo partió de experiencia de campo, donde se observó que algunos tipos de ambientes costeros no coincidían con la descripción cartográfica (por ejemplo, en una parte de la Bahía de Salsipuedes se encontró que lo que estaba indicado en el mapa como “acantilado expuesto” era “bloques rocosos expuestos”).

Por lo tanto, se inició un ejercicio que permitiera apreciar que grado de error puede haber si el ISA se asigna solamente en base a la cartografía.

Los resultados de este ejercicio, se dividen en tres secciones :

- a) Asignación del ISA usando únicamente material cartográfico (ISAc).
- b) Asignación del ISA usando resultados de las mediciones directas (ISAm).
- c) Comparación de los dos métodos usados para asignar el ISA.

V.4.1. Asignación del ISA usando únicamente material cartográfico (Tabla XX).

Se encontró que la asignación de los valores del ISA con base a la cartografía presentan variaciones importantes dependiendo de que:

1. Las cartas provengan de agencias gubernamentales oficiales (por ejemplo CETENAL, SPP, INEGI, entre otras) o de otras fuentes (por ejemplo reportes técnicos de universidades, de departamentos de ingenieros y geólogos, entre otros).

2. En el primer caso, existen variaciones según: a) La escala en que este expresada la carta; b) que las cartas contengan o no, leyendas referentes al código cartográfico.

3. En el caso de reportes técnicos existe variación según las diferentes denominaciones que los autores den a la morfología costera.

Todos estos factores de variación son muy importantes a la hora de asignar el ISA, porque los valores del mismo dependen de los tipos de línea de costa reconocidos por Gundlach y Hayes, 1978. Por lo tanto, el primer paso es realizar una "traducción" de la descripción que exista en la cartografía disponible, a las categorías utilizadas por estos autores. A esto debe agregarse que parte de dichas categorías incluyen el atributo de "expuesto" y "protegido", atributos que no figuran en la cartografía sino que pueden interpretarse a partir de la orientación de los segmentos de costa.

En este trabajo, la asignación de los tipos de costa se hizo con base a lo siguiente: a) integración de cartografía a escalas de 1:300,000; 1:180,000; 1:50,000; 1:35,000; b) interpretación del grado de exposición con base a las mismas.

De acuerdo con la lectura del material cartográfico, las tres zonas de estudio reúnen 8 tipos de línea de costa, de los 13 propuestos por Gundlach y Hayes (op. cit.), los cuales se indican en los casos específicos. No estuvieron presentes: playas de arena con grano medio a grueso; planicies de marea expuestas; playas protegidas mixtas; bloques rocosos expuestos; ni manglares (tabla XX).

Ninguno de los sitios estudiados fue homogéneo respecto a los tipos de línea de costa; es decir, que todos los lugares presentaron más de un tipo de línea de costa a su interior y, por lo tanto, diferentes grados de vulnerabilidad.

Los resultados obtenidos son los siguientes: (tabla XX).

TABLA XX. Caracterización de la franja costera en la zona de estudio, con base al ISA asignado sobre la cartografía (ISAc) (izquierda de la tabla) y sobre mediciones directas de campo (ISAm) (derecha de la tabla). Entre paréntesis, se indican condiciones que pueden interpretarse a partir de la orientación de los segmentos de costa (columna 2) o de los análisis de campo (columna 5).

AREA.	TIPO DE LINEA DE COSTA.	ISAc	ISAm	TIPO DE LINEA DE COSTA.
BAHIA DE SALSIPUEDES.				
EL MIRADOR.	ACANTILADO (EXPUESTO).	1	1	ACANTILADO EXPUESTO.
PLAYA SALSIPUEDES NTE.	PLAYA MIXTA DE ARENA Y ROCAS (PROTEGIDA).	8	6	PLAYA EXPUESTA MIXTA CON CANTOS RODADOS Y PEÑASCOS.
PLAYA PEÑASCOS A.	PLAYA MIXTA DE ARENA Y ROCAS (PROTEGIDA).	8	6	BLOQUES ROCOSOS EXPUESTOS.
PLAYA SALSIPUEDES.	PLAYA MIXTA DE ARENA Y ROCAS (PROTEGIDA).	8	6	PLAYA EXPUESTA MIXTA DE ARENA Y CANTOS RODADOS.
PLAYA PEÑASCOS B.	ACANTILADO (EXPUESTO).	1	6	BLOQUES ROCOSOS EXPUESTOS.
PLAYA RANCHO BONITO N	PLAYA MIXTA DE ARENA Y ROCAS (PROTEGIDA).	8	6	PLAYA EXPUESTA MIXTA DE ARENA Y CANTOS RODADOS.
PLAYA PEÑASCOS C.	ACANTILADO (EXPUESTO).	1	6	BLOQUES ROCOSOS EXPUESTOS.
PLAYA RANCHO BONITO.	ACANTILADO (EXPUESTO).	1	6	PLAYA EXPUESTA MIXTA CON CANTOS RODADOS Y PEÑASCOS.
PLAYA PEÑASCOS D.	ACANTILADO (EXPUESTO).	1	6	BLOQUES ROCOSOS EXPUESTOS.
PLAYA SALDAMANDO.	PLAYA MIXTA DE ARENA Y ROCAS (PROTEGIDA).	8	3	PLAYA DE ARENA.
PUNTA SAN MIGUEL.	PUNTA ROCOSA (EXPUESTA).	1	1	PUNTA ROCOSA EXPUESTA.

Tabla XX (Continuación).

AREA.	TIPO DE LINEA DE COSTA.	ISAc	ISAm	TIPO DE LINEA DE COSTA.
BAHIA DE TODOS SANTOS				
PLAYA LA CUEVA DE LOS TIGRES.	PLAYA DE ARENA.	3	5	PLAYA DE ARENA FINA (PROTEGIDA DE ARENA FINA).
PLAYA MONALISA.	PLAYA DE ARENA.	3	3	PLAYA DE ARENA (EXPUESTA).
ESTERO BEACH.	PLAYA DE ARENA.	3	5 ^{v+}	PLAYA DE ARENA FINA (PROTEGIDA DE ARENA FINA).
BOCA DE LA BARRA.	PLAYA DE ARENA.	3	5 ^{v+}	PLAYA DE ARENA FINA (PROTEGIDA DE ARENA FINA).
PLANICIE DE INUNDACION.	PLANICIE DE MAREA (PROTEGIDA).	9	9	PLANICIE DE MAREA PROTEGIDA.
PLAYA DE LA BARRA INT.	PLANICIE DE MAREA (PROTEGIDA).	9	5 ^{v+}	PLAYA DE ARENA FINA (PROTEGIDA DE ARENA FINA).
PLAYAS EXTERNAS DE LA BARRA.	PLAYA DE ARENA.	3	3	PLAYA DE ARENA (EXPUESTA).
MARISMA.	MARISMA	10	10	MARISMA
PUNTA CABRAS.				
MACIZO PUNTA CABRAS.	PUNTA ROCOSA (EXPUESTA).	1	1	PUNTA ROCOSA EXPUESTA.
PLAYA PTA. CABRAS NTE. ADYACENTE AL MACIZO.	PLAYA DE ARENA.	3	6	PLAYA MIXTA DE ARENA CON CANTOS RODADOS (EXPUESTA).
PLAYA PTA CABRAS NTE. AL SUR DEL ARROYO.	PLAYA DE ARENA.	3	6	PLAYA MIXTA DE ARENA CON CANTOS RODADOS (EXPUESTA).
PLAYA PTA. CABRAS NORTE DEL ARROYO	PLAYA DE ARENA.	3	3	PLAYA DE ARENA (EXPUESTA).
PLAYA PTA. CABRAS SUR A, B Y C.	PLAYA DE ARENA (PROTEGIDA).	5	5	PLAYAS DE ARENA FINA (PROTEGIDAS CON ARENA FINA).
LAS MINAS.	PLATAFORMA EROSIONADA POR LAS OLAS.	2	2	PLATAFORMA EROSIONADA POR LAS OLAS.

V.4.1.1. Bahía de Salsipuedes.

Comprende cuatro tipos de costa, cuyos atributos físicos y biológicos esperados son:

a) Punta rocosa expuesta. Corresponde asignar un ISA de 1, el cual se basa en: alta energía; nula penetración; tiempo de permanencia de días a semanas; alta capacidad de limpieza natural; alta mortalidad, y rápida recuperación.

b) Acantilados expuestos. Corresponde asignarles un ISA de 1, con fundamento idéntico al caso (V.4.1.1.a).

c) Playas mixtas de arena y rocas protegidas. Corresponde asignar un ISA de 8, el cual descansa en: baja energía; profundidad de penetración superficial formando charcas; tiempo de permanencia dos a cinco años; baja capacidad de limpieza natural; alta mortalidad, y lenta recuperación.

d) Playas de arena protegidas. Corresponde asignar un ISA de 5, el cual se basa en: baja, media y/o alta energía; ligera a moderada profundidad de penetración; tiempo de permanencia uno a dos años; baja, media y/o alta capacidad de limpieza natural; baja mortalidad, y lenta recuperación.

V.4.1.2. Bahía de Todos Santos.

Comprende tres tipos de costa, cuyos atributos físicos y biológicos esperados son:

a) Playas de arena. Corresponde asignar un ISA de 3, el cual descansa en: alta energía; ligera profundidad de penetración; tiempo de permanencia de meses a un año; alta capacidad de limpieza natural; mortalidad media, y rápida recuperación.

b) Planicies de marea protegida. Corresponde asignar un ISA de 9, el cual descansa en: baja energía; profundidad de penetración superficial formando charcas; tiempo de permanencia de dos a cinco años; baja capacidad de limpieza natural, alta mortalidad, y lenta recuperación.

c) Marismas. Corresponde asignar un ISA de 10, el cual indica que estos ambientes costeros son los más vulnerables debido a que presentan: baja energía del oleaje; penetración superficial formando charcas; tiempo de permanencia mayor a cinco años; baja capacidad de limpieza natural; alta mortalidad, y lenta recuperación.

V.4.1.3. Punta Cabras.

Comprende cuatro tipos de costa, cuyos atributos físicos y biológicos esperados son:

a) Punta rocosa expuesta. Corresponde asignar un ISA de 1, con fundamento idéntico al reportado en la Bahía Salsipuedes (V.4.1.1.a).

b). Playas de arena. Corresponde asignar un ISA de 3, con fundamento idéntico al reportado en la Bahía de Todos Santos (V.4.1.2.a).

c) Playas de arena protegida. Corresponde asignar un ISA de 5, con fundamento idéntico a los reportados en la Bahía de Salsipuedes (V.4.1.1.d).

d) Plataforma erosionada por las olas. Corresponde asignarle un ISA de 2, con base en: alta energía del oleaje; penetración muy ligera; tiempo de permanencia pocas semanas; alta capacidad de limpieza natural; mortalidad media, y rápida recuperación.

Al agrupar los valores del ISAc por tipo de costa (tabla XXI) se observa que en todos los casos dentro de un mismo tipo de costa, menos en playas de arenas, recibieron el mismo valor de ISA a excepción de playas de arenas, a dicho tipo de costa los valores de ISA asignados fueron de 3, 5 y 8. Esto, aparentemente, se debe a que las descripciones a nivel cartográfico no permiten captar los matices propios de variaciones en el tamaño de grano, grado de exposición y tipo de material.

Este resultado, en parte, alentó la realización del ejercicio que se reporta en la siguiente sección, donde el valor del ISA se asignó exclusivamente con base a mediciones de campo.

TABLA XXI. Valores del ISAc asignados en la zona de estudio, agrupados por tipos de costa.

TIPOS DE COSTA.	PUNTA ROCOSA EXPUESTA.	ACANTILADOS EXPUESTOS.	PLATAFORMA EROSIONADA POR OLAS.	PLAYA DE ARENA.	PLAYA DE ARENA (PROTEGIDA).	PLAYA DE ARENA Y ROCA (PROTEGIDA).	PLANICIES DE MAREA PROTEGIDA.	MARISMÁS.
ISA	1	1	2	3	5	8	9	10
No. DE CASOS	2/2	5/5	1/1	10/18	3/18	5/18	2/2	1/1

V.4.2. Asignación del ISA con base en mediciones directas de campo. (tabla XX).

En esta sección se presentan los resultados del trabajo directo de campo, donde se recorrió cada sitio estudiado, reconociendo en escala 1:1 el tipo de ambiente costero, se realizaron mediciones y muestreos específicos y se midió la extensión relativa de cada tipo de costa.

Los resultados de la medición directa difirieron marcadamente de lo obtenido cartográficamente; estas diferencias fueron particularmente notables en el caso de las playas de arena, acantilados expuestos y playas mixtas.

A continuación, se describen los resultados por tipos de costa.

V.4.2.1. Playas de arena (tabla XXII.).

Con base a las grandes variaciones encontradas para este tipo de ambiente con el ISA cartográfico, se decidió aplicar una metodología más fina a su tratamiento. Se adoptó la metodología de Mc.Lachlan (1980) por considerarse más completa y objetiva para evaluar el grado de exposición de las playas de arena, el cual divide en cuatro categorías: muy expuesta, expuesta, protegida, y muy protegida.

Con dicho método, se distinguió que las playas de los sitios de estudio pertenecen a tres tipos de exposición: expuesta, protegida y muy protegida.

Ninguna de las playas estuvo en la categoría extrema de exposición (muy expuesta) reconocida por Mc.Lachlan (op. cit.).

Como el método de Mc.Lachlan (op. cit.) desdobra las categorías establecidas por Gundlach y Hayes (op. cit.), para playas de arena pero los valores del ISA se asigna con base a dichos autores, es necesario introducir una modificación para denotar que: a) Las playas muy expuestas están posicionadas hacia el extremo de menor vulnerabilidad; b) las muy protegidas tienden al extremo de mayor vulnerabilidad.

A efectos prácticos, en este trabajo se utilizó el siguiente código:

Playas de arena muy expuestas: Esta categoría no existe en la clasificación de Gundlach y Hayes (op. cit.), la cual únicamente asigna un ISA de 3 a las playas de arena. En caso de encontrar ambientes de este tipo, correspondería darles un valor de ISA igual a 3^V (que indica: ISA = 3, con menor vulnerabilidad). Como ya se dijo, no se encontró ningún ambiente de este tipo en el área de estudio.

Playas de arena expuestas: Corresponde exactamente a la categoría playas de arena de Gundlach y Hayes (op. cit.) y se denota con un ISA de 3. En el área de estudio, aplicando el método de medición directa de campo, se ubicaron cuatro playas en esta categoría: playa Saldamando, playa Monalisa, playa externa de la barra del Estero de Punta Banda, Punta Cabras Norte, al norte de la desembocadura del arroyo de Santa Cruz.

De estas cuatro localidades, tres habían recibido un ISA de 3 con el método cartográfico, y lo mantuvieron con la medición directa: playa Monalisa, playa externa de la barra del estero de Punta Banda; Punta Cabras Norte adyacente al macizo. El cuarto caso (playa Saldamando) había recibido un ISA de 8 con el método cartográfico, cambiando a 3 con la medición directa de campo. Es decir, que playa Saldamando tiene una vulnerabilidad bastante menor que la predicha por la cartografía.

Playas de arena protegida. Corresponde exactamente a la categoría playa protegida de arena fina de Gundlach y Hayes (op. cit.) y se denota con un ISA de 5. En la zona de estudio se encontró este tipo de ambiente en playa Cueva de los Tigres (Bahía de Todos Santos) y Punta Cabras Sur. En el primer caso, el ISA medido fue mayor que el asignado cartográficamente (ISA_c = 3), indicando que la playa Cueva de los Tigres tiene mayor vulnerabilidad que lo supuesto. En el caso de Punta Cabras el valor del ISA medido fue idéntico al asignado cartográficamente.

Playas de arena muy protegidas. Esta categoría tampoco existe en la clasificación de Gundlach y Hayes (op. cit.). Corresponde darles un valor modificado del ISA (5^{v+} , que indica: ISA = 5, con mayor vulnerabilidad). En el área de estudio este tipo de ambientes se encontró en: playa Estero Beach; boca de la barra del estero de Punta Banda; playa interna de la barra del estero de Punta Banda. En ningún caso el ISA medido correspondió con el cartográfico: el Estero Beach y la boca de la barra pasaron de 3 a 5^{v+} (es decir, la vulnerabilidad medida fue mayor que la calculada); la playa interna de la barra paso de 9 a 5^{v+} (la vulnerabilidad medida fue menor que la calculada).

V.4.2.2. Acantilados expuestos.

Con la medición directa de campo, se confirmó sólo uno de los cuatro ambientes que habían sido asignados a esta categoría cartográficamente. Esto sucedió con la localidad llamada El Mirador, en Bahía de Salsipuedes. Los otros tres sitios, también en Bahía de Salsipuedes cambiaron drásticamente de tipo de línea de costa y por lo tanto de ISA:

- Playa Peñascos, sector B: pasó de acantilado expuesto (ISA = 1) a bloque rocoso expuesto (ISA = 6). La vulnerabilidad medida fue mucho mayor que la calculada.

- Playa Rancho Bonito: pasó de acantilado expuesto (ISA = 1) a playa expuesta mixta con cantos rodados y peñascos (ISA = 6). La vulnerabilidad medida fue mayor a la calculada.

- Playa Peñascos, sector D: pasó de acantilado expuesto (ISA = 1) a bloques rocosos expuestos (ISA = 6). La vulnerabilidad medida fue mayor a la calculada.

V.2.2.3. Playas expuestas mixtas.

Con la medición directa de campo se encontraron seis ambientes de este tipo:

- Playa Salsipuedes Norte. Fue catalogada como playa expuesta mixta con cantos rodados y peñascos, con un ISA de 6. Con el método cartográfico había recibido un ISA de 8 (playa mixta de arena y rocas, protegida). La vulnerabilidad medida fue algo menor que la calculada.

- Playa Salsipuedes. Catalogada como playa expuesta mixta de arena y cantos rodados, con un ISA de 6. Con el método cartográfico había recibido un ISA de 8 (playa mixta de arena y rocas, protegida). La vulnerabilidad medida fue algo menor que la calculada.

- Playa Rancho Bonito Norte. Fue catalogada como playa expuesta mixta de arena y cantos rodados, con un ISA de 6. Con el método cartográfico había recibido un ISA de 8 (playa mixta de arena y rocas, protegida). La vulnerabilidad medida fue algo menor que la calculada.

- Playa Rancho Bonito. Fue catalogada como playa expuesta mixta de arena y cantos rodados con un ISA de 6. Con el método cartográfico había recibido un ISA de 1 (acantilado expuesto). La vulnerabilidad medida fue mucho mayor que la calculada.

- Punta Cabra Norte adyacente al Macizo. Fue catalogada como playa expuesta mixta de arena con cantos rodados, con un ISA de 6. Con el método

cartográfico había recibido un ISA de 3 (playa de arena). La vulnerabilidad medida fue mayor que la calculada.

- Punta Cabras Norte al sur del arroyo. Catalogada como playa expuesta mixta de arena con cantos rodados, con un ISA de 6. Con el método cartográfico había recibido un ISA de 3 (playa de arena). La vulnerabilidad medida fue mayor que la calculada.

TABLA XXII. Valoración del grado de exposición de las playas de arena localizadas en los intermareales tipos de la zona de estudio, usando el método de Mc.Lachlan, 1980.

PARAMETROS PLAYAS	ACCION DEL OLEAJE	AMPL. ZONA ROM- PIEN- TE.	% DE ARE- NA MUY FINA.	DIAM. MEDIO Y PEND DE LA PLAYA	PROF. DE LA CAPA REDU CIDA.	HOYOS DE ANI- MALES.	PUN- TUA- CION TOTAL	TIPO DE PLAYA	ISAm
BAHIA DE SALSIPUEDES.									
SALSIPUEDES NTE.	3	2	1	3	4	1	14	EXP.	6
SALSIPUEDES	3	2	1	2	4	1	13	EXP.	6
RANCHO BONITO NTE.	2	2	1	1	4	1	11	EXP.	6
RANCHO BONITO	2	2	1	1	4	1	11	EXP.	6
SALDAMANDO	3	2	1	1	4	1	12	EXP.	3
BAHIA DE TODOS SANTOS.									
CUEVA DE LOS TIGRES	1	2	0	1	4	1	9	PROT.	5
MONALISA	3	2	0	1	4	1	11	EXP.	3
ESTERO BEACH	0	0	0	2	0	1	3	MUY PROT.	v+ 5
BOCA BARRA	0	0	0	1	0	0	3	MUY PROT.	v+ 5
BARRA INTERNA	0	0	0	2	0	0	2	MUY PROT.	v+ 5
BARRA EXTERNA	3	2	0	1	4	1	11	EXP.	3
PUNTA CABRÁS.									
PTA. CAB. NTE. ADYAC. AL MACIZO	2	2	1	1	4	1	11	EXP.	6
PTA. CAB. NTE. AL SUR DEL ARROYO.	2	2	1	2	4	1	12	EXP.	6
PTA. CAB. NTE. AL NORTE DEL ARROYO.	2	2	0	2	4	1	11	EXP.	3
PTA. CAB. SUR SITIOS A, B Y C	1	2	0	1	4	1	9	PROT.	5

V.4.3. Comparación de los resultados obtenidos con el ISAc y el ISAm (tabla XXIII).

Los 25 casos analizados arrojaron una proporción diferente de valores del ISA, según éste se asignara en forma cartográfica (ISAc) o que se asignara luego de haber realizado mediciones de campo.

ISAc: El mayor número de casos estuvo en la categoría 3 (32%). Luego figuró la categoría 1 (28%). Luego, figuró la categoría 8 (20%). La categoría 9 reunió 8% y las categorías 2, 5 y 10, el 4%. No se registró ningún caso en las categorías 4, 6 y 7. Las frecuencias estuvieron agrupadas en los dos extremos de vulnerabilidad: baja (categorías 1-3) y alta (categorías 8-10).

ISAm: El mayor número de casos estuvo en la categoría 6 (40%). Luego figuró la categoría 3 (16%). Las categorías 1 y 5^{v+} reunieron 12% cada una. La categoría 5 reunió (8%). Las categorías 2, 9 y 10 reunieron un 4% cada una. No se registró ningún caso en las categorías de 4, 7 y 8. Las frecuencias estuvieron agrupadas en categorías de vulnerabilidad media a baja (1-6).

De acuerdo con el ISAc, el mayor porcentaje de los ambientes (64%) tienen vulnerabilidad baja, el 32% tienen vulnerabilidad alta y el 4% media.

Los resultados del ISAm agrupan el mayor porcentaje de los casos en vulnerabilidad media 60% seguidos por vulnerabilidad baja (32%) y finalmente por vulnerabilidad alta (8%).

Como resultado, y agrupando por tendencias, la vulnerabilidad baja a media representa el 68% con el ISAc y el 92% con el ISAm, quedando respectivamente el 32% y el 8% de vulnerabilidad alta. Agrupando a la inversa, la vulnerabilidad baja, reúne el 64% en ISAc y el 32% con el ISAm, mientras que la vulnerabilidad media a alta representa el 36% con el ISAc y 68% con el ISAm.

La interpretación de estas diferencias con base a las dos incisos anteriores, permite ver que las mismas se debieron principalmente a que las mediciones engrosaron en forma notable la categoría 6. Esta categoría absorbió diez casos

que habían sido calculados en categorías mucho más altas o mucho más bajas (categoría ocho, 4 de 5 casos; categoría uno, 4 de 7 casos; categoría tres, 2 de 8 casos). A esto se agrega que el quinto caso calculado en categoría ocho, pasó a categoría 3 en las mediciones, y que uno de los de categoría nueve paso a 5^{v+} en las mediciones. Por esta razón, el extremo de alta vulnerabilidad resultó mucho menos abultado en las mediciones, observándose que se retuvieron únicamente los ambientes que en todos los antecedentes son de alta vulnerabilidad (marismas y planicies de inundación de marea).

La alta frecuencia de valores en vulnerabilidad media como resultado de las mediciones también se debió a que: la categoría 5^{v+} absorbió dos casos calculados en categoría 3, y uno de los dos calculados en categoría 9; la categoría 5 absorbió un caso calculado en la categoría 3.

Las categorías 2 y 10 fueron las únicas que no mostraron diferencias entre los cálculos y las mediciones.

Puede concluirse que la asignación del ISA en forma cartográfica tiende, en primer término, a sobreestimar los valores de alta vulnerabilidad, y en el otro extremo a subestimar los valores de baja vulnerabilidad.

V.4.4. Análisis estadístico.

Las diferencias entre los valores del ISAc y los del ISAm se trabajaron estadísticamente con tres pruebas: frecuencias observadas vs. esperadas (chi-cuadrada), prueba de rangos para muestras pareadas (Wilcoxon), y suma de rangos de Mann Whitney. Los resultados fueron:

Las pruebas de Wilcoxon Y Mann Whitney fueron no significativas con un $\alpha = 0.05$. La prueba de suma de rangos de Chi-cuadrada resultó ser significativa con este mismo nivel de significancia (tabla XXIV).

TABLA XXIII. Resumen de la comparación de los resultados obtenidos con el ISAc y el ISAm.

% CATEGORIAS DE VULNERA- BILIDAD AGRUPADAS.	% CATEGORIAS DE VULNERA- BILIDAD AGRUPADAS	% CATEGORIAS DE VULNERA- BILIDAD	% DE LOS CASOS CAL- CULADOS.	NUMERO DE CASOS CALCULADOS. (n = 25)	VALOR DEL I S A	NUMERO DE CASOS MEDIDOS. (n = 25)	% DE LOS CASOS ME- DIDOS.	% CATEGORIAS DE VULNERA- BILIDAD	% CATEGORIAS DE VULNERA- BILIDAD AGRUPADAS.	% CATEGORIAS DE VULNERA- BILIDAD AGRUPADAS.
BAJA 64	BAJA A	BAJA 64	28	***** * ***** * ***** * ***** ** *	1	***	12	BAJA 32.0	BAJA A	BAJA 32.0
			4		2	*	4			
32			3		****	16				
MEDIA A		MEDIA 68	MEDIA		0.0	4	5	**	0.0	MEDIA 60.0
	4		NO APLICA	5 ^{v+}	***	8				
ALTA 36	ALTA	ALTA	0.0	6	*****	40	ALTA 8.0	ALTA 8.0	ALTA	ALTA 68.0
			0.0	7		0.0				
	32	32	20	8	*****	8	*	0.0		
			8	4	**	4	*	4		
			4	*	10	*	4			

TABLA XXIV. Resultados del análisis estadístico.

NOMBRE DE LA PRUEBA	VALOR CALCULADO	VALOR DE TABLAS	SIGNIFICANCIA	DECISION
FRECUENCIAS OBSERVADAS VS. FRECUENCIAS ESPERADAS (χ^2).	$\chi^2 = 116.902$	$\chi^2 = 36.415$	$p < 0.05$	SE RECHAZA.
PRUEBA DE MUESTRAS PAREADAS (WILCOXON).	T= 39	T = 81	$p = 0.2329$	NO SE RECHAZA.
PRUEBA DE SUMA DE RANGOS DE MANN-WHITNEY.	T=584		$p = 0.2960$	NO SE RECHAZA.

El desglose de las diferencias por tipos de costa (tabla XXV) permite explicar que las diferencias señaladas por el análisis estadístico tienen una contribución desigual de los diferentes tipos de costa, con mayor aportación por acantilados expuestos, playas de arena y playas protegidas mixtas.

En diez de los casos la diferencia entre el ISAc y ISAm fue de cero; quince casos presentaron diferencias (siete casos, con 2 puntos de diferencia; dos con 3 puntos; uno con 4 puntos y cinco con 5 puntos).

En los acantilados expuestos, cuatro de cinco casos presentaron una diferencia de 5 puntos entre lo calculado y lo medido.

Las playas de arena y las playas protegidas mixtas presentaron un alto número de casos con diferencias (cinco de ocho casos, con diferencias de 2 y 3 puntos; cinco de cinco casos con diferencias de 2 y 5).

El resto de los tipos de costa no presentó diferencias, o lo fueron en pocos casos (planicies de marea protegida, donde uno de dos casos presentó una diferencia cuatro).

TABLA XXV. Desglose de las diferencias entre el ISAc y el ISAm por tipo de costa.

TIPO DE COSTA VALORADO POR CARTOGRAFIA (TCc)	DIFERENCIA ENTRE EL ISAc E ISAm					
	0	1	2	3	4	5
PUNTA ROCOSA EXPUESTA	2/2					
ACANTILADOS EXPUESTOS	1/5 4/5					
PLATAFORMA EROSIONADA POR LAS OLAS	1/1					
PLAYA DE ARENA	3/8 3/8 2/8					
PLAYAS PROTEGIDAS DE ARENA FINA	1/1					
PLAYAS PROTEGIDA MIXTAS	4/5 1/5					
PLANICIES DE MAREA PROTEGIDAS	1/2 1/2					
MARISMAS	1/1					
TOTAL DE COSTAS AFECTADAS.	10/25 7/25 2/25 1/25 5/25					

V.5. Tipos de línea de costa en la zona de estudio: localización, valores del ISA, y Vulnerabilidad. (tablas XXVI y XXVII).

La zona de estudio presentó nueve de los trece tipos de costa propuestos por Gundlach y Hayes (1980): punta rocosa; acantilado expuesto; plataforma erosionada por las olas; playa de arena; playas protegidas de arena fina; playas expuestas mixtas; bloques rocosos expuestos; planicies de mareas protegidas; marismas y manglares. Los valores de ISA, fueron de 1 a 6, y 9 a 10 en la escala de Gundlach y Hayes (1978), incluyendo el valor 5^{v+} que resultó de la aplicación de la metodología de Mc.Lachlan (1980) en las playas arenosas (tabla XXVI).

No estuvieron representados: playas de arena muy expuesta, playas de arena de grano medio a grueso; planicies de marea expuestas; y los bloques rocosos protegidos. Como consecuencia no se registraron los valores de ISA de 4, 7 y 8 de la escala de Gundlach y Hayes (1978) ni el 3^v que resultó de la aplicación de la metodología de Mc.Lachlan (op. cit.) en las playas arenosas.

Las puntas rocosas y acantilados expuestos (ISA = 1), estuvieron presentes en: Bahía de Salsipuedes (Punta San Miguel y el Mirador); Punta Cabras (Macizo).

Plataforma erosionada por las olas (ISA = 2); se presentó en Punta Cabras Sur (Las Minas).

TABLA XXVI. Resultados globales sobre la localización de los tipos de línea de costa y sus valores del ISA en la zona de estudio. Los tipos de línea de costa, según Gundlach y Hayes (1978); los valores del ISA son una combinación de los establecidos por estos autores y los resultados de este estudio aplicando la metodología de Mc.Lachlan (1980) en las playas de arena.

TIPO DE LINEA DE COSTA	ISAm	LOCALIZACION.	
1. PUNTA ROCOSA.	1	Bahía de Salsipuedes: Punta Cabras:	Punta San Miguel. El Macizo.
2. ACANTILADOS EXPUESTOS.	1	Bahía de Salsipuedes:	El Mirador.
3. PLATAFORMA EROSIONADA POR LAS OLAS.	2	Punta Cabras Sur :	Las Minas.
4. PLAYAS DE ARENA.	3 ^{v-} 3	AUSENTE DEL AREA DE ESTUDIO.	
		Bahía de Salsipuedes: Bahía de Todos Santos:	Saldamando. Parte externa de la barra del estero de Punta Banda playa Monalisa.
		Punta Cabras Norte :	Al norte del arroyo.
5. PLAYAS DE ARENA CON GRANO MEDIO A GRUESO.	4	AUSENTE DEL ÁREA DE ESTUDIO.	
6. PLAYAS PROTEGIDAS DE ARENA FINA.	5 5 ^{v+}	Bahía de Todos Santos: Punta Cabras Sur:	Playa la Cueva de los Tigres Secciones A, B, y C
		Bahía de Todos Santos:	Playa Estero Beach; playa boca de la barra del estero.
7. PLAYAS EXPUESTAS MIXTAS: A) ARENA CON CANTOS RODADOS. B) CANTOS RODADOS Y PEÑASCOS.	6	Bahía de Salsipuedes: Punta Cabras Norte: Bahía de Salsipuedes:	Salsipuedes; Rancho Bonito Norte. Playa adyacente al macizo; Playa al Sur del arroyo Salsipuedes Nte.; Rancho Bonito.
8. BLOQUES ROCOSOS EXPUESTOS.	6	Bahía de Salsipuedes:	Playas peñascos A, B, C, y D.
9. PLANICIES DE MAREA EXPUESTAS.	7	AUSENTE DEL ÁREA DE ESTUDIO.	
10. PLAYAS PROTEGIDAS MIXTAS.	8	AUSENTE DEL ÁREA DE ESTUDIO.	
811. BLOQUES ROCOSOS PROTEGIDOS.	8	AUSENTE DEL ÁREA DE ESTUDIO.	
12. PLANICIES DE MAREA PROTEGIDAS.	9	Bahía de Todos Santos:	Parte interna del Estero de Punta Banda.
13. MARISMAS Y MANGLARES.	10	Bahía de Todos Santos:	Parte interna del Estero de Punta Banda.

Playas de arena (ISA = 3), se presentaron en Bahía Salsipuedes (playa Saldamando); Bahía de Todos Santos (playa Monalisa y playa externa de la barra del estero de Punta Banda); Punta Cabras Norte (playa situada al norte del arroyo).

Playas protegidas de arena fina (ISA =5 y 5^{v+}), estuvieron presentes en: Bahía de Todos Santos (playa Cueva de los Tigres); Punta Cabras Sur (playas sitios A, B y C). playa con un ISA = 5^{v+} se presentaron en Bahía de Todos Santos (playa Estero Beach y playa situada en la boca de la barra del estero de Punta Banda).

Playas expuestas mixtas y/o bloques rocosos expuestos (ISA = 6), estuvieron presentes en Bahía Salsipuedes (playa Salsipuedes Norte, playa Salsipuedes, playa Rancho Bonito Norte, playa Rancho Bonito y playas Peñascos A, B, C y D); Punta Cabras Norte (playas situadas al sur del arroyo y la adyacente al macizo).

Planicies de marea protegida (ISA = 9), se presentaron en la Bahía de Todos Santos (parte interna del estero de Punta Banda).

Marismas (ISA =10), se encuentran en la Bahía de Todos Santos (parte interna del estero de Punta Banda).

Los grados de vulnerabilidad estuvieron desigualmente distribuidos en los tres ambientes estudiados. El único de los tres que presentó segmentos con alta vulnerabilidad fue Bahía de Todos Santos, siendo también el único sitio que presentó los tres grados de vulnerabilidad. En los otros dos ambientes (Bahía Salsipuedes y Punta Cabras sólo hubo vulnerabilidad baja y media) (tabla XXVII).

Bahía de Salsipuedes. Comprende aproximadamente 15 km donde se incluyen dos grupos de tipos de costa: erosional (acantilados y costa rocosa); y neutral (línea de costa montañosa con acantilados escarpados, playas de arena, playas protegidas de arena fina, playas expuestas mixtas, y playas de bolsillo con arena fina).

El 82.6% de la longitud de costa posee vulnerabilidad baja (ISA entre 1 y 3); el 17.3% presenta vulnerabilidad media (ISA entre 4 y 6); ningún segmento de costa presenta vulnerabilidad alta.

Bahía de Todos Santos. Cuenta con 35.4 km que comprenden dos grupos de tipos de costa: neutral (línea de costa montañosa con acantilados escarpados, playas de arena, playas protegidas de arena fina, playas expuestas mixtas, y playas de bolsillo con arena fina); y depositacional (barra de arena con dunas, planicie de inundación de mareas, y marismas).

El 57.6% de la longitud de la costa posee vulnerabilidad alta (ISA entre 7 y 10); el 37.7% presenta vulnerabilidad baja (ISA entre 1 y 3); 4.6% presenta vulnerabilidad media (ISA entre 4 y 6).

Punta Cabras. Presenta una extensión de aproximadamente 3.5 km que incluye dos grupos de tipos de costa: erosional (acantilados y costa rocosa); y neutral (línea de costa montañosa con acantilados escarpados, playas de arena, playas protegidas de arena fina, playas expuestas mixtas, y playas de bolsillo con arena fina).

El 60% de la longitud de la costa posee vulnerabilidad media (ISA entre 4 y 6); 40% presenta vulnerabilidad baja (ISA entre 1 y 3); ningún segmento de costa presentó vulnerabilidad alta.

TABLA XXVII. Resumen de la vulnerabilidad en cada uno de los sitios de estudio, por grupos de tipos de costa.

ÁREA GRUPOS DE TIPOS DE COSTA.	BAHIA SALSIPUEDES.		VULNERABILIDAD			BAHIA DE TODOS SANTOS.		VULNERABILIDAD			PUNTA CABRAS		VULNERABILIDAD		
	m	%	BAJA ALTA	MEDIA		m	%	BAJA	MEDIA	ALTA	m	%	BAJA ALTA	MEDIA	
EROSIONAL.	10,560	70.4				0.0 0.0					735	21.8			
1. Acantilados > 30 m.	2,600	17.3	2600								325	9.6	325		
2. Acantilado < 30 m.	6,300	42.0	6300								410	12.2	410		
3. Costa Rocosa.	1,660	10.1		1660											
NEUTRAL.	4,440					15,000	42.4				2,630				
1. Montañoso c/acantilados escarpados.	3,150	21.0	3150												
2. Playas de arena.	350	2.3	350			13,400	37.9	13,400			600	17.8	600		
3. Playas protegidas de arena fina.						1,600	4.5	1600							
4. Playas expuestas mixtas.	940	6.3	940								1,400	41.6	1400		
5. Playas de bolsillo con arena fina.											630	18.7	630		
DEPOSITACIONAL.	0.0	0.0				20,400	57.6				0.0	0.0			
1. Barra de arena con dunas.						8,000	22.6	8000							
2. Planicie de inundación de mareas.						2,700	7.63	2700							
3. Marismas.						9,700	27.4	9700							
TOTAL	14960	100%	12400	2600	0.0	35400	100%	13400	1600	20400	3365	100%	1335	2000	0.0
			82.6%	17.3%	0%			37.7%	4.6%	57.6%			40%	60%	0.0%

V.6. Proyección de eventos en la zona de estudio.

Punta Rocosa y/o Acantilados Expuestos (ISA = 1; Punta San Miguel y El Mirador, en Bahía Salsipuedes; macizo de Punta Cabras).

Las predicciones teóricas (Dawson, *et al.*, 1960; Stirling, 1977; Gundlach *et al.*, 1980; D'Ozouville *et al.*, 1982; Gundlach *et al.*, 1983) indican que si ocurriera algún derrame de sustancias peligrosas, éstas podrían mantenerse alejadas del intermareal debido a la alta energía del oleaje. Si llegaran a la costa, el impacto biológico podría ser bajo, porque el corto tiempo de permanencia promovería una rápida recuperación, aunque hubiera mortalidad de la fauna (que puede ser muy alta dependiendo de la agresividad del material arribado). También son esperables aumentos en la cobertura de algas, por la mortalidad esperada de herbívoros. Las aves que anidan en las puntas rocosas expuestas y pasan mucho tiempo en aguas cercanas a la costa y en las playas alimentándose (gaviotas y golondrinas), serían afectadas en forma directa (adsorción por el plumaje) o indirectamente a través del alimento, pudiendo morir en caso de que éste estuviera contaminado, padecer inanición, o bien abandonar este sitio en caso de que el contaminante ocasine una disminución del alimento. Lo mismo ocurriría con los mamíferos marinos (lobos de mar, etc). En los casos específicos de la zona de estudio, serían afectadas las aves (gaviotas, golondrinas, cormoranes) y mamíferos (lobos de mar) observados en ambas puntas de la Bahía de Salsipuedes. Las aves podrían ser especialmente afectadas a través del alimento, por la presencia de abundantes cardúmenes de pelágicos menores en aguas muy próximas a la costa, de los cuales se alimentan activamente estos organismos. Todo lo anterior sería aplicable al caso de Punta Cabras, aunque no se cuenta con observaciones faunísticas locales. En este tipo de costa la limpieza mecánica o manual no sería necesaria, por el bajo tiempo de permanencia del material arribado. Sin embargo, si fuera necesario por razones estéticas con efecto negativo sobre el turismo, se puede rociar líquido a alta presión en lugares no

escarpados o con pendiente suave a moderada, siempre y cuando el contaminante permaneciera en estado líquido.

Plataforma Erosionada por las olas (ISA = 2; las Minas en Punta Cabras). Las predicciones teóricas (Stirling, 1977; Gundlach y Hayes, 1978; Gundlach *et al.*, 1980; Pavia *et al.*, 1982) indican, como en el caso anterior, que si ocurriera un derrame de material peligroso, la energía del oleaje ayudaría a la rápida limpieza. Los efectos biológicos serían cualitativamente similares por el tipo de sustrato, pero estarían aumentados (cambio cuantitativo) por la pendiente más suave de la costa, que propiciaría una mayor permanencia del material en el intermareal medio y el supralitoral. Otro factor que puede aumentar los efectos negativos es la presencia de grietas y hendiduras en las rocas. En el caso específico de Punta Cabras, serían afectadas la epifauna (mejillones, balanos) y especialmente la rica fauna de las grietas, que son muy notables y se extienden en forma paralela a la costa, desarrollándose en ellas anémonas de gran tamaño *Anthopleura xanthogrammica*, colonias de poliquetos arrecifal *Phragmatopoma californica* y tapetes de la anémona clonal *Anthopleura elegansissima*. La limpieza manual o mecánica es muy posible por la poca inclinación del sustrato.

Playas de Arena expuestas de grano fino (ISA = 3; playa Saldamando, en Bahía de Salsipuedes; playa Monalisa y playa externa de la barra arenosa del estero de Punta Banda en Bahía de Todos Santos; playa situada al norte del arroyo de Santa Cruz en Punta Cabras). Las predicciones teóricas (Woodin *et al.*, 1972; Wormald, 1976; Gundlach y Hayes 1978) indican que si llegara a ocurrir un derrame de sustancias peligrosas, el daño biológico en el intermareal sería alto, inmediato, pero limitado el tiempo, debido al corto tiempo de persistencia del contaminante (hasta un año). En general se consideran zonas poco vulnerables. La limpieza inducida, de estos sitios podría no ser necesaria, porque es esperable una buena limpieza natural. Sin embargo, en el caso de las tres playas de nuestra zona de estudio, la necesidad de una limpieza inducida se justificaría por el uso

turístico que tienen las mismas, y/o por su importancia como sitios de alimentación de aves playeras. En ese caso, esto se vería favorecido porque la limpieza mecánica es muy fácil, ya que la alta compactación de la arena permite el uso de vehículos raspadores. Esta actividad tiene las siguientes limitantes: 1) el uso de estos vehículos es recomendable hasta que todo el contaminante haya arribado y se haya depositado en la playa; 2) No se recomienda repetir la acción de limpieza con el vehículo varias veces en un mismo lugar, ya que esto ayudaría al contaminante a penetrar; 3) se recomienda que sea mínima la cantidad de arena que se remueva de la playa, para evitar problemas de erosión de la misma.

Playas Protegidas de Arena fina (ISA = 5 y 5^{v +}; playa Cueva de los Tigres, Estero Beach, playa boca de la Barra del estero de Punta Banda y playa de la barra interna del estero de Punta Banda en Bahía de Todos Santos; playa Punta Cabra Sur).

Las predicciones teóricas indican que son ambientes vulnerables. En caso de un derrame, éste cubriría toda la cara de la playa y afectaría a la infauna, así como a las aves que de ellas se alimentan, o a las aves que allí descansan o anidan. A pesar de que el contaminante no puede penetrar profundamente, los efectos biológicos, pueden ser altos, por la riqueza de la infauna y procesos asociados. Igualmente, los impactos estéticos pueden ser altos porque este tipo de ambiente tiende a presentar un alto desarrollo turístico y comercial. En nuestra zona de estudio se vería afectada la recreación en todos los sitios, y algunos procesos biológicos relevantes que se desarrollan en algunos de ellos: como la anidación del gallito marino. Cabe mencionar que la playa boca de la barra del estero de Punta Banda es el hábitat del Chorlito nevado. Existe infauna importante como alimento para playeros migratorios, especialmente el gusano de sangre, *Euzonus mucronata* y el cochito, *Emerita analoga* en playa Punta Cabra Sur. Todos esos atributos harían necesaria una limpieza inducida, para la cual se aplican las mismas observaciones que para el punto anterior.

Playas Expuestas Mixtas (arena/cantos rodados: cantos rodados/peñascos); Bloques Rocosos Expuestos (ISA = 6. Playa Salsipuedes, Rancho Bonito Norte, playa Punta Cabra Norte situada al sur del arroyo y adyacente al macizo (arena/cantos rodados); playa Salsipuedes Norte, Rancho Bonito y Rancho Bonito Norte (cantos rodados/peñascos); playa Peñascos (bloques rocosos expuestos).

Estos ambientes costeros son muy vulnerables, ya que las substancias pueden bañar rápidamente (en el término de días) los cantos rodados y/o peñascos y, donde exista arena, permanecer por períodos prolongados formando charcas. La parte alta de la cara de la playa sería la primera zona donde se acumularía el contaminante; si este fuera muy abundante, se acumularía también en la parte inferior. En las bermas de la playa el hundimiento del contaminante sería profundo y el tiempo de persistencia del tóxico sería alto (hasta 2 años). El impacto biológico sería siempre alto en las porciones de arena; en las porciones de sustrato duro, es muy dependiente del tamaño (bajo a nulo en caso de cantos rodados y peñascos, que soportan poca epifauna; mediano a alto en los bloques que tienen abundante epifauna). En la zona de estudio, se verían afectados procesos biológicos como la alimentación de aves playeras a través del daño a la infauna; especialmente el gusano de sangre y el cochito, mencionados en el inciso anterior, y también los anfípodos saltarines, *Orchestodia californica* y *O. comiculata* (playa Punta Cabra Norte al sur del arroyo y playa adyacente al macizo). En el caso de Bahía Salsipuedes, podrían verse afectadas las comunidades de fondo duros que se desarrollan sobre los bloques, y entre las que destacan las abundantes poblaciones de la lapa gigante *Lottia gigantea*, que en el sitio presenta una estructura poblacional por tallas propia de lugares prístinos. Todos estos atributos demandarían una limpieza inducida a pesar de que los sitios no tienen un uso recreativo intenso. Como la entrada de maquinaria a estos

sitios no es posible, sólo puede aplicarse la limpieza manual, el rociado de líquido a alta presión, y esperar luego la remoción natural.

Planicies de Marea Protegidas (ISA = 9; parte interna del estero de Punta Banda).

Las predicciones teóricas indican que se trata de ambientes muy vulnerables. Si se presentara un derrame de sustancias peligrosas, el tiempo de persistencia sería de años (5 ó más), debido a la baja energía del oleaje y lo protegido de la zona. El impacto ambiental sería muy alto, por la alta productividad biológica de esos sitios (North, 1967; Blumer *et al.*, 1971; Gundlach *et al.*, 1977; Teal *et al.*, 1978; Thomas, 1978; Stephen *et al.*, 1981; Pavia *et al.*, 1982). En la zona de estudio, sería afectada la alimentación de aves playeras, dentro de los procesos biológicos; las actividades recreativas recibirían un impacto estético, también se verían afectadas la pesca artesanal, y la captura de carnada viva.

Dada la alta vulnerabilidad de estos sitios, y la alta dificultad para realizar limpieza inducida, la mejor vía de mitigación es la prevención de accidentes en sus vecindades. En caso de ocurrir un derrame, concentrar todas las fuerzas para evitar que el contaminante llegue a estas áreas, usando materiales absorbentes y/o barreras flotantes; si a pesar de estas acciones lograra el tóxico depositarse en las planicies de inundación, la limpieza manual y/o mecánica se recomienda en los lugares donde la acumulación sea alta, procurando que el tránsito por las planicies de inundación sea mínimo para no incrementar la penetración de la sustancia.

Marismas (ISA = 10; dentro del estero de Punta Banda). Las predicciones teóricas indican que si ocurriera un derrame de material peligroso, el tiempo de persistencia en el medio sería muy alto y ocasionaría grandes acumulaciones que cubrirían la marisma totalmente, dando como resultado un gran impacto biológico dada la alta productividad y diversidad biológica, y su condición de refugio y área de desove. En el área de estudio, se vería afectado en forma directa el hábitat del

rascón palmoteador, *Rallus longirostris laevipes* y en forma indirecta, las relaciones tróficas que dependen del detritus originado en las marismas.

Dada la alta vulnerabilidad de estos sitios, y la alta dificultad para realizar limpieza inducida, la mejor vía de mitigación es la prevención de accidentes en sus vecindades. En caso de ocurrir un derrame, concentrar todas las fuerzas para evitar que el contaminante llegue a estas áreas, usando materiales absorbentes y/o barreras flotantes; si a pesar de estas acciones lograra el tóxico depositarse, solamente si estuviera en baja cantidad se recomienda cortar la porción superior de los vegetales y/o rociar líquido a baja presión. De otro modo, sólo resta esperar la recuperación natural. El uso de vehículos y equipo de limpieza deben evitarse al máximo.

VI. DISCUSION.

Los principios de la Ecología del Disturbio (Souza, 1984; Rykiel, 1985; Runkle, 1985) conciben una relación dinámica entre dos partes: un agente receptor, al cual se asocia la vulnerabilidad y un agente emisor, que es el que emite el agente de disturbio. Los eventos de contaminación, por lo tanto, deben considerar ambos elementos: la llegada de un contaminante (agente efector) a un determinado sitio (agente receptor) que tiene una cierta vulnerabilidad. Las herramientas apropiadas para predecir la respuesta de sitios particulares frente al ingreso de contaminantes es muy importante para la planeación costera (Beltrami y Carrol, 1978).

En la zona de estudio, la vulnerabilidad de las aguas someras de Bahía de Todos Santos frente a descargas que excedían su capacidad de limpieza fue estudiada por Escofet y Burgeño (1993). No existen estudios previos a éste, que hayan explorado la vulnerabilidad del intermareal a la llegada de sustancias provenientes del mar.

El intercambio de material entre las aguas más costeras y el intermareal depende de patrones de circulación que controlan tanto el transporte de contaminantes hacia la línea de costa como el suplemento de larvas pelágicas al intermareal y fondos someros (Pineda, 1991). En general, la geomorfología costera corresponde, a grandes rasgos, con el tipo de exposición al oleaje, y por lo tanto da indicios de la susceptibilidad a la llegada de material proveniente del océano.

Sin embargo, el aumento del tráfico de embarcaciones en las aguas costeras, el uso creciente del litoral para actividades humanas de gran importancia económica, y la mayor conciencia de la importancia biológica de los ambientes someros intermareales, fueron haciendo necesarios métodos más finos para evaluar la vulnerabilidad de estos ambientes.

El ISA, empleado en este estudio, muestra en su evolución conceptual la incorporación de los esfuerzos que se realizaron, desde 1971, para expresar en modo práctico las relaciones entre la línea de costa, la posibilidad de arribo de sustancias, y la sensibilidad biológica a la persistencia de la misma Foget, *et al.*, (1979); Gundlach, *et al.*, (190); Gundlach y Hayes (1978); Hayes, *et al.*, (1976); Michel, *et al.*, (1978); Nummendam (1980); Owen (1971); Robillard, *et al.*, (1980); Ruby (1977); Ruby y Hayes (1978); Worbets (1979).

Una de las observaciones de este trabajo es que los impactos estéticos y/o a la salud no están convenientemente reflejados en la estructura del ISA, y deben expresarse en forma independiente del impacto biológico. Aparentemente esta fue la intención de Robillard, *et al.*, 1980, aunque la presentación de su índice no es tan sencillo como el de Gundlach y Hayes (1978).

Del estudio de todos los antecedentes, se desprende que estos índices fueron desarrollados específicamente para representar el efecto de hidrocarburos sobre los recursos físicos, biológicos y humanos de la zona costera. Por esta razón, el análisis del comportamiento de las macroalgas en Punta Cabras no fue satisfactorio debido a la estructura interna del ISA, que pesa el grado de penetración del sustrato, y este atributo es relevante sólo si el material se encuentra en estado líquido. La modificación empleada en este estudio, considerando únicamente la energía del oleaje, el tiempo de permanencia y la capacidad natural de limpieza, mejoró sustancialmente el análisis del mismo caso. Se considera que la importancia cada vez mayor que tiene el arribo a las playas de sustancias sólidas antropogénicas (basura, material sanitario, etc) (Corbin y Singh, 1993; Garrity y Levings, 1993; Morris, 1980; Pearce, 1992; Rivic, *et al.*, 1992). ameritaría profundizar esta modificación en el futuro, para incluir la peligrosidad de estos materiales.

La comparación que se hizo en este estudio de los valores del ISA asignados cartográficamente y medidos directamente en campo, no tiene

antecedentes. Sin embargo, los resultados indican que este tipo de ejercicio es muy justificable, considerando que las playas de arena fueron uno de los ambientes que presentaron mayores variaciones, y donde la asignación cartográfica del ISA podría subestimar el grado de vulnerabilidad de las mismas. Esto se refuerza considerando que el litoral mexicano presenta dominancia de ambientes arenosos, y que éstos tienen mucho uso para la recreación. Dada la importancia de estos ambientes, se justifica también el emplear la metodología de Mc.Lachlan (1980), que aunque exige trabajo de campo algo pesado, arroja resultados muy reales sobre la vulnerabilidad de las playas de arena, con datos numéricos integrables a los del ISA.

La aplicación detallada del ISA a segmentos particulares de la costa se han realizado, en su mayoría, luego de haber sucedido un accidente ambiental (Gundlach, *et al.*, 1978; Gundlach y Hayes, 1978; Owen, 1971; Stirling, 1977). Es decir, los valores de ISA calculados en esos casos permitieron explicar el comportamiento del material liberado por el accidente. En cambio, los pocos antecedentes de aplicación del ISA con fines preventivos y/o de planeación permiten formular planes de contingencia y respuestas de directores y operadores ambientales encargados de implementar estrategias de protección y limpieza en los derrames de sustancias peligrosas para mitigar los efectos negativos (D'Ozouville, *et al.*, 1982; Mohammad, *et al.*, 1985).

En los tres casos estudiados, se encontró la necesidad de evaluarlos en base a la importancia biológica de los sitios y su uso recreativo actual o potencial, de manera que aún donde podría esperarse una limpieza natural rápida (baja vulnerabilidad), dichos atributos impulsarían una limpieza inducida. Esto refuerza la idea de que frente al intenso uso de la zona costera, los daños estéticos y/o a la salud obligarían a una limpieza inducida aún más rápida que la esperada naturalmente.

El arribo a la costa, por vía oceánica, de materiales originados aguas adentro, presenta muchas dificultades desde el punto de vista del manejo, ya que la línea de costa es un receptor de materiales cuyo origen no sólo es remoto en el espacio, sino que está fuera del control. Es decir, una actividad humana con asiento en la costa no tiene manera de disminuir, por ejemplo, el volumen de petróleo derramado por un barco. En ese sentido, el manejo queda prácticamente limitado a acciones posteriores a cualquier evento.

Desde el punto de vista de la ecología del disturbio, como herramienta aplicable al manejo, pueden identificarse en un proceso, las partes que pueden ser controladas por acciones específicas e inmediatas, y las que están fuera de control. Por ejemplo, los huracanes y tormentas que abaten las costas (agente emisor) no pueden ser controlados por el hombre, mientras que sí está en sus manos disminuir la vulnerabilidad del agente receptor (por ejemplo, evitando la construcción de edificios altos en las orillas de las costas). En otro ejemplo, puede verse que una baja capacidad de limpieza de los cuerpos costeros está dada por la conformación de la cuenca (agente receptor) y por lo tanto no puede controlarse, mientras que sí es posible controlar el agente emisor (intensidad de las descargas) (Escofet y Burgeño, 1993).

En el caso que nos ocupa, la situación es muy delicada, porque la vulnerabilidad es intrínseca a la conformación de la costa (agente receptor) y poco o nada puede hacerse, mas que evitar la localización de actividades en sitios muy vulnerables (o, si se los establece, planear para contingencias de origen antropogénico). Esto, sin embargo, sólo es aplicable a las actividades humanas, que tendrían un cierto margen para manejar la vulnerabilidad. En casos de ambientes biológicamente muy sensibles, como son las marismas y las planicies lodosas, sólo puede aplicarse el bloqueo físico que impida la llegada de sustancias (referencia). Obviamente, el mejor modo de evitar perjuicios en ambientes tan sensibles sería la prevención de accidentes ambientales en aguas

costeras. Como esto tiene que ver con regulaciones de tránsito marítimo, queda en el ámbito de arreglos intersectoriales para el Manejo de la Zona Costera (Sorensen, *et al.*, 1992). Este tipo de arreglo debe incorporar un conocimiento bastante profundo de la oceanografía costera, a fin de diseñar rutas marítimas adecuadas a la existencia de hábitats sensitivos.

VII. CONCLUSIONES.

Relacionadas con el Objetivo 1:

① El ISA debería actualizarse con la introducción de un atributo adicional para valorar el impacto estético y/o a la salud en forma independiente del impacto biológico.

② El ISA tiene muy buena capacidad predictiva sólo para los casos en que el material arribado esté en estado líquido.

③ Se propone una modificación del ISA para evaluar el comportamiento de material sólido de origen natural, indicándose la necesidad de ajustes adicionales si el material sólido fuera antropogénico y potencialmente peligroso.

④ Existen diferencias entre los valores del ISA asignados con base a la cartografía (ISAc) y los asignados por mediciones directas de campo (ISAm), en costas cartográficamente indicadas, como acantilados expuestos, playas de arena y playas protegidas mixtas.

⑤ El método de Mc.Lachlan (1980) es el más adecuado para desglosar la vulnerabilidad de las playas de arena, y es integrable al cálculo del ISA.

⑥ Para la aplicación del ISA, se recomienda una caracterización cartográfica inicial; luego, la exploración a nivel 1:1 de los sitios que presenten acantilados expuestos, playas de arena y playas protegidas mixtas, aplicando el método de Mc.Lachlan (1980) para asignar la vulnerabilidad en playas de arena.

Relacionados con el Objetivo 2:

① La zona de estudio reunió nueve de los trece tipos de costa propuestos por Gundlach y Hayes (1978).

② La vulnerabilidad estuvo desigualmente distribuída en los tres sitios:

- Bahía de Todos Santos: 57.5% de su costa con vulnerabilidad alta; 37.7%, con vulnerabilidad baja; 4.6% vulnerabilidad media.

- Bahía de Salsipuedes: 82.6% de la longitud de su costa con vulnerabilidad baja; 17.3% con vulnerabilidad media.

- Punta Cabras: 60% de la costa con vulnerabilidad media; 40% con vulnerabilidad baja.

Relacionados con el Objetivo 3:

① El origen de los materiales que llegan a la costa por vía oceánica está fuera del control de las actividades asentadas en la línea de playa.

② El manejo de estas condiciones queda prácticamente limitado a acciones posteriores a cualquier evento.

③ En la zona de estudio, el uso recreativo y/o la importancia biológica de los sitios, sugiere que la limpieza inducida debería contemplarse aún en los casos con baja vulnerabilidad.

④ En sitios con vulnerabilidad alta, debe bloquearse físicamente la llegada de sustancias.

⑤ Las actividades actuales y futuras deben tomar en cuenta la poca viabilidad de evitar accidentes ambientales en las aguas costeras. En cambio, resulta más factible planear la localización y operación de actividades con base en los riesgos antropogénicos provenientes del mar.

LITERATURA CITADA.

- Aguilar, R. L. E., R. A. Rosas, I. P. Ruíz, E. B. Garcés, M. A. A. Rosas y E. U. González. 1982. Algas de Importancia Económica de la Región Noroccidental de Baja California México. *Ciencias Marinas (Méx)*. 8:1 49-63.
- Aguilar-Ramos, M. A. 1982. Estudio sobre las Algas Marinas Bentónicas de Baja California, México. Tesis de Licenciatura en Oceanología, UABC 138 pp.
- Argote-Espinoza, M. L., F. J. Gavidia-Medina y A. Amador-Buenrostro. 1991. Wind-induced circulation in Todos Santos Bay, B. C. México. *Atmósfera* 4: 101-115.
- Bale, J. B. y J. A. Minch. 1971. Coastal and Shore Landforms of Baja California del Norte, Mexico. Technical Report No 0-71-2 Departments of Geology and Geography, University of California. 82 pp.
- Banderas-Tarabay, A. G. 1994. Impacto Ambiental de los Desarrollos Hidroagrícolas Sobre las Lagunas Costeras del Noroeste de México. 471-495 pp. en: G. de la Lanza-Espino y C. Cáceres-Martínez (eds.). *Las Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano UNAM-UABCS*, 565 pp.
- Beltrami, E. y T. O. Carroll. 1978. A Land - Use Planning Model for Coastal Zone Management. *Coastal Zone Management Journal* 4 (1-2): 83-96.
- Bennett-Domínguez, J. 1990. Vocación de Uso Turístico de la Planicie Costera del Estero Punta Banda, Baja California. Facultad de Ciencias, Ensenada, México, Especialidad en Admón. de Recursos Marinos. 40 pp.
- Blumer, M., Sanders, H. L., Grassle, J. F. y Hampson, G. R. 1971. A Small Oil Spill. *Environment*. 13: 2-13.

- Brandani, A. y E. J. Schnack. 1986. Conference Report First Latin American Course/Seminar on Planning and Management of the Coastal Zone and the Exclusive Economic zone. *Journal Shoreline Management*. 2: 73-81.
- Carter, R. W G. 1991. *Coastal Environments, An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. Academic Press. London. 617 pp.
- Cendrero, A. 1989. Land Use Problems, Planning and Management in the Coastal Zone: An Introduction. *Ocean & Shoreline Management*. 12: 367-381.
- Charlier, R. H. 1989. Coastal Zone: Occupance, Management and Economic Copetitiveness. *Ocean & Shoreline Management*. 12: 383-402.
- Clarck, R. B. 1989. *Marine Pollution*. Clarendon Press. Oxford. 220 pp.
- Connel, J. H. 1975. Some Mechanisms Producing Structure in Natural Communities: A Model and Evidence from Field Experiments. 460-490. En: M. L. Cody y J. M. Diamond (eds.). *Ecology and Evolution of Communities*. Harvaed University Press.
- Contreras, F., M. Herzig y A. Vázquez-Botello. 1988. *Atlas del Golfo y Caribe de México, dlagnóstico ambiental*. Centro de Ecodesarrollo, CECODES, México DF, 58 pp.
- Corbin, C. J. y J. G. Singh. 1993. Marine Debris Contamination of Beaches in St. Lucia and Dominica. *Marine Pollution Bulletin*. 26 (6): 325-328.
- D'Ozouville, L., E. R. Gundlach, J. Michel y M. O. Hayes. 1982. Long-Term Consequences of Oil Spillage and Coastal Sensitivity. *Oceans 82 Conference Record: Ind., Govern. Educ. Par. in Prog.* Washington D. C. Sep. 20-22. 969-972 pp.
- Davis, W. P., G. I. Scott, C. D. Getter, M. O. Hayes y E. R. Gundlach. 1980. *Methodology for Environmental Assessments of Oil and Hazardous Substance Spill*. *Helgolander Meeresunters*. 33: 246-256.

- Dawson, Y. E., Michael, N. y Robert D. W. 1960. New Records of Sublittoral Marine Plants from Pacific Baja California. *Pacific Naturalist*. 1(19): 3-30.
- Delgadillo, R. J. 1992. *Florística y Ecología del Norte de Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California. 345 pp.
- Delgado-Argote, L. A., A. Martín-Barajas, R. Mendoza-Borunda y V. M. Frías-Camacho. 1990. Estudio de Riesgo Geológico. En: L. E. Calderón (Coord.). *Proyectos "Estudio de Protección al Ambiente y a la Central Termoeléctrica Ensenada"*. Especificación CFE-DPA-EN-01. Informe Final. 208 pp.
- Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. 1974. *Estudio Geográfico de la Región de Ensenada*, B. C. 465 pp.
- Donath-Hernández, F. E. y D. H. Loya Salinas. 1989. Contribution to the Study of Organic Marine Pollution in Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*. 15 (1): 73-88.
- Escobar-Fernández, R. 1987. *Aspectos Zoogeográficos de la Ictiofauna de los Mares adyacentes a la Península de Baja California, México*. Tesis de Licenciatura, UABC 217 pp.
- Escofet, A. 1989. *Ecología Aplicada en Baja California*. Cap. 10: 25-318. En: Rosas-Velez, J. de la y F. Farías-Gómez (eds.). *Temas de Oceanografía Biológica en México*. UABC (Mexicali, B. C., México) 337 pp.
- Escofet, A. 1994. Evaluación del Habitat y de Fuentes de Disturbio. 497-525 pp. en G. de la Lanza-Espino y C. Cáceres-Martínez (eds.) *Las Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. UNAM-UABCS, 565 pp.

- Escofet, A. y J. C. Burgeño. 1993. Natural Cleaning Proficiency as a Coastal Macrodescriptor. p 82-93. en: Coastal Management in México: The Baja California Experience. (J. L. Fermán, L. Gómez-Morín y D. W. Fisher, eds). J. L. Fermán, L. Gómez-Morín y D. W. Fisher eds). Coastlines of the World Series. Am. Soc. Civil Engineers. New York. 164 pp.
- Escofet, A., D. H. Loya-Salinas, y J. I. Arredondo. 1988. El Estero de Punta Banda (Baja California, México) como Hábitat de la Avifauna. Ciencias Marinas, 14(4): 73-100.
- Foster, S. M., A. P. De Vogelaere, Ch. Harrold, J. S. Pearse y A. B. Thum. 1986. Causes of Spatial and Temporal Patterns in Rocky Intertidal Communities of Central and Northern California. U.S. Department of the Interior Minerals Management Service Pacific OCS Region (OCS/MMS). Septiembre 1986. Los Angeles, California. 50 pp.
- Garrity, S. D, y S. C. Levings. 1993. Marine Debris Along the Caribbean Coast of Panama. Marine Pollution Bulletin. 26: 6 317-324.
- Gilman, H. F. 1972. Regionalization of Land Use Along the West Coastal of the Estado de Baja California, Mexico. Technical Report 0-72-4 Department of Geography. 16 pp.
- González-Yajimovich, O. E. 1993. Efectos Ecológicos y Geomórficos de la Destrucción del Sistema de Dunas Costeras en la barra del Estero de Punta Banda, Baja California, México. Tesis de Maestría, Dep. Ecología CICESE, 50 p
- Gundlach, E. R. y M. O. Hayes. 1978. Vulnerability of Coastal Environments to Oil Spill Impacts. Journal Marine Technology Society. 12 (4):18-27.
- Gundlach, E. R.; C. H. Ruby; M. O. Hayes y A. E. Blount. 1978. The Urquiola Oil Spill, La Coruña, Spain: Impact and Reaction on Beaches and Rocky Coastal. Environmental Geology. 2 (3):131-143.

- Gundlach, E. R.; C. H. Ruby; M. O. Hayes y C. D. Getter. 1980. Sensitivity Ranking of Energy Port Shorelines. Proc., Speciality Conference on Ports' 80. May 19-20. Norfolk, Va., ASCE, 697-708.
- Hampson, G.R. y E. T. Moul. 1978. No. 2 Fuel Oil Spill in Bourne, Massachusetts: Immediate Assesment of the effects on Marine Invertebrates and 3-Years Study of Growth and Recovery of a Salt Marsh. J. Fish. Res. Board Can. 35: 731-744.
- Hart, M. W. 1993. The Toll-Booth Slide, Northwestern Ensenada Baja California, Mexico. En: Geological Investigations in Baja California. (P. L. Abbott, E. M. Sangines y M. A. Rendina eds.). 43-48 pp. South Coastal Geological Society, Inc.
- Keiz, P. D., T. P. Ahern, J. Dale, y J. H. Vandermeulen. 1978. Residues of Bunker C oil in Chedabucto Bay, Nova Scotia, 6 Years After the Arrow Spill. J. Fish. Res. Board Can. 35: 528-535.
- Kopenski, R. P. y Long. 1981. An Environmental Assessment of Northern Puget Sound and the Strait of Juan de Fuca, Summary. U.S. Department of Commerce (NOAA/OMPA). Special Report, october 1981. Seattle, WA. 32 pp.
- Laws, E. A. 1993. Aquatic Pollution. An Introductory Text. John Wiley & Sons, Inn. New York. 611 pp.
- Ledezma-Vázquez, J. y D. M. Huerta-Santana. 1993. Slides and Slumps on the Coastal Zone Between San Miguel and El Descanso, Baja California, México p.30-32 En: Coastal Managment in Mexico: The Baja California Experience. American Shore & Beach Preservation Assoc.
- López-Araiza, A. J. E. 1992. Diagnóstico de las Pesquerías Ribereñas Comprendidas en el Corredor Turístico Tijuana Ensenada. Facultad de Ciencias. Ensenada, México. Especialidad en Admón. de Recursos Marinos.

- López-Uriarte, E. 1994. Infauna de dos Playas Arenosas Adyacentes en la Zona de Punta Cabras (México) y su Relación con el Corredor Migratorio del Pacífico. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada, México. Tesis de Maestría, Dep. Ecología CICESE, 111 pp.
- Markham, Ch. G. 1972. Baja California's Climate. *Weatherwise*. No. 2: 64-76.
- Mc.Lachlan, A. 1983. Sandy Beach Ecology - A Review. pp. 5-40. En: *Sandy Beaches as Ecosystems* (Mc.Lachlan, A. y T. Erasmus eds.). *Developments in Hydrobiology*, 19. Dr. W. Junk Publishers, Hague. 757 pp.
- Michel, J.; M. O. Hayes y P. J. Brown. 1978. Application of an Oil Spill Vulnerability Index to the Shoreline of Lower Cook Inlet, Alaska. *Environmental Geology*. 2 (2):107-117.
- Minch, J. A. 1972. Landsliding and the Effects of Resort Development Between Tijuana y Ensenada, Baja California, México. Technical Report No 0-72-1 Department of Geography, University of California. 14 pp.
- Mohammad, A. Al-Sarawi, E. R. Gundlach y B. J. Baca. 1985. Coastal Geomorfology and Resources in Terms of Sensitivity to Oil Spill in Kuwait. *J. Univ. Kuwait Sci.* 15(1):141-183.
- Moore, L.O., A. Ramírez Z. y A. Medina, V. 1978. Hidrotratamiento de Fracciones Tipo Diesel. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*. 10(1): 31-36.
- Moore, S. F., R. L. Dwyer y A. M. Katz. 1973. A Preliminary Assessment of the Environmental Vulnerability of Machias Bay, Maine to Oil Supertankers. Massachusetts Institute of Technology. Sea Grant Program. Report No. MITSG 73-6. 162 pp.
- Morris, R. J. 1980. Plastic Debris in the Surface Waters of the South Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*. 11: 164-166.

- North, J. W. 1967. Tampico, A Study of Destruction and Restoration. *Sea Front* 13: 212-217.
- North, J. W., M. Neushul y K .A. Clendenning. 1964. Successive Biological Changes Observed in a Marine Cove Exposed to a large Spillage of Mineral Oil. En: *Proc. Symp. Pollut. mar. Microorg. Prod. Petrol.*, Monaco Avril 1964. 335-354.
- Pacheco-Ruíz, I. 1980. Algas Pardas (Feofitas) de la Costa del Pacífico entre Bahía de Todos Santos y la Frontera de Estados Unidos de América (E.U.A.). Tesis de Licenciatura, UABC 51 pp.
- Palacios, E., A. Escofet y D. H. Loya--Salinas. 1991. El Estero de Punta Banda como Eslabón del Corredor del Pacífico: Abundancia de Aves Playeras. *Ciencias Marinas* 17(3): 109-131.
- Palacios-Castro, E. 1992. Anidación del Gallito Marino Californiano en Baja California: Relación con Gradientes Ambientales y de Disturbio, e Implicancias para el Manejo. Tesis de Maestría, Dep. Ecología CICESE, 90 p
- Pavia, R., E. R. Gundlach, L. C. Thebeaus y J. L. Sadd. 1982. Sensitivity of Coastal Environments to Spilled Oil: Southern California. 41 pp.
- Pearce, J. B. 1992. Marine Vessel Debris: A North American Perspective. *Marine Pollution Bulletin*. 24 (12): 586-592.
- Peraaza-Castillo, M. N. M. 1990. Determinación e Identificación de la Contaminación por Hidrocarburos Derivados del Petróleo en la Zona Noroccidental de la Península de Baja California Utilizando el Mejillón *Mytilus californianus* como Organismo Bioindicador. Tesis de Maestría, Dep. Ecología CICESE.
- Pérez-Higuera, R. y A. Chee-Barragán. 1984. Transporte de Sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B. C. *Ciencias Marinas* 10 (3):31-52.

- Pineda, J. 1991. Predictable Upwelling and Shoreward Transport of Planktonic Larvae by Internal Tidal Bores. *Science* 253: 548-551.
- Programa Regional de Desarrollo Urbano del Corredor Tijuana Ensenada B. C. 1992. Contrato No. 91BDLA 016 Y 01. Consultor: *Espacio Urbano y Arquitectura*, S. C.
- Qanir, A. 1989. Planning of Marina Developments Along the Moroccan Coastline. *Ocean & Shoreline Management*. 12: 561-570.
- Ramos-Mancilla, M. T. 1985. Relaciones Interespecíficas del erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) (Agassiz, 1863) en la Comunidad de un Manto de Algas Pardas (*Macrocystis pyrifera*) en la Zona de Xatay, Baja California, México. Memoria de Licenciatura en Biología, UABC 26 pp.
- Rivas, V. y A. Cendrero. 1990. Use of Natural and Artificial Accretion on the North Coast of Spain: Historical Trends and Assessment of Some Environmental and Economic Consequences. *Journal of Coastal Research*. 6 (4): 1-17.
- Rivic, C. A., T. R. Dixon y I. Vining. 1992. Marine Debris Survey Manual. NOAA Technical Report NMFS 108. U.S. Department of Commerce. 99 pp.
- Robillard, G. A., E. H. Owens, J. R. Harper y T. P. Winfield. 1983. Biological Sensitivity, Oil Residence and Human Use Indices for Coastal Environments Threatened by Oil Spills. *Coastal Zone' 83 Proceedings of Third Symposium on Coastal and Ocean Management*. 2: 1374-1390.
- Ruíz, A. A.; D. H. Salinas y J. C. Longoria. 1987. Análisis Anual Histológico y Productividad Orgánica Gonadal en el Ciclo Reproductivo del Erizo Rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz, 1863) (Echinodermata: Echinoidea) en Punta San Miguel. (Ensenada B. C.). Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC.

- Runkle, J. R. 1985. Disturbance Regime in Temperate Forest. p 17-33. En: S.T.A. Pickett y P.S. White (eds). *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, Londres.
- Rykiel, E. J. 1985. Toward a Definition of Ecological Disturbance. *Australian Journal of Ecology* 10: 361-365.
- Rzedowski, J. 1981. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 pp.
- Salas-Flores, O., K. A. Nishikawa-Kinomura, H. R. Cabrera-Muro y S. Alvarez-Borrogo. 1974. Contenido de Níquel y Vanadio en Aceites Pesados que Contaminan la Costa, desde la Frontera de Estados Unidos hasta Ensenada Baja California. *Ciencias Marinas* 1 (1): 1-15.
- Sanders, H. I. 1978. Florida Oil Spill Impact on the Buzzard Bay Benthic Fauna: West Falmouth. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 717-730.
- Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología. 1992. Programa de Ordenamiento Ecológico para el Desarrollo Urbano y Turístico de la Microregión La Bufadora Estero de Punta Banda, B. C. Proyecto de Ordenamiento Ecológico de Regiones Geográficas con Actividades Productivas Prioritarias. 60 pp.
- Snead, R. E. 1982. *Coastal Landforms and Surface Features. A Photographic Atlas and Glossary*. Hutchinson Ross Publishing Company. 247 pp.
- Sorensen, J. C., S. T. McCreary y A. Brandani. 1992. *Arreglos Institucionales para Manejo Ambiental y Recursos Costeros*. Centro de Recursos Costeros, Univ. Rhode Island, 185 pp.
- Souza, W. P. 1984. The Role of Disturbance in Natural Communities. *Annual Reviews in Ecology and Systematic*. 15: 353-391.
- Stephen A. M., Patrick, L. P. y Alfonso, V. B. 1981. *Environ. Pollut. Ser. B.* 2: 119-128.

- Stewart, J. E. y L. J. Marks. 1978. Distribution and Abundance of Hydrocarbon-Utilizing Bacteria in Sediments of Chedabucto Bay, Nova Scotia, in 1976. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 581-584.
- Stirling, H. P. 1977. Effects of a Spill of Marine Diesel Oil on the Rocky Shore Fauna of Lamma Island, Hong Kong. *Environ. Pollut.* 12: 93-117.
- Teal, J. M. , K. Burns y J. Fanington. 1978. Analyses of Aromatic Hydrocarbons in Intertidal Sediments Resulting from Two Spill of No. 2 Fuel Oil in Buzzards Bay, Massachusetts. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 510-520.
- Teal, J. M. y Teal, M. 1969. *Life and Death of a Salt Marsh*. Little, Brown and Company, Boston.
- Thomas, M. L. H. 1978. Comparison of Oiled and Unoiled Intertidal Communities in Chedabucto Bay, Nova Scotia. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 707-716.
- Vallejo-Salazar, S.I. 1991. *Contaminación Marina*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Fondo de Publicaciones y Ediciones. Gobierno del Estado de Quintana Roo. 193 pp.
- Vázquez-Botello, A., G. Ponce-Velez, S. Villanueva-Fragoso y L. Rueda-Quintana. 1994. *Contaminación. Lagunas Costeras y El Litoral Mexicano* (Lanza-Espino y Cáceres-Martínez eds.). Universidad Autónoma de Baja California Sur. 445-470 pp.
- Villegas-Jiménez, A. 1994. *Determinación de algunos Hidrocarburos Alifáticos y Poli aromáticos en Sedimentos Recientes de la Bahía de Todos Santos*. Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias Marinas, UABC 81 pp.
- Woodin, S. A., Nyblade, C. F. y Chia, F. S. 1972. Effect of Diesel Oil Spill on Invertebrates. *Mar. Pollut. Bull.* 3: 139-142.
- Wormald, A. P. 1976. Effects of a Spill of Diesel Oil on the Meiofauna of a Study Beach at Picnic Bay, Hong Kong. *Environ. Pollut.* 11: 117-130.