

125

NOTAS DE REUNIONES DE TRABAJO

DERRAMES DE HIDROCARBUROS Y LIMPIEZA DEL LITORAL
EN LAS ISLAS DE LA REGION DEL GRAN CARIBE

Reunión de Trabajo organizada por la
Organización Marítima Internacional con el apoyo del
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
y la Organización de Estados Americanos

31 de enero - 4 de febrero de 1983
Dover Convention Center
Bridgetown, Barbados



NOTAS DE REUNIONES DE TRABAJO

DERRAMES DE HIDROCARBUROS Y LIMPIEZA DEL LITORAL
EN LAS ISLAS DE LA REGION DEL GRAN CARIBE

Reunión de Trabajo organizada por la
Organización Marítima Internacional con el apoyo del
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
y la Organización de Estados Americanos



31 de enero - 4 de febrero de 1983
Dover Convention Center
Bridgetown, Barbados



Ocn
Pol
(729) 15

EXPRESION DE AGRADECIMIENTO

Esta reunión de trabajo fué organizada conjuntamente por la Organización Marítima Internacional y la Organización de Estados Americanos con la ayuda financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la OEA y la Agency for International Development de los Estados Unidos (USAID) y el apoyo del Gobierno de Barbados.

La Dra. Sarah H. Milner, Directora de la Oficina de la Secretaría General de la OEA en Barbados prestó una ayuda considerable tomando las disposiciones locales para la Reunión de Trabajo. El Sr. Wilton Conliffe, Ministro de Sanidad de Barbados y los funcionarios del PNUD en Barbados y los Estados insulares del Caribe invitaron a la Reunión de Trabajo.

La Reunión de Trabajo formaba parte del Programa para el Medio Ambiente del Caribe coordinado por el Centro de Actividades del Programa de Mares Regionales del PNUMA y fué organizado en aplicación de una decisión tomada por la Reunión conjunta del Comité de Vigilancia del Plan de Acción del Programa para el Medio Ambiente del Caribe, la cual consideró que una de las prioridades de ejecución era el desarrollo de actividades de formación que contribuyeran a la aplicación de planes de emergencia contra los derrames de hidrocarburos en el Caribe.

INDICE

1.0	INTRODUCCION	
1.1	Objetivos de la Reunión de Trabajo	1.1
1.2	Notas de la Reunión de Trabajo	1.2
2.0	PROCESOS COSTEROS, GEOLOGIA COSTERA Y TIPOS DE LINEA LITORAL	
2.1	Procesos costeros.....	2.1
2.2	Transporte de sedimentos y estabilidad de la playa	2.2
2.3	Tipos de línea litoral.....	2.4
2.4	Arrecifes costeros.....	2.20
2.5	Manglares.....	2.22
2.6	Geología regional.....	2.25
2.7	Climatología y oceanografía regionales.....	2.26
2.8	Variabilidad regional de los medios costeros.....	2.34
2.8.1	Barbados.....	2.34
2.8.2	Gran Caimán.....	2.38
2.9	Arrecifes y medios asociados.....	2.43
3.0	LOS HIDROCARBUROS Y EL MEDIO AMBIENTE	
3.1	Fuentes de la contaminación del mar por hidrocarburos.....	3.1
3.2	Naturaleza de los hidrocarburos.....	3.2
3.3	Movimiento de los hidrocarburos en el mar.....	3.4
3.4	Persistencia de los hidrocarburos	3.6
3.5	"Sensibilidad" de la zona costera	3.10
4.0	MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE LA COSTA CONTRA LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS	
4.1	Prioridades de protección del prelitoral y el litoral.....	4.1
4.2	Métodos de protección del prelitoral	4.1
4.3	Métodos de protección del litoral	4.13
4.4	Prioridades de limpieza del litoral.....	4.16

4.5	Métodos de limpieza del litoral	4.16
4.6	Conglomerados de alquitrán y máquinas de limpieza de playas.....	4.55
4.7	Métodos de evacuación.....	4.57
4.8	Daños que puede causar la limpieza.....	4.61
4.9	Accesibilidad y logística.....	4.62
4.10	Restricciones operacionales	4.63
4.11	Estrategias de la lucha contra los derrames.....	4.65
5.0	EXCURSIONES Y CUESTIONARIOS	5.1
6.0	REFERENCIAS Y GLOSARIO	
6.1	Referencias citadas en las notas	6.1
6.2	Referencias seleccionadas: efectos de los derrames en los corales y manglares.....	6.5
6.3	Glosario.....	6.7

CONFERENCIANTES

Dr. Edward Owens

Vice-President, Woodward-Clyde Consultants

*16 Bastion Square, Victoria, British Columbia, Canada

Carl Foget

Senior Project Engineer, Woodward-Clyde Consultants

100 Pringle Avenue, Walnut Creek, San Francisco, California, 94596

Dr. Stephen Murray

Professor, Coastal Studies Institute

Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, 70803

Dr. Harry Roberts

Professor, Coastal Studies Institute

Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, 70803

* después del 1 de marzo de 1983

Woodward-Clyde Consultants International

5/9 Merchants Place, Reading, Berkshire, RG1 1DT, U.K.

INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

1.1 Objetivos de la Reunión de Trabajo

Una acción eficaz contra los derrames de hidrocarburos exige una preparación y una formación adecuadas para aplicar procedimientos convenientes con la rapidez necesaria. Uno de los aspectos de las actividades de lucha contra los derrames es la protección y la limpieza de la costa. El objetivo primordial de esta reunión de trabajo era adquirir un conocimiento del carácter de la línea costera y de los factores que controlan la estabilidad de dicha línea, de manera que los métodos elegidos para la protección o la limpieza sean adecuados y no causen más daños que los que causarían los hidrocarburos depositados.

Las costas de las islas del Caribe son un importante recurso recreativo y , por lo tanto, económico en muchas zonas. Las playas son frecuentemente frágiles, en el sentido de que la sustitución de los sedimentos por transporte a lo largo de la costa o hacia ella es lento, de manera que la limpieza de las playas por retirada de los sedimentos puede disminuir el tamaño de la playa y aumentar incluso la erosión de la costa.

La reunión de trabajo tenía por objeto presentar un conocimiento práctico de los factores que determinan los procesos costeros de modo que las decisiones de lucha que se tomen sean apropiadas para lugares específicos. Por ejemplo, no es posible tratar a todas las playas de arena exactamente de la misma manera, ya que la abundancia de sedimentos, la erosión o el enterramiento de los hidrocarburos y el acceso a la costa desde tierra varían de un sitio a otro. El conocimiento de la zona costera permite adaptarse de un modo flexible a diferentes situaciones y medios.

Este tipo de reunión de trabajo es sólo uno de la serie de elementos preparatorios o formativos necesarios para adquirir una capacidad de respuesta completa. Por ejemplo, el despliegue de barreras

requiera un enfoque práctico y los estudios de evaluación de los efectos de los derrames incluyen observaciones sobre el terreno y la preparación de mapas. Todos los diversos componentes son una parte necesaria de un programa adecuado de lucha contra los derrames.

Los elementos primordiales de la reunión de trabajo fueron conferencias sobre:

- procesos costeros y geología costera
- tipos de línea costera
- hidrocarburos y destino de los hidrocarburos derramados
- protección de la ástia
- limpieza de la costa
- daños que puede causar la limpieza
- estrategia de la respuesta

Un aspecto de la reunión de trabajo fueron las excursiones sobre el terreno destinadas a examinar y discutir las características de la zona costera en lugares representativos. Tales excursiones ofrecieron un complemento realista al material didáctico mediante la discusión de problemas relativos a la costa y a los derrames.

1.2 Notas de la reunión de trabajo

Las notas de la reunión de trabajo aquí reproducidas sólo pretenden ser una sinopsis de las conferencias y puede obtenerse más información consultando las referencias enumeradas en la Sección 6.0 . Algunos de los términos técnicos empleados en las notas no son de uso cotidiano, por lo que en la Sección 6.3 se da un glosario con definiciones de tales términos o palabras. Las conferencias fueron pronunciadas por los Drs. Edward Owens y Carl Foget de Woodward-Clyde Consultants y los Drs. Stephan Murray y Harry Roberts del Coastal Studies Institute de la Louisiana State University.

CALENDARIO DE LA REUNION DE TRABAJO

Lunes, 31 de enero

mañana: Inscripción

tarde:

1.00-4.00 Observaciones preliminares: Introducción a la reunión de trabajo

Fuentes de la contaminación del mar

Marco geográfico

- geología, oceanografía, tipos de costas

Martes, 1 de febrero

8.30-11.30 Ambientes costeros y procesos costeros

- transporte de sedimentos, estabilidad de las playas
- arrecifes, manglares, arenisca calcárea

Ambientes costeros de Barbados y Gran Caimán

1.00-5.00 Excursión

Miércoles, 2 de febrero

8.30-11.30 Hidrocarburos y contaminación por hidrocarburos

- movimiento, degradación
- efecto y persistencia
- sensibilidad de la zona costera

1.00-5.00 Excursión

Jueves, 3 de febrero

8.30-11.30 Protección de la costa

- prioridades y métodos

Limpieza de la costa

- prioridades y métodos

Evacuación

1.00-4.30 Estrategias de lucha

- logística, daño causado por la limpieza

Ejercicio - introducción

Viernes, 4 de febrero

6.30-11.30 Ejercicio - discusión

12.00-3.30 Almuerzo facultativo y crucero submarino

GEOLOGIA Y OCEANOGRAFIA

2.0 PROCESOS COSTEROS, GEOLOGIA COSTERA Y TIPOS DE LINEA LITORAL

2.1 Procesos costeros

a) Olas

- los vientos producen olas que a su vez disipan su energía en la zona litoral
- el carácter de las olas producidas localmente está determinado por la velocidad del viento, el fetch¹ y la duración del viento
- las olas que salen de la zona generadora dejan de estar influidas por los vientos locales y se propagan en forma de mar de fondo de periodo largo
- los niveles de energía de las olas en el litoral son función del clima del oleaje y de las profundidades del agua en la zona prelitoral; los arrecifes y las aguas prelitorales someras protegen a la costa contra las olas incidentes
- en las regiones de vientos relativamente unidireccionales, tales como el cinturón de los vientos alisios, existe una considerable diferencia en los niveles de energía entre las costas situadas a barlovento y a sotavento
- la energía mecánica de las olas que rompen en el litoral produce una redistribución (o transporte) de los sedimentos

b) Mareas o niveles del agua

- los cambios cíclicos del nivel del agua durante las mareas en la región del Caribe son del orden de 1,0 m o menos (véase Tabla 2.4, p. 2.26)
- en este "ambiente micromareal", la acción de las olas se concentra en una estrecha banda del litoral (en contraste con las zonas de gran amplitud de las mareas donde la energía de las olas se disipa en una ancha banda del litoral)
- las mareas de tormenta, causadas por vientos que apilan el agua contra el litoral, elevan el nivel del agua sobre el límite normal de acción de las olas

c) Vientos

- además de la producción de las olas, los vientos pueden tener importancia para el transporte de sedimentos arenosos en la zona litoral
- las dunas son depósitos móviles de sedimentos que resultan del transporte eólico y pueden estabilizarse por el desarrollo de una cubierta de vegetación

¹ Véase Glosario, Sección 6.3

2.2 Transporte de sedimentos y estabilidad de la playa

- las fuentes de sedimentos de las playas comprenden:
 - . el transporte hacia la costa de sedimentos procedentes de las aguas prelitorales adyacentes
 - . el transporte a lo largo de la costa de sedimentos procedentes de las costas adyacentes
 - . la erosión costera por las olas de los afloramientos de roca basal o los depósitos de playa existentes
 - . los sedimentos fluviales procedentes de la erosión interior y transportados hasta la costa
- los sedimentos sufren una redistribución de un modo casi continuo, con la excepción de los materiales de gran tamaño (cantos medianos y gruesos) cuyo transporte requiere considerables cantidades de energía, o de los ambientes pobres en energía que están resguardados de la actividad del oleaje
- las playas se encuentran en un estado de equilibrio dinámico con los procesos costeros y los cambios forman parte de un proceso normal
- el cambio puede producirse por el movimiento de sedimentos a lo largo de la costa por las olas que inciden oblicuamente sobre la playa; si el ángulo de incidencia varía puede invertirse la dirección de transporte; cuando esto ocurre dentro de una playa embolsada, la erosión en una sección está contrarrestada por la acreción en otras partes (por ejemplo la playa de Crane en el sureste de Barbados: Cambers, 1980)
- la interrupción del transporte a lo largo de la costa por construcción de un espigón puede producir acreción en las zonas situadas aguas arriba del arrastre, acompañada de erosión en la sección empobrecida en sedimentos situada aguas abajo (Fig. 2.1)

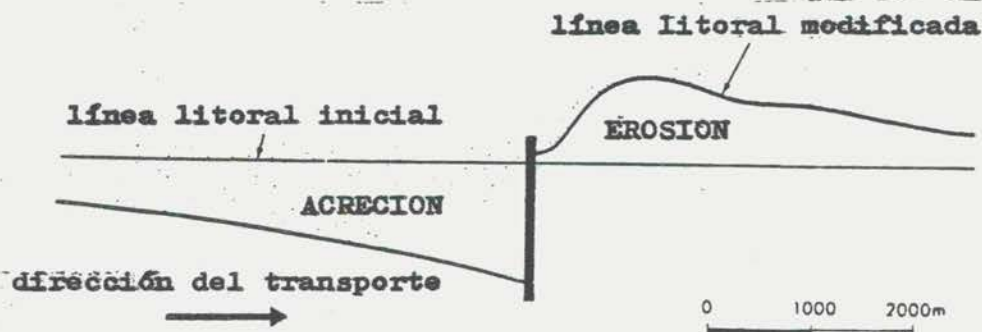


Figura 2.1 Línea litoral inicial y cambios resultantes de la construcción de un espigón perpendicular a la playa (según Komar, 1976).

- durante los periodos de gran actividad destructiva del oleaje (por ejemplo, tormentas), las playas suelen erosionarse debido a que los sedimentos de la zona intermareal son transportados a la zona prelitoral (submareal) adyacente; las playas recuperan su morfología inicial gracias a la actividad constructiva del oleaje después de la tormenta a medida que los sedimentos (en forma de crestas) son devueltos a la zona intermareal (Fig. 2.2)
- este ciclo de erosión y acreción entre el mar y la tierra puede ocurrir en cortos periodos (días o semanas) o durante periodos estacionales; un ejemplo de este segundo caso es el ciclo de "verano-invierno" existente en la costa noreste de Barbados con olas más altas de gran contenido energético y erosión dominante en los meses de invierno y olas más bajas (mar de fondo) en los meses de verano
- las playas pueden sufrir un retroceso (erosión) a largo plazo si una sección pierde más sedimentos de los que recibe; esto puede ocurrir si el hombre extrae sedimentos sin sustituirlos

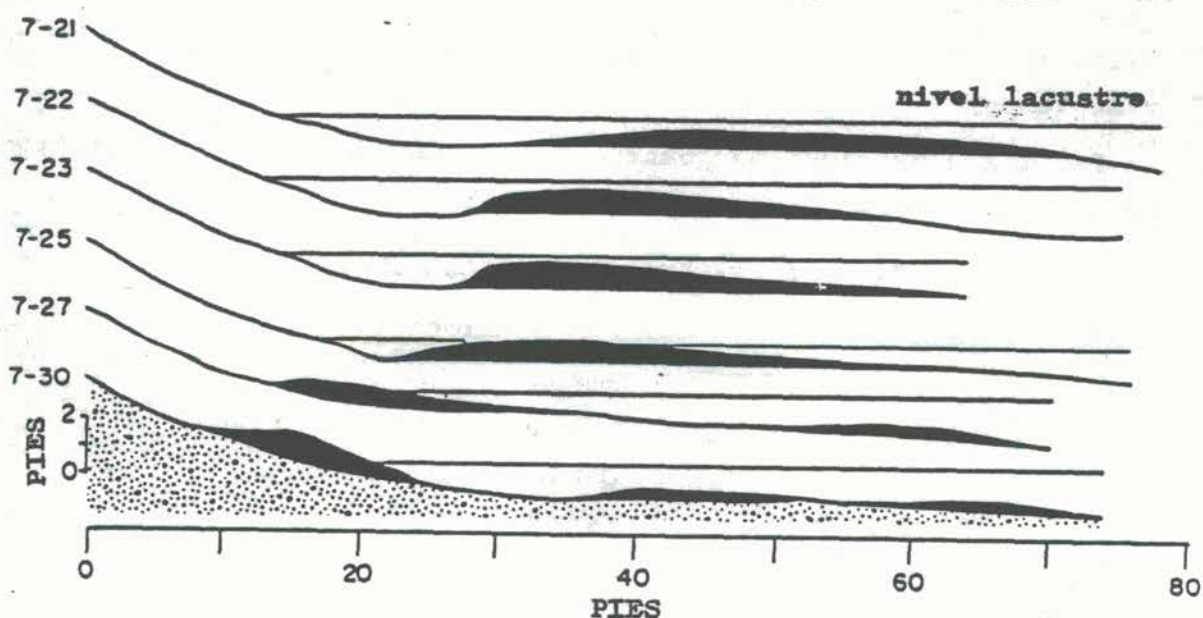


Figura 2.2 Etapas sucesivas de la migración de una cresta hacia tierra después de la erosión de una playa por una tormenta en el Lago Michigan (según Davis and Fox, 1971).

2.3 Tipos de línea litoral

- el carácter de la línea litoral es una función de los procesos costeros y de los materiales sobre los que actúan dichos procesos
- puede hacerse una primera distinción entre las costas que tienen sedimentos en la zona litoral y las que no los tienen; estos dos tipos de línea litoral (Tabla 2.1) coexisten frecuentemente (por ejemplo, una playa de arena con roca de playa o una plataforma rocosa en la zona intermareal inferior)
- la subdivisión ulterior de las líneas litorales con sedimentos se basa primordialmente en el tamaño del material (Tabla 2.2)
- el origen de los sedimentos de playa varía de un sitio a otro de la región; las fuentes primarias son 1) la roca basal y la erosión litoral (arenas silíceas o volcánicas) y 2) la fragmentación de conchas o corales (añicos de conchas, arenas y detritos coralinos)
- este método puede ampliarse incluyendo parámetros morfológicos (acantilados rocosos verticales, terraplenes de roca basal, plataformas rocosas, islotes rocosos, abanicos aluviales, terraplenes de cantos, etc.) y, en el caso de los litorales de roca basal puede ser un factor la resistencia del material (afloramientos de arcilla deleznable o de roca volcánica resistente)
- la Tabla 2.3 presenta un resumen de algunas de las características de los principales tipos de línea litoral

TABLA 2.1 TIPOS DE LINEA LITORAL BASADOS EN EL SUSTRATO

<u>Sin sedimentos</u>	<u>Con sedimentos</u>
Roca basal	Fango
Roca de playa (arenisca calcárea)	Arena
Coral	Cantos rodados finos
Estructuras artificiales	Cantos rodados medianos
- hormigón	Cantos rodados gruesos
- metal	Mixta (con inclusión de grava y derrubios)
- madera	Vegetación
	- manglar
	- marisma
	- dunas postlitorales

TABLA 2.2 GRANULOMETRÍA DE LOS SEDIMENTOS

<u>Sedimentos</u>	<u>Diámetro de grano</u>
Fango	<0,06 mm
Arena	0,06-4 mm
Cantos rodados finos	4-64 mm
Cantos rodados medianos	64-256 mm
Cantos rodados gruesos	>256 mm
-(Grava	>2 mm)

TABLA 2.3 CARACTERES DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE LINEA LITORAL

<u>Material litoral</u>	<u>Tamaño de grano (mm)</u>	<u>Caracteres descriptivos generales</u>
FANGO	≤ 0,06	<ul style="list-style-type: none"> - Playa de poca pendiente - Se desarrolla en zonas donde hay una fuente de material fino - Surcada por una compleja red de riachuelos y canales a pesar de su superficie generalmente plana - Saturada de agua; los depósitos de fango están cubiertos frecuentemente por una fina lámina de agua que no puede filtrarse por los sedimentos sumamente compactos - Escasa capacidad de carga; con frecuencia no pueden soportar el peso de una persona si los sedimentos están húmedos; los sedimentos secos pueden soportar el peso de personas y vehículos
ARENA	0,06-4,0	<ul style="list-style-type: none"> - Pendiente de la playa 1°-40° - Sometida a ciclos estacionales de erosión y sedimentación a consecuencia de los niveles variables de energía de las olas incidentes - Sustrato sumamente compacto con poca capacidad de infiltración de agua
CANTOS FINOS	4,0-64	<ul style="list-style-type: none"> - Playa más estrecha y más pendiente que la de arena - Con frecuencia existen crestas de tormenta en el lado posterior de la lisera de playa; la altura de la cresta aumenta con la exposición a la energía del oleaje

Material litoral	Tamaño de grano (mm)	Caracteres descriptivos generales
CANTOS MEDIOS	64-256	<ul style="list-style-type: none"> - Playa más estrecha y más pendiente que las de arena - Suele haber una cresta de tormenta en el lado de la lisera que mira hacia tierra; la altura de la cresta aumenta con la exposición a la energía del oleaje
CANTOS GRUESOS	≥ 256	<ul style="list-style-type: none"> - Masas de piedras sueltas algo redondeadas o modeladas distintivamente de otra forma por la abrasión durante el transporte - Se encuentra típicamente cerca de la base de los acantilados o los afloramientos rocosos y con frecuencia en las playas embolsadas
SEDIMENTO MIXTO	todos los tamaños	<ul style="list-style-type: none"> - La escasa clasificación de los sedimentos se debe en muchos casos a los bajos niveles de energía del oleaje - Con frecuencia, el tamaño de los sedimentos aumenta sobre la lisera de playa o la cresta de tormenta - Escasa infiltración de agua cuando la arena obtura los espacios entre los cantos finos y medianos.
VEGETACION: manglar		<ul style="list-style-type: none"> - Comunidad compleja de los pantanos costeros formada por árboles y arbustos halófilos; hábitat muy productivo - Común en la mayoría de las regiones tropicales comprendidas entre 25°N y 25°S - Los sedimentos están atrapados en el sistema de las raíces
marisma		<ul style="list-style-type: none"> - Se desarrolla en ambientes resguardados que tienen una fuente de material fino - La superficie de la marisma queda inundada durante la pleamar - Topografía plana interrumpida por riachuelos y canales fangosos

Material litoral	Tamaño de grano (mm)	Caracteres descriptivos generales
duna		<ul style="list-style-type: none">- La arena transportada por el viento queda atrapada y estabilizada por la vegetación postlitoral- Si se arranca o daña la vegetación se desestabilizan las dunas
ROCA: acantilados		<ul style="list-style-type: none">- Son el resultado de un relieve alto en la zona costera o de la erosión rápida de rocas deleznable o material no consolidado por los procesos litorales- Con frecuencia hay poca o ninguna acumulación de sedimentos en la base del acantilado, con lo que los procesos erosivos actúan directamente sobre la pared
plataformas		<ul style="list-style-type: none">- Se encuentran típicamente en aguas someras en la base de los acantilados rocosos- La cubierta sedimentaria, cuando existe, no ofrece ninguna protección y los procesos inducidos por las olas actúan directamente sobre las superficies rocosas
roca de playa		<ul style="list-style-type: none">- Se forma por cementación intersticial de sedimentos intermareales y submareales; es el resultado de una precipitación física o un subproducto de la actividad biológica- Se extiende por debajo del nivel de la bajamar; con frecuencia aparece en forma estratificada
ARTIFICIAL		<ul style="list-style-type: none">- Toda estructura construida por el hombre en el litoral; los materiales pueden ser piedra, hormigón, metal o madera- Como ejemplo cabe citar los muelles, embarcaderos, diques, espigones y malecones

a) Playas arenosas

- los sedimentos arenosos pueden ser silíceos (cuarzo), volcánicos, carbonatados o coralinos según su origen
- la morfología de la playa es una función del relieve costero, la abundancia de sedimentos y los niveles de energía del oleaje
- las Figuras 2.3 y 2.4 se tomaron el mismo día en las costas expuesta (de cara al este) y resguardada (de cara al oeste) de Barbados; la primera tiene una ancha zona intermareal y una ancha lisa de playa, mientras que la segunda es estrecha y carece de lisa en algunas secciones
- las playas de arena están sometidas a un cambio continuo a medida que los sedimentos son redistribuidos por la acción de las olas; las velocidades de cambio y de transporte de sedimentos aumentan en proporción a los niveles de energía de las olas incidentes
- en muchas costas expuestas, la existencia de arrecifes marginales protege a las playas reduciendo la energía de las olas incidentes
- en algunas zonas postlitorales puede haber dunas de arena (Fig.2.5) y durante los periodos de olas altas o de grandes pleamares puede producirse un desbordamiento del agua en las playas que tienen lagunas postlitorales

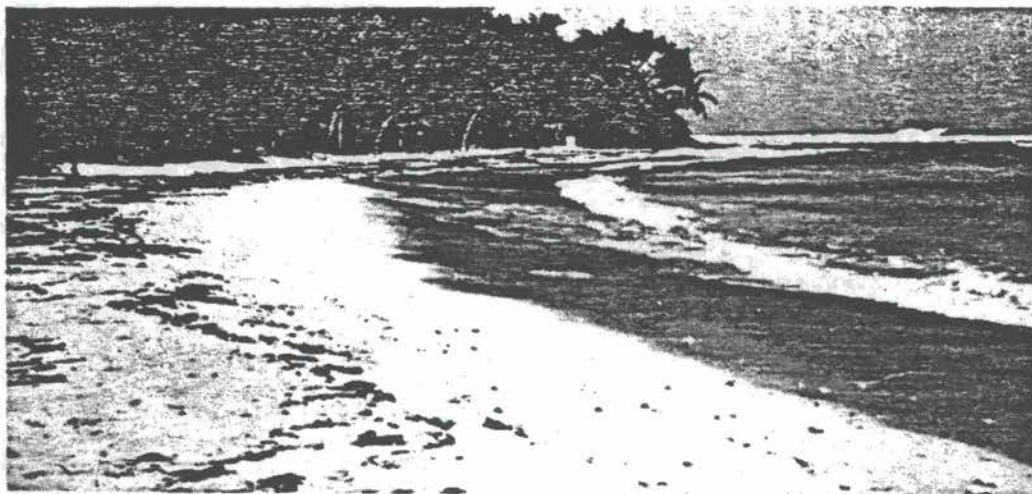


Figura 2.3 Playa arenosa ancha; Bath, Barbados oriental.

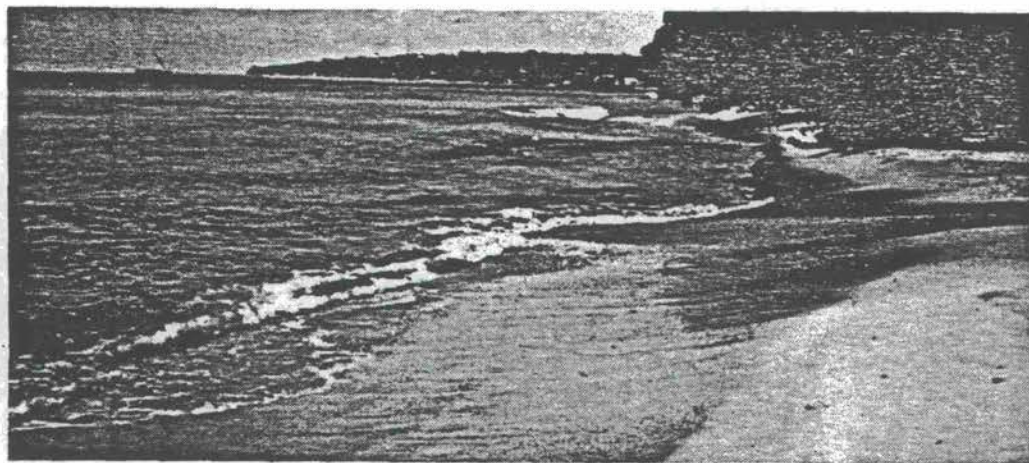


Figura 2.4 Playa arenosa estrecha; Hayward's Beach, Barbados nordoriental

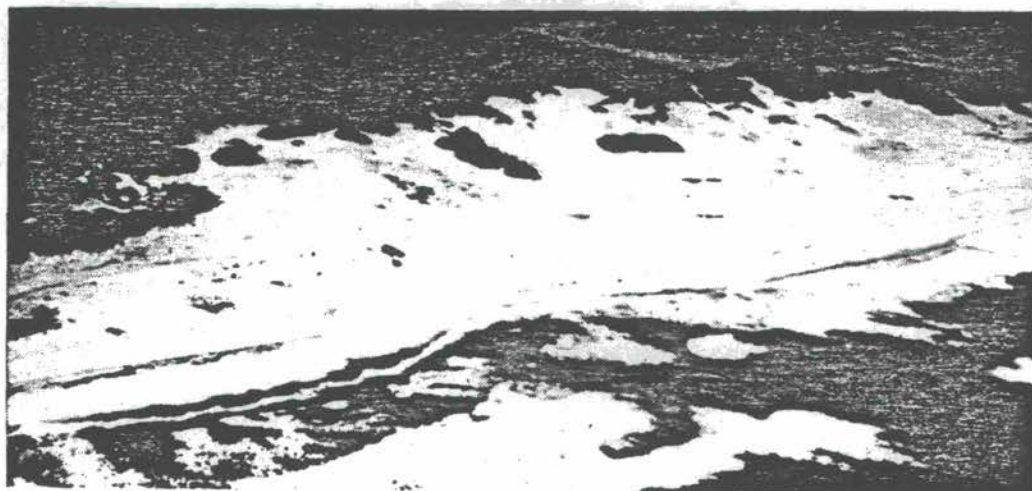


Figura 2.5 Dunas costeras; Walker's Beach, Barbados nordoriental

b) Playas pedregosas

- este tipo de material, procedente de la erosión de los arrecifes coralinos, no es común en la región del Caribe (Fig. 2.6)
- en algunas zonas se han formado terraplenes pedregosos por la acción de las olas de tormenta durante los huracanes; dichos terraplenes pueden tener varios metros de altura (Fig. 2.7) y se encuentran en todas las costas de Gran Caimán que no están protegidas por arrecifes marginales (Roberts et al. , 1977; Roberts, 1977) (véase la Fig. 2.33, p. 2.38)

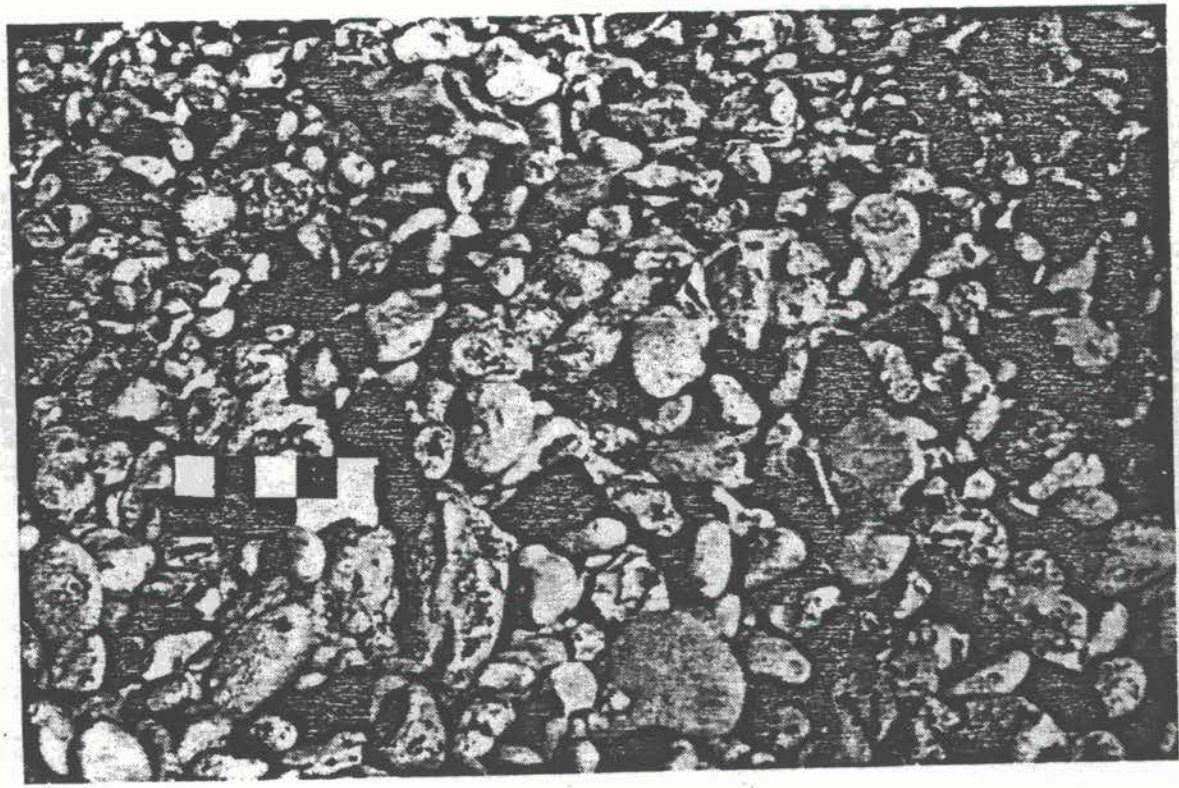


Figura 2.6 Playa pedregosa intermareal; Hillside, Barbados; compárese con la foto de la Sección 5.0; parada de excursión nº 5). La escala mide 25 cm.

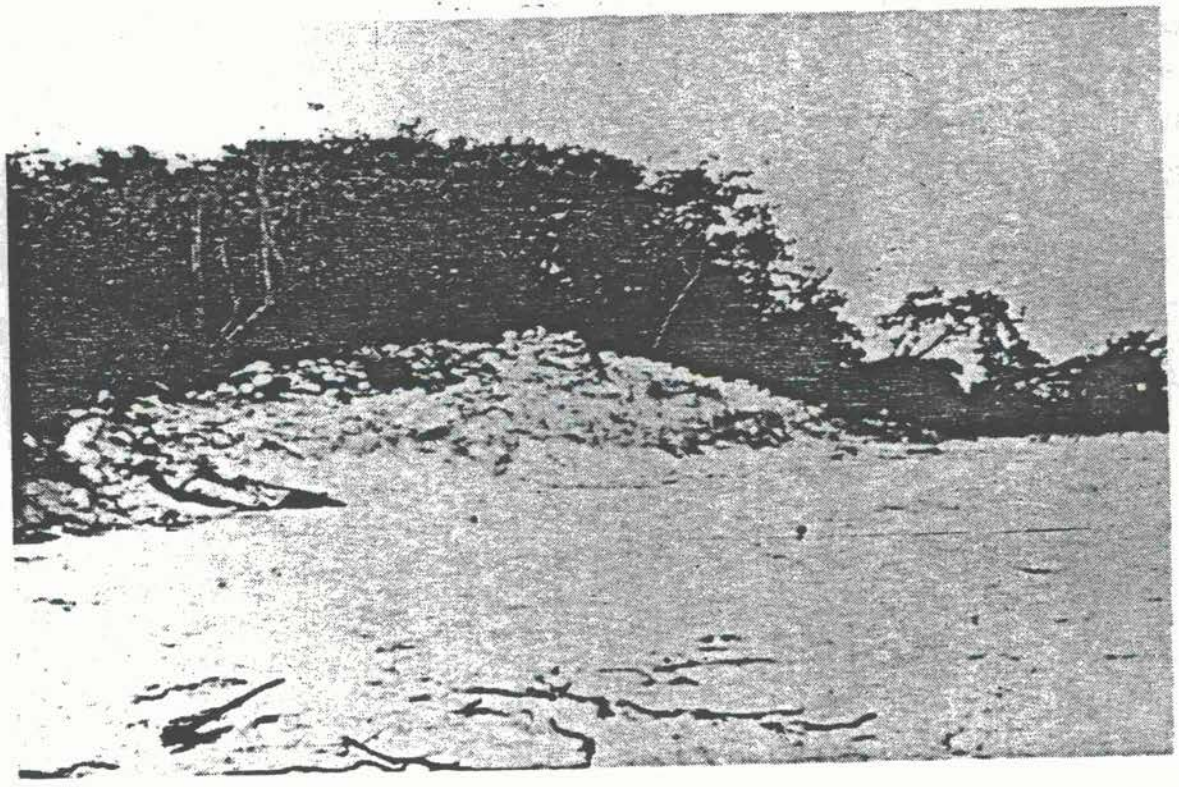


Figura 2.7 Terraplén pedregoso; costa norte, Gran Caimán.

c) Costas rocosas

- en gran parte del Caribe, el relieve de la zona costera es abrupto y los afloramientos de roca basal son frecuentes en el litoral
- en la mayoría de las regiones, esos afloramientos son rocas volcánicas resistentes
- las costas de roca basal pueden dividirse en primer lugar por su relieve bajo o abrupto (Figuras 2.8 y 2.9 respectivamente) y en segundo lugar por su resistencia a la erosión por los procesos costeros (véase la Sección 2.8.1 a), p. 2.34)
- en las costas acantiladas, la roca basal puede erosionarse por la acción de las olas formando una cara vertical (Fig. 2.10) o por una combinación de procesos marinos y terrestres formando una cara inclinada (Fig. 2.9)
- en las caras verticales de los acantilados es frecuente una escotadura tallada por las olas en la marca de la pleamar (Fig. 2.11)
- en las zonas donde los procesos costeros han logrado erosionar los afloramientos rocosos se encuentran plataformas talladas por las olas; estas plataformas son frecuentes, por ejemplo, en la costa noreste de Barbados donde afloran rocas sedimentarias relativamente deleznales
- las plataformas suelen tener una superficie horizontal pero irregular y se encuentran en la mitad inferior de la zona intermareal de esta región



Figura 2.8 Costa acantilada, relieve bajo; Barbados nordoriental.

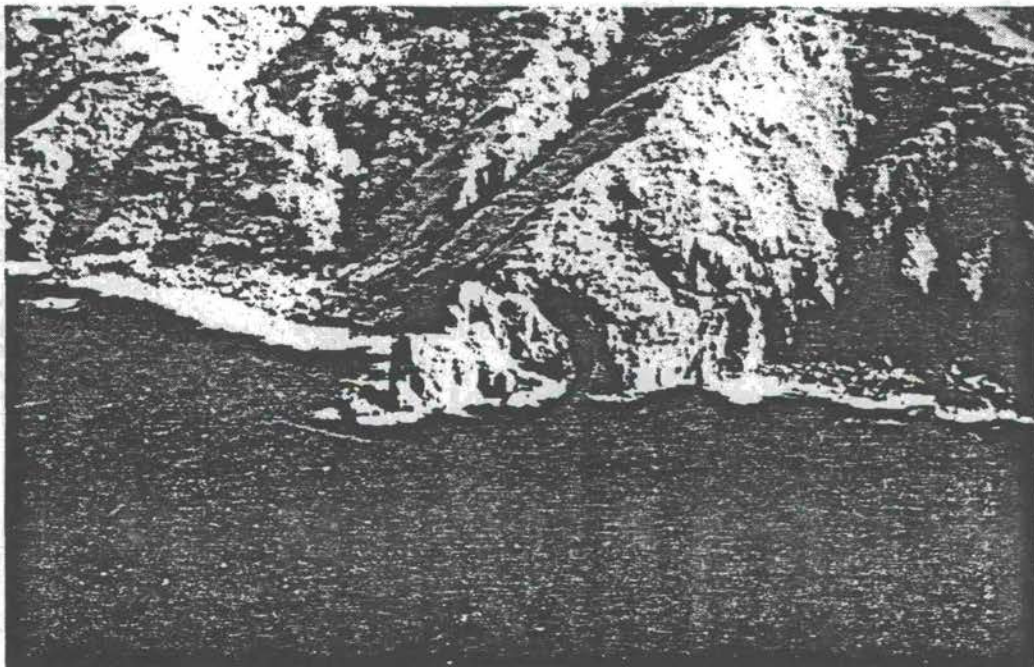


Figura 2.9 Costa acantilada, relieve alto; St. Vincent occidental.



Figura 2.10 Costa acantilada, cerca de Punta Sur, Barbados.

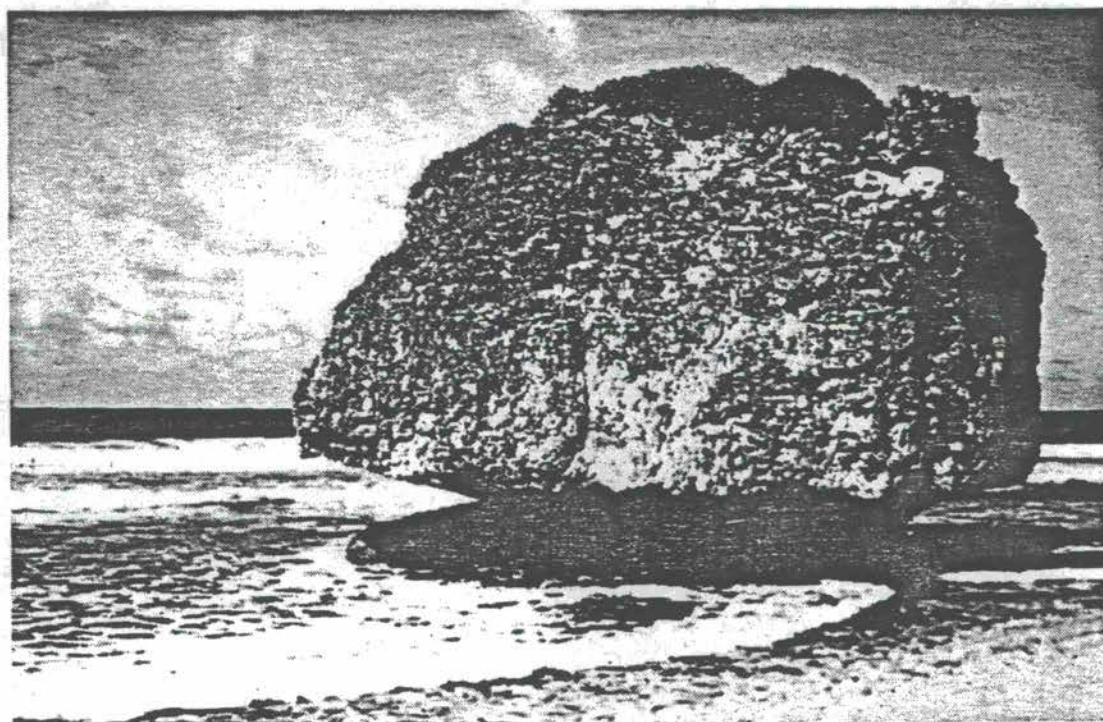


Figura 2.11 Escotadura de pleamar; Hillside, Barbados oriental.

d) Rocas de playa

- la cementación de los sedimentos de playa en la zona intermareal forma un afloramiento rocoso estratificado en muchos lugares (Figuras 2.12 y 2.13)
- la roca de playa se forma debajo del nivel medio de la pleamar y con frecuencia se extiende bastante por debajo del nivel de la bajamar
- la formación de roca de playa está asociada a la producción de cementos de aragonito, cálcicos o magnésicos, en los sistemas de agua subterránea intersticial de la playa por precipitación física o como subproducto de la actividad biológica (Roberts and Sneider, 1982)
- la presencia de roca de playa produce un tipo mixto de línea litoral formado por sedimentos y rocas

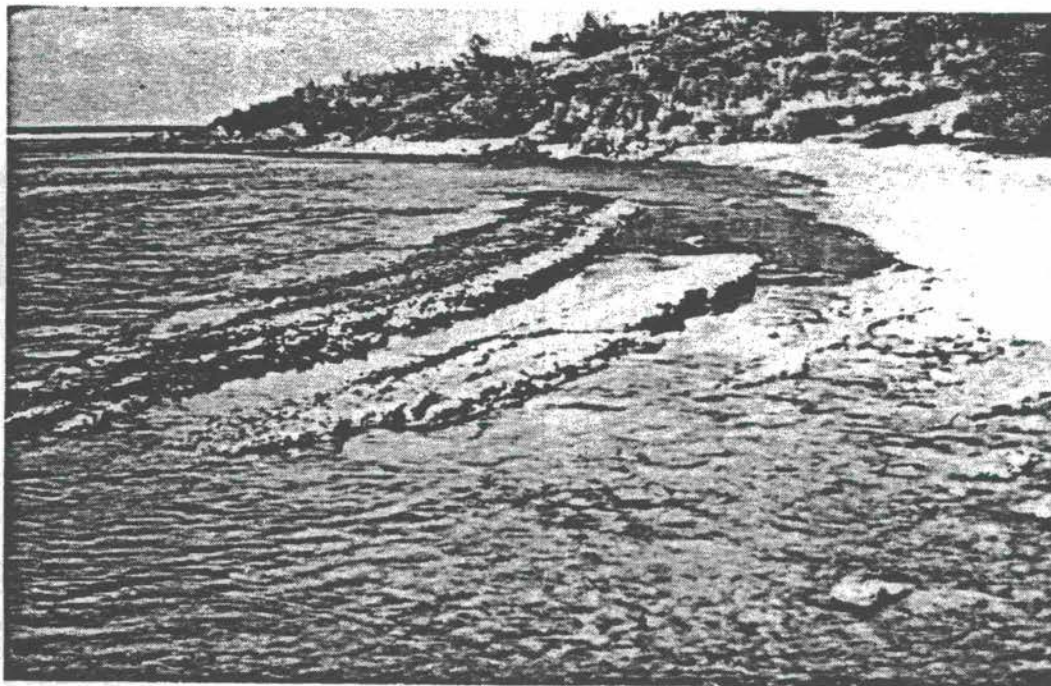


Figura 2.12 Roca de playa; St. Croix nordoriental.



Figura 2.13 Roca de playa; Long Bay (Castillo de Sam Lord), Barbados sudoriental

e) Costas mixtas

- un rasgo característico de las costas insulares del Caribe es la variabilidad de los tipos de línea litoral dentro de pequeñas zonas geográficas (Figuras 2.14 y 2.15)
- las playas embolsadas (playas de sedimentos rodeadas en ambos extremos por afloramientos de roca basal) son corrientes en muchas secciones de relieve abrupto
- la naturaleza discontinua de los arrecifes prelitorales (Fig.2.14) y de los pisos coralinos submareales (Fig. 2.15) produce una considerable variación en el tipo y la morfología de la línea litoral
- la complejidad de la línea litoral también es grande en las zonas de relieve bajo, tales como las Bahamas y la Martinica sudoriental (Fig.2.16); en el primer caso debido a la irregularidad de la línea litoral y en el segundo a la naturaleza mixta de los afloramientos de roca basal y playas sedimentarias

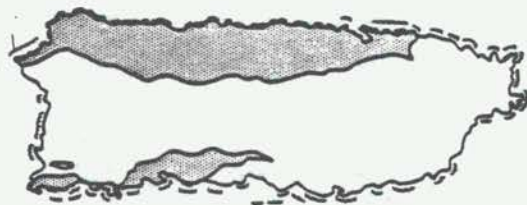


Figura 2.14 Tipos de línea litoral en Puerto Rico; se indican las principales zonas de caliza (punteado), roca de playa (en negro) y arrecifes de coral (líneas rizadas) (según Hunt, 1967).

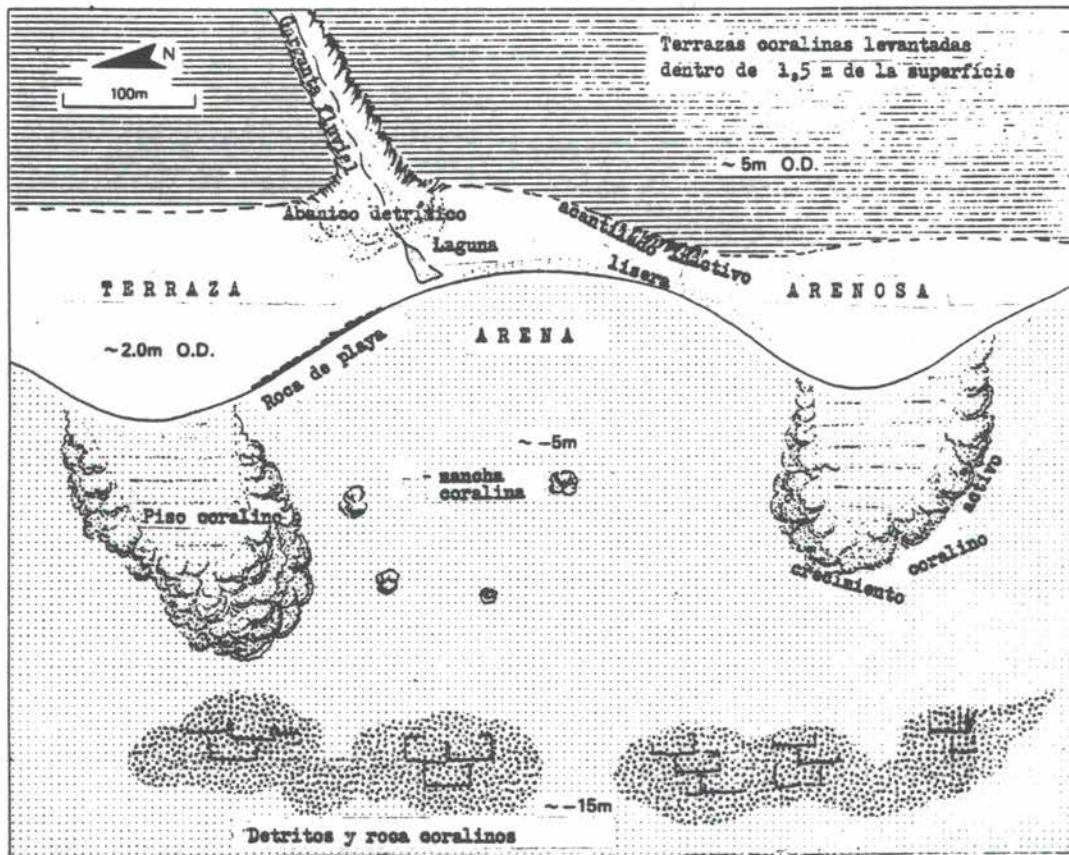


Figura 2.15 Mapas detallados del carácter de la zona litoral; Barbados occidental (según Bird et al., 1979). escala: 1 cm = 25 m.



Figura 2.16 Afloramientos de roca basal, plataformas rocosas y playas arenosas; Pointe d'Enfer; Martinica sudoriental.

2.4 Arrecifes costeros

- un arrecife está formado por complejas colonias de pólipos individuales que segregan esqueletos de caliza (carbonato cálcico); los arrecifes pueden crear estructuras rígidas, resistentes a las olas, que modifican su ambiente físico
- el crecimiento del coral está limitado por una temperatura baja ($<16^{\circ}\text{C}$) y una escasa salinidad, de modo que los arrecifes sólo se encuentran en los trópicos, aunque cada cuenca oceánica tiene sus propios géneros y especies
- existen tres tipos principales de arrecifes:
 - arrecifes marginales: son paralelos a la línea costera y están separados de ella por una laguna somera estrecha (Fig. 2.17)
 - arrecifes de barrera: sistemas mayores que se encuentran mar adentro, sobre la plataforma continental, y
 - atolones: se forman alrededor de las islas en el Pacífico
- la forma de un arrecife está determinada en gran parte por el régimen de la circulación y por la acción de las olas (Roberts et al., 1977; Murray et al., 1977)
- en las costas expuestas se encuentran corales que pueden resistir altos niveles de actividad del oleaje y la zonación de las especies es función de la relación entre las olas y las corrientes (Roberts et al., 1979); debido a esta zonación, dentro de un sistema de arrecifes existe una gran variedad de ambientes litorales
- en las islas donde los sedimentos prelitorales son acarreados desde las costas situadas a barlovento hacia las situadas a sotavento, el desarrollo de los arrecifes está limitado a estas últimas (Adams, 1968) (Fig. 2.31, p. 2.36 y Fig. 2.34, p. 2.39)
- los arrecifes activos rara vez sobresalen de la superficie del mar, ya que los corales sólo pueden resistir pocos minutos de exposición, aunque las profundidades del agua pueden ser muy pequeñas ($<1\text{ m}$) (Fig. 2.18)
- los arrecifes coralinos son el accidente individual costero más importante de las islas del Caribe: debido a su complejidad y a que producen una gran variedad de peculiaridades de la zona litoral, en la Sección 2.9 se da una descripción detallada de los sistemas de arrecifes
- los arrecifes son ambientes biológicos muy diversos y productivos: también son importantes geológicamente porque forman la topografía del fondo del mar y constituyen una fuente renovable de sedimentos calizos

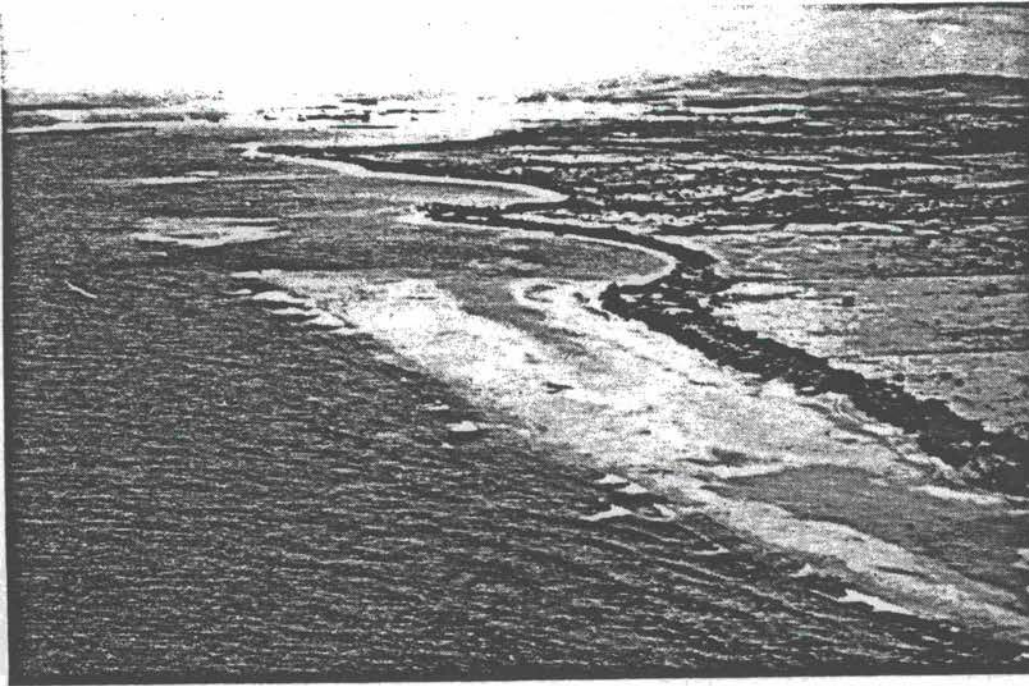


Figura 2.17 Arrecife coralino marginal prelitoral; suroeste de St. Croix.



Figura 2.18 Arrecife somero prelitoral; Buck Island, St. Croix.

2.5 Manglares

- los pantanos costeros que pueden existir en los trópicos en las aguas saladas o salobres y los que se encuentran en la franja exterior se caracterizan por el mangle rojo Rhizophora mangle
- los manglares se encuentran en ambientes de escasa energía que están resguardados de la actividad de las olas de tormenta, así como en las costas situadas a barlovento (Fig. 2.19), aunque únicamente donde las aguas someras prelitorales o los sistemas de arrecifes ofrecen una protección contra la acción del oleaje
- el borde exterior de un pantano de mangles se caracteriza por un complejo sistema de raíces de apuntalamiento arqueadas (Fig. 2.20); las raíces se extienden por la zona intermareal hasta el nivel de la bajamar
- tierra a dentro, el mangle rojo cede su puesto al mangle negro, Avicennia germinans, que sólo se encuentra en la zona intermareal superior
- las aguas de la marea se infiltran por el sistema de raíces, aunque la circulación del agua no llega a producir canales
- los manglares son ambientes sumamente productivos para muchas especies marinas (especialmente peces, camarones y langostas)

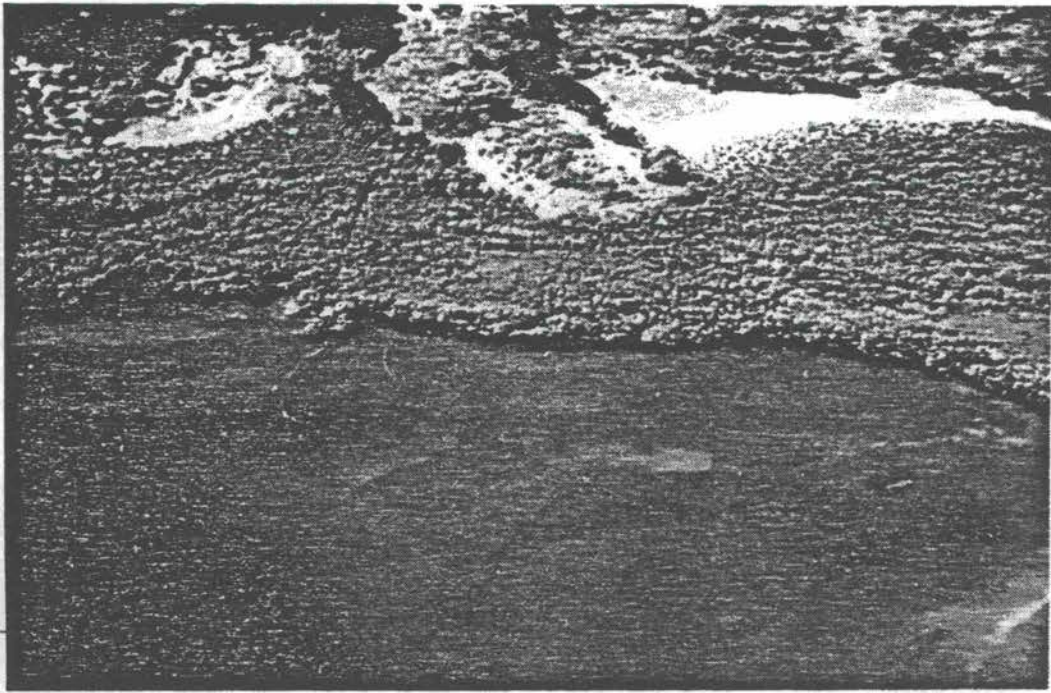


Figura 2.19 Manglares: vista aérea, suroeste de Martinica.

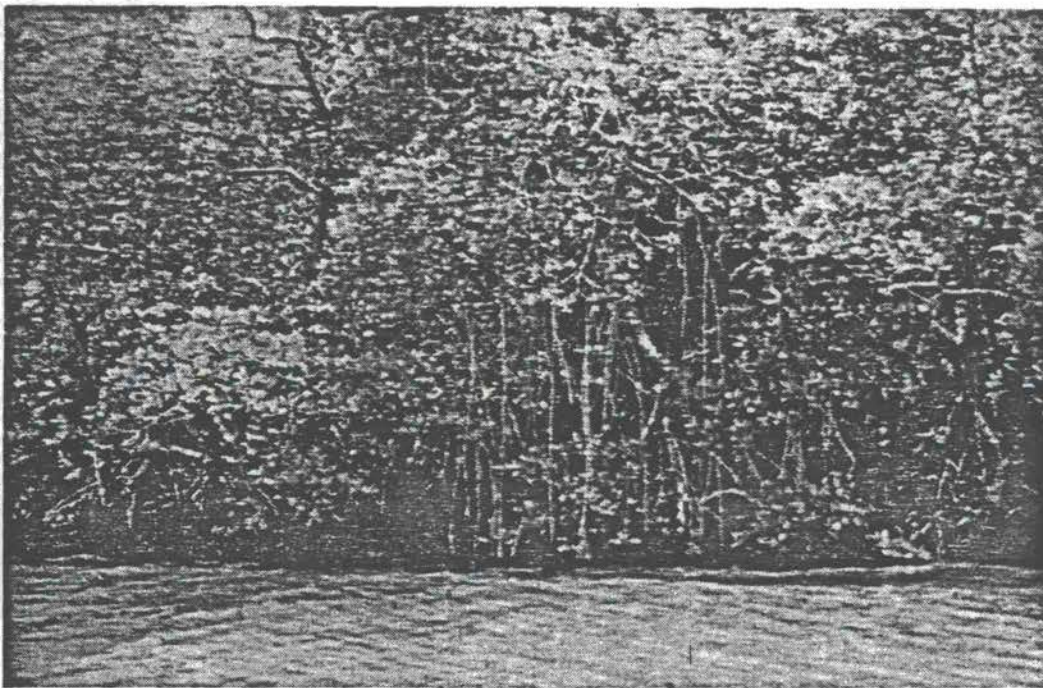


Figura 2.20 Primer plano de un manglar: St. Croix.

2.6 Geología regional

- la fisiografía y la geología estructural del sistema insular están determinadas por la actividad tectónica a escala global: la región es una "zona de subducción" en la que una parte de la corteza terrestre subyacente al Océano Atlántico Norte se está hundiendo bajo la corteza de la región del Caribe (Fig.2.21)
- la zona de subducción se caracteriza por una fosa oceánica (la Fosa de Puerto Rico: >9.000 m de profundidad), que describe un arco desde la costa septentrional de América del Sur hasta Florida
- una cadena de volcanes en el borde interior del arco ha formado una línea de islas que tienen altitudes hasta de 2.500 m sobre el nivel del mar
- desde Puerto Rico, la fosa tuerce hacia el oeste entre Jamaica (al sur) y Cuba y Caimán (al norte); esta sección de la fosa tiene profundidades superiores a 7.500 m
- las islas están siendo lentamente levantadas por una actividad tectónica continua (por ejemplo, los arrecifes coralinos levantados de Barbados, Fig. 2.29, p. 2.25) y están sometidas a una actividad volcánica explosiva contemporánea (por ejemplo, Monte Pelado, Martinica en 1902; St. Vincent, 1979)
- en la mayor parte de las zonas, las islas volcánicas tienen un relieve abrupto con pocas tierras bajas costeras: las excepciones a este carácter general de relieve abrupto son: a) las islas predominantemente coralinas de Barbados y Antigua, situadas al este de la cadena volcánica; b) las Bahamas y Anguilla, de poca elevación, que se formaron en la plataforma continental somera del este de Cuba; y c) Cuba, Trinidad y Tobago que son prolongaciones de la tierra firme de América del Norte y América de Sur respectivamente



Figura 2.21 Diagrama esquemático de la zona de subducción y del arco insular volcánico resultante.

2.7 Climatología y oceanografía regionales

a) Régimen climatológico a gran escala

- los ajustes al campo de presión planetario impulsan la circulación atmosférica (Fig. 2.22); la región del Caribe está dominada por los vientos alisios del noreste (Fig. 2.22), que son sumamente constantes de diciembre a marzo; los vientos suelen tener una velocidad de 16 a 30 km/hr
- las perturbaciones meteorológicas son ondas que atraviesan la región de este a oeste (Fig. 2.23)
- las tormentas tropicales son comunes estacionalmente de junio a noviembre y muy frecuentes en septiembre: 8 huracanes por término medio atraviesan la región cada año (Fig. 2.24)
- el sistema de brisas marinas, que produce vientos hacia tierra durante el día y hacia el mar durante la tarde, es un importante proceso en las costas tropicales
- la intensidad de la lluvia puede ser importante para determinar las corrientes costeras; la cuenca occidental del Caribe se distingue por altas pluviocidades ($> 2,540$ mm/año en algunas zonas)

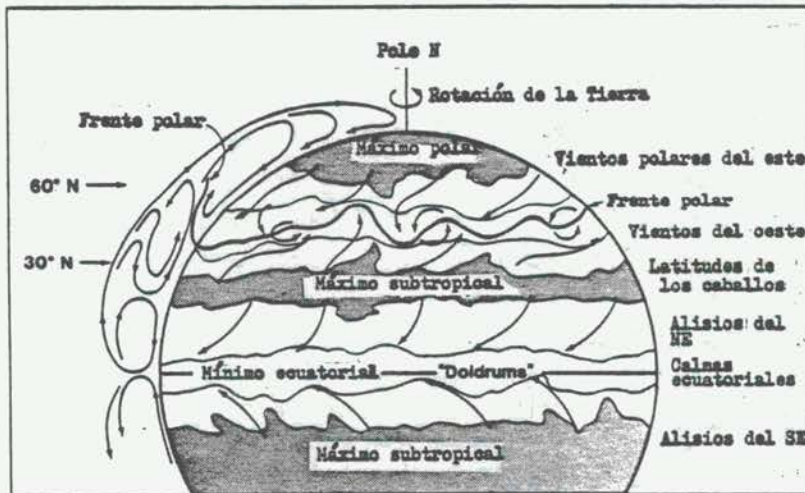


Figura 2.22 Circulación atmosférica regional del hemisferio norte.

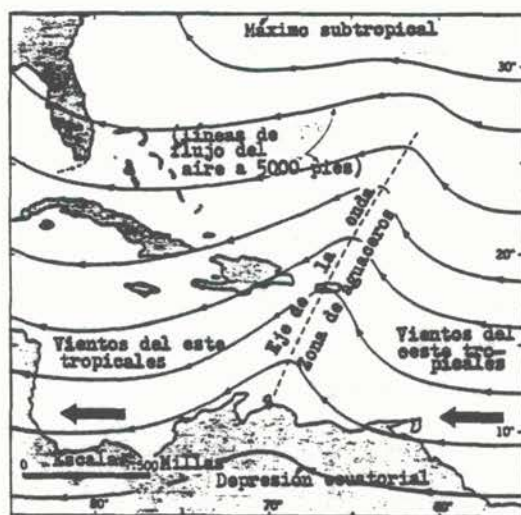


Figura 2.23 Una onda del este atravesando las Indias Occidentales (según Strahler, 1965).

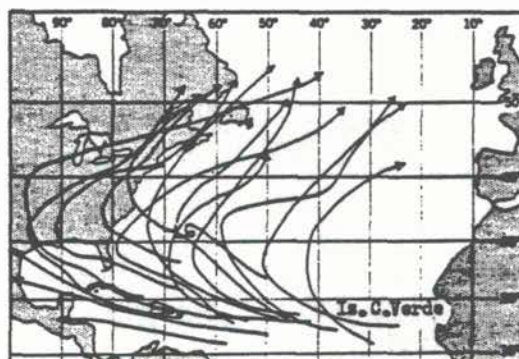


Figura 2.24 Trayectorias de algunos huracanes típicos del Atlántico Norte ocurridos durante el mes de agosto (según Strahler, 1965).

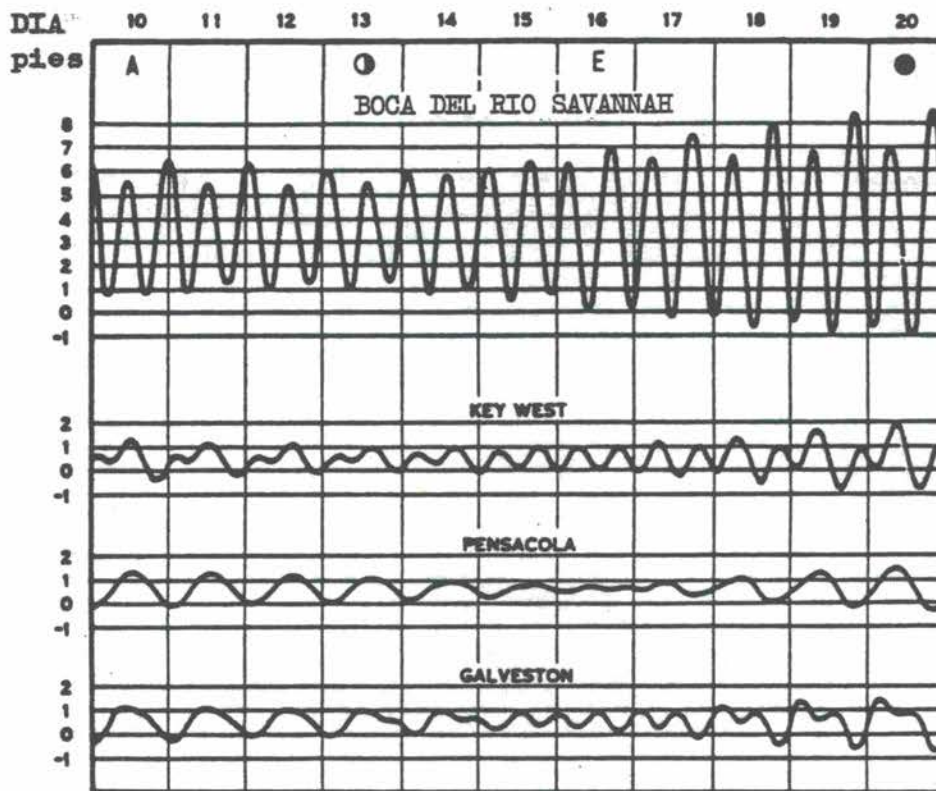
b) Mareas

- las mareas están causadas primordialmente por la atracción gravitatoria de la luna y el sol sobre el agua, y sus ondas se propagan de una manera sistemática y muy previsible alrededor del globo
- los tres tipos básicos de marea son: semidiurnas, diurnas y mixtas
- la amplitud de las mareas varía en el tiempo y en el espacio debido a la alineación de la luna y el sol, lo que produce mareas vivas, muertas, tropicales y ecuatoriales (Fig. 2.25)
- la amplitud de las mareas varía desde un mínimo de 0,25 m (en zonas de mareas diurnas) hasta un máximo de 0,9 m en las mareas vivas de las Bahamas (Tabla 2.4)

TABLA 2.4 AMPLITUD DE LAS MAREAS EN CIERTOS LUGARES DEL CARIBE

<u>Isla</u>	<u>Lugar</u>	<u>Amplitud</u>	
		<u>Media</u>	<u>Viva</u>
Bahamas	North Bimini	0.73 m	0.88 m
Bahamas	Is. Mayaguana	0.61	0.76
Cuba	Sagua de Tánamo	0.58	0.67
Cuba	Bahía de Guantánamo	0.31	0.40
Jamaica	Bahía de Montego	-	0.31*
Haití	Port-au-Prince	0.34	0.40
Puerto Rico	Arroyo	-	0.24*
Puerto Rico	San Juan	0.34	0.40
St. Croix	Christiansted	-	0.24*
Dominica	Roseau	0.21	0.37
Barbados	Bridgetown	0.52	0.64
Tabago	Scarborough	0.64	0.82
Aruba	Bahía de St. Nicholaas	-	0.24*

* Variación diurna



Datos lunares A - luna en apogeo
☾ - último cuarto
E - luna sobre el Ecuador
● - luna nueva

Figura 2.25 Curvas de marea en varios lugares del sureste del Atlántico Norte. La mayoría de las islas del Caribe tienen curvas muy semejantes a las de Key West.

c) Corrientes

- corrientes arrastradas por el viento: generalmente tienen el 3-5% de la velocidad del viento en alta mar y se desvían hacia la derecha del viento debido a la rotación de la Tierra; este efecto se llama espiral de Ekman (Fig.2.26)
- las corrientes cálidas de las Guayanas y ecuatorial del norte fluyen desde el sureste hacia el noroeste a lo largo de las costas interiores (corriente del Caribe) y exteriores (corriente de las Antillas) del arco insular, uniéndose al norte de las Bahamas para formar la Corriente del Golfo (Fig. 2.27)
- capa costera limitrofe: las costas con fuertes precipitaciones tienen una banda definida de corrientes rápidas a 10-20 km mar adentro
- la temperatura de las aguas superficiales suele ser superior a 25°C, lo que es favorable para el crecimiento de los pólipos coralinos

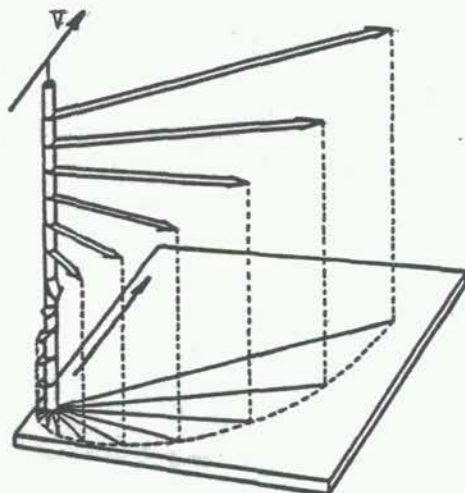


Figura 2.26 Representación esquemática de una corriente de origen eólico en aguas profundas, indicando la disminución de la velocidad y el cambio de dirección a intervalos regulares de profundidad (espiral de Ekman). V indica la dirección del viento

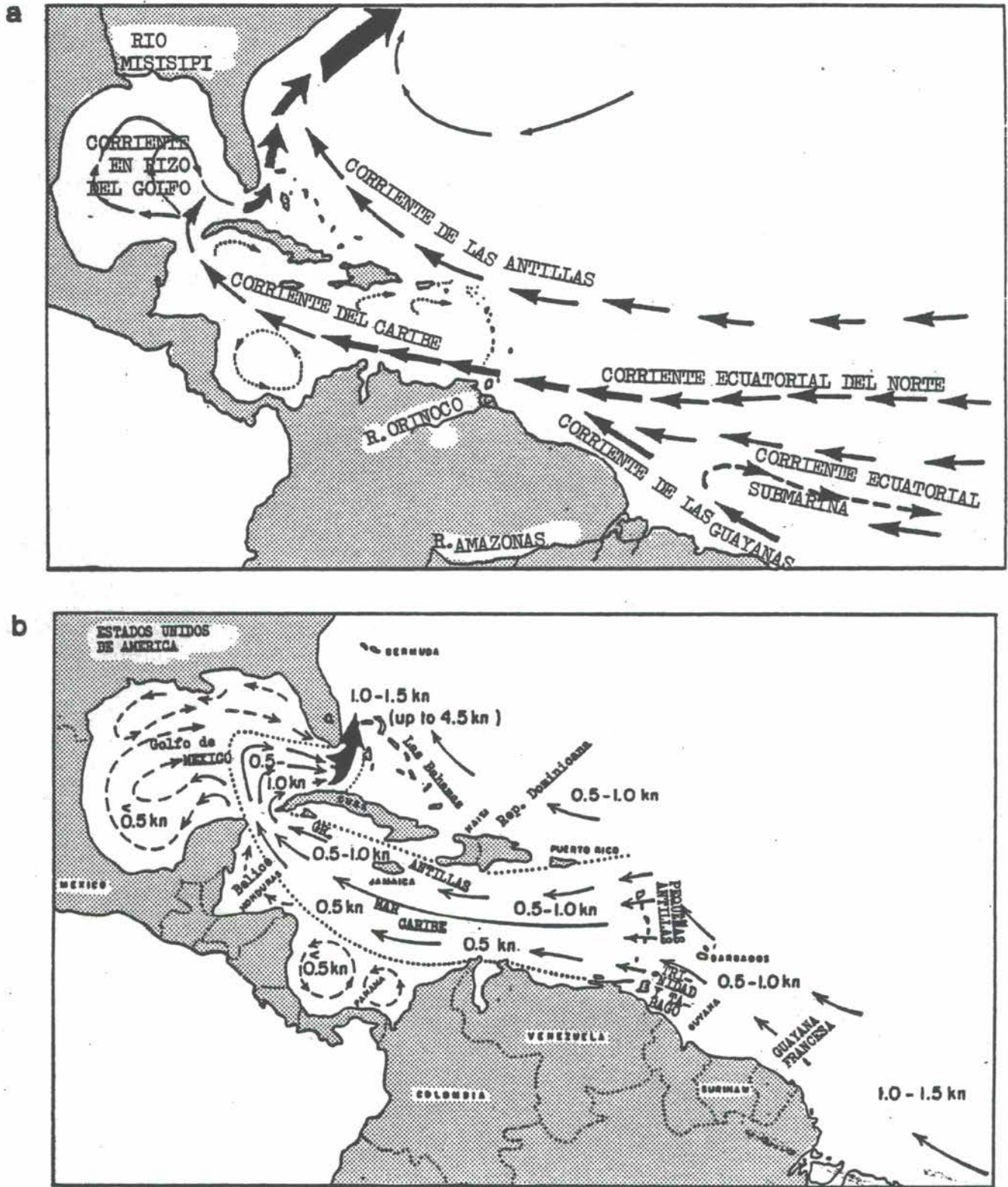


Figura 2.27 a) Régimen de la circulación primaria y b) velocidades de la corriente en el Mar Caribe (según Hann and James, 1979).

d) Olas

- la altura de las olas en alta mar depende de la velocidad y de la duración del viento, así como del fetch
- existen fórmulas numéricas sencillas que relacionan aproximadamente la longitud y la velocidad de las olas
- las velocidades orbitales son circulares en aguas profundas y elípticas en aguas someras
- las olas que se acercan a la costa rompen y forman la resaca cuando su altura es aproximadamente el 70% de la profundidad del agua
- la refracción de las olas debida a la topografía del fondo hace que aquéllas cambien de dirección y disminuyan de altura; con frecuencia, las olas se refractan completamente alrededor de las islas y producen detrás de ellas una zona resguardada de baja energía del oleaje (Fig. 2.28); véase también la Fig. 2.32, p. 2.37
- la difracción hace que las olas pierdan energía cuando pasan a través de una abertura en el rompeolas de un puerto o en un arrecife marginal
- existen tablas y ábacos sencillos para la predicción de la altura, la dirección y el periodo de las olas (por ejemplo, en el Manual de protección de costas del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos)

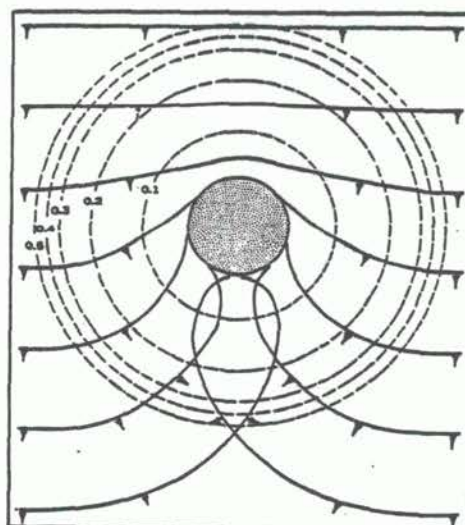


Figura 2.28 Diagrama ilustrativo de la refracción de las olas alrededor de una isla circular rodeada de un fondo de pendiente suave y regular. Las profundidades de las isobatas se dan en función de la longitud de las olas mar adentro.

2.8 Variabilidad regional de los medios costeros

2.8.1 Barbados

a) Geología y fisiografía de la roca basal

- la isla es un afloramiento de roca basal sedimentaria terciaria, cubierta por una capa de caliza coralina, que se encuentra al este de la cadena volcánica del arco insular
- a medida que la isla emergió del mar debido a un levantamiento tectónico, los arrecifes de coral formaron una serie de terrazas que actualmente se extienden hasta 350 m por encima del nivel del mar (Fig. 2.29)
- la cubierta de caliza resistente (Fig. 2.8, p. 2.13) está rota por el noreste dejando al descubierto las rocas terciarias subyacentes relativamente desleznables (Fig. 2.30)

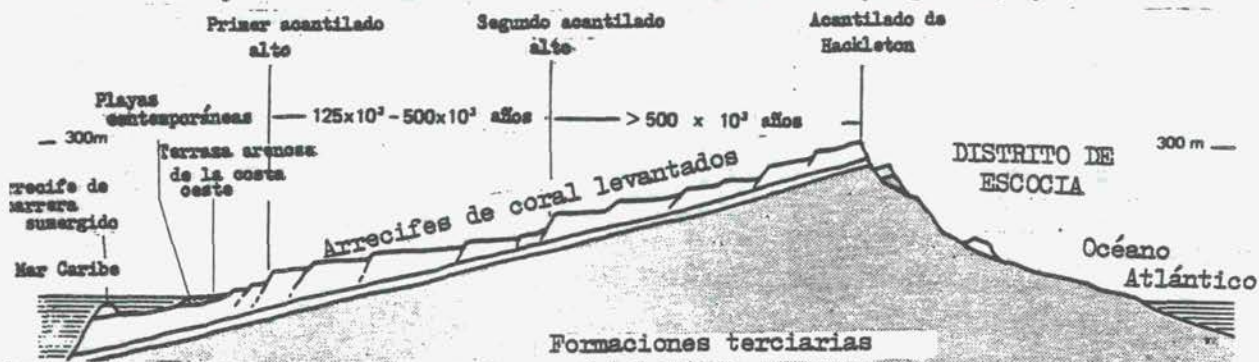


Figura 2.29 Sección geológica transversal de Barbados (oeste-este) con las edades aproximadas de los arrecifes de coral levantados (según Bird et al., 1979).

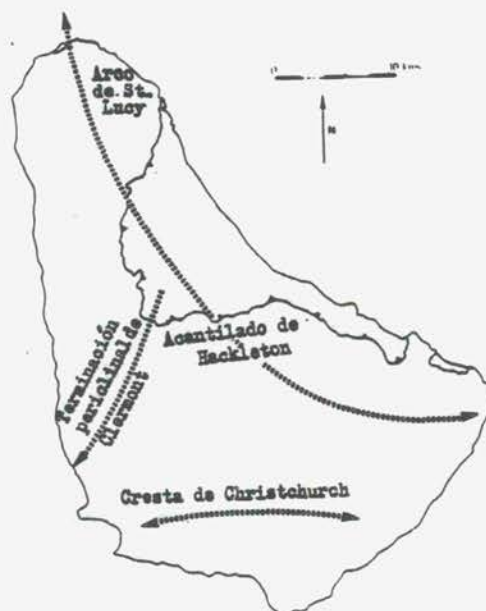


Figura 2.30 Rasgos geológicos estructurales generales de Barbados y afloramientos de roca basal sedimentaria terciaria (punteado) (según Bird et al., 1979).

b) Geología costera

- la distribución de los tipos de línea litoral se resume como sigue:

playas de arena coralina	30,5	}	41,5 km
playas de arena silícea	11,0		
acantilados de caliza coralina	32,0	}	43,0 km
roca basal terciaria	11,0		
líneas costeras artificiales	6,4	-	6,4 km

- las playas de arena silícea (cuarzo) se encuentran en la costa noreste donde los ríos transportan los productos de la erosión de los afloramientos de roca basal terciaria a la zona litoral (véase Figuras 2.30 y 2.31); en otros lugares, las arenas proceden de la fragmentación del coral por la acción mecánica de las olas
- la roca de playa se encuentra a lo largo de un total de 3 km de línea litoral principalmente en la costa oeste con cinco afloramientos en la costa sur y dos en la costa noreste
- en la mayor parte de las secciones de la costa existen arrecifes de coral marginales (Fig. 2.31) a la distancia de 1,0 a 3,0 km del litoral; el crecimiento de los arrecifes en las costas situadas a sotavento (oeste y suroeste) está limitado por la acumulación de sedimentos cerca del litoral en esas zonas
- las observaciones indican que la mayoría de las playas están sometidas a un proceso de erosión; entre 1950 y 1980, la erosión neta de las playas en la costa sureste varió entre 6 y 60 m (0,2 a 2,0 m/año)
- los cambios estacionales en las playas (erosión y acreción) son el resultado de un transporte de sedimentos entre el litoral y el mar o de movimientos (inversiones) de sedimentos a lo largo del litoral dentro de un tramo costero

c) Procesos costeros

- los vientos prevalecientes son los de dirección este-noreste (84,9%), mientras que los vientos dominantes, tanto en frecuencia como en velocidad, soplan del este (56,8%)
- el régimen estacional de vientos es el siguiente:

diciembre-febrero	E-NE
marzo-mayo	E
junio-agosto	ENE-ESE
septiembre-noviembre	ESE-SSE

- las velocidades del viento son máximas durante el periodo de febrero a julio, con velocidades medias superiores a 5 m/s (18 km/hr)
- los huracanes no son frecuentes; los dos más devastadores ocurrieron en 1780 y 1831; solamente dos han pasado sobre la isla entre 1876 y 1975 (en 1898 y 1955)
- la máxima frecuencia de los huracanes corresponde al periodo de junio a noviembre
- la altura de las olas coincide estrechamente con el régimen local y regional de vientos, de modo que los niveles de energía de las olas incidentes muestran un pronunciado contraste entre las costas expuestas (a barlovento) y las resguardadas (a sotavento) (Fig. 2.32)
- las olas de fondo son más bajas y planas en los meses de verano y más altas e inclinadas en los de invierno (produciendo acreción de la playa en el verano y erosión en el invierno) (véase p. 2.3)
- la amplitud de las mareas llega a 1,0 m en las mareas vivas y varía entre 0,3 y 0,5 en las mareas muertas; las mareas son semidiurnas

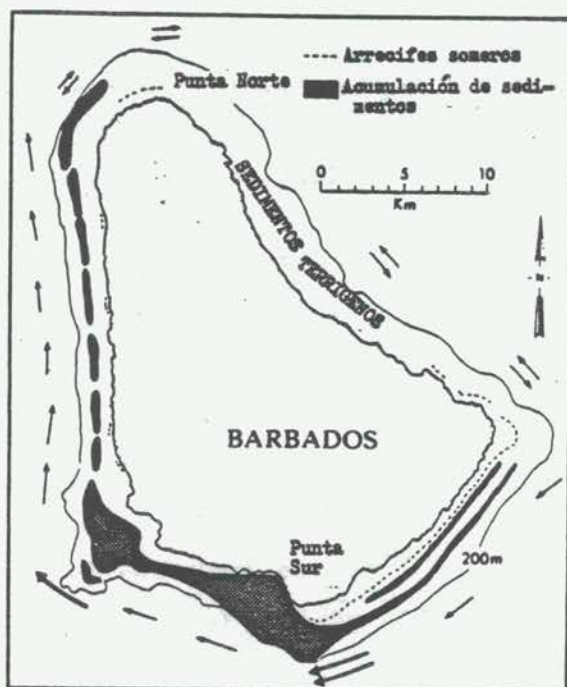


Figura 2.31 Direcciones del transporte de sedimentos cerca del litoral, arrecifes someros (líneas de puntos) y zonas de acumulación de sedimentos (en negro) (según Murray et al., 1977).

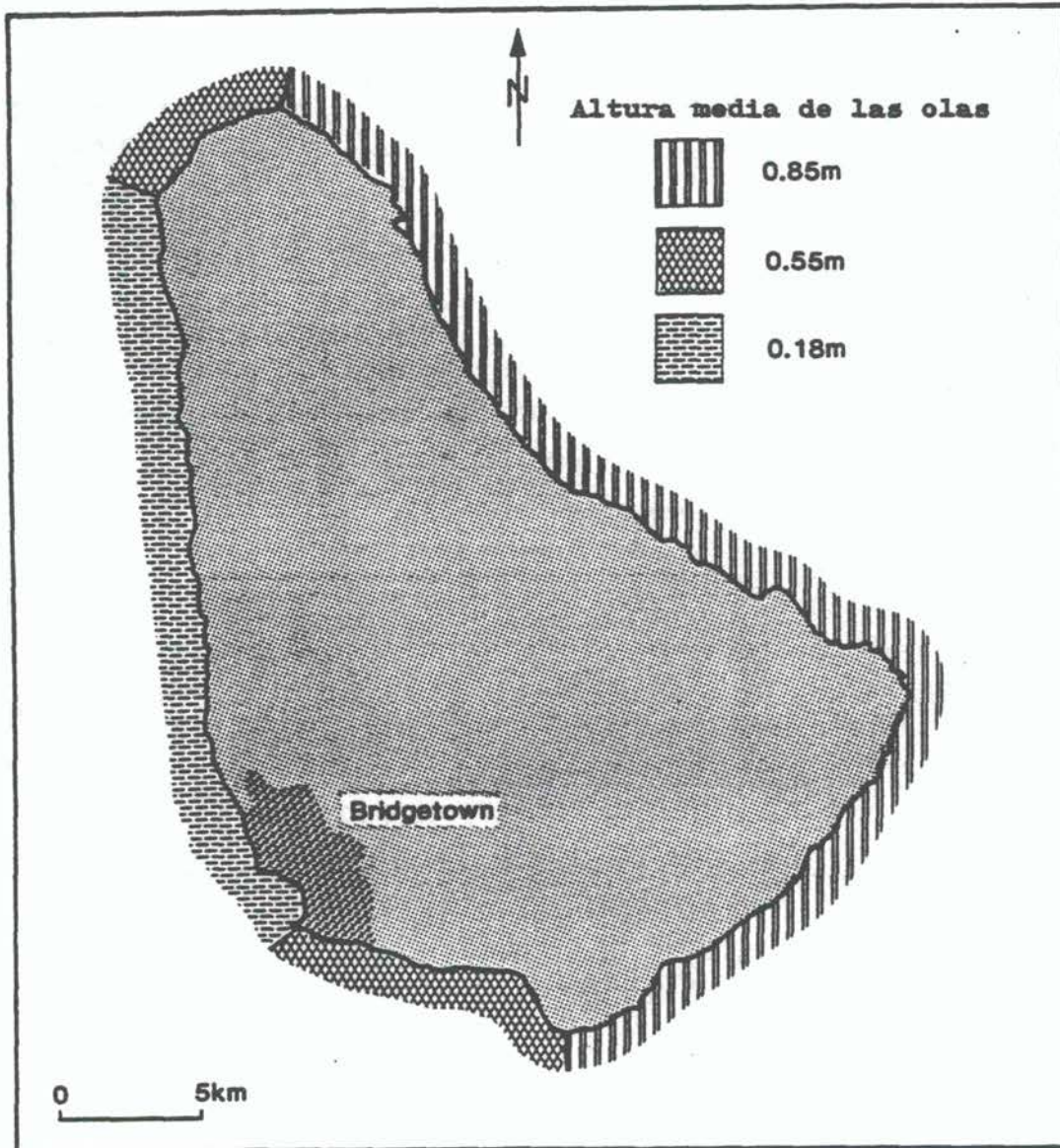


Figura 2.32 Altura media observada de la rompiente en mayo de 1979 (datos visuales: según Cambers, 1979a).

2.8.2 Gran Caimána) Geología y fisiografía de la roca basal

- La isla está situada sobre una cresta oceánica importante que se extiende hacia el suroeste desde Cuba; esta cresta es el borde septentrional de la profunda Fosa del Caimán (>7.500 m)
- la isla es un afloramiento de calizas terciarias; en la mitad occidental de la isla, las calizas están recubiertas en la mayor parte de las zonas por depósitos calcáreos pleistocenos poco consolidados
- el relieve es bajo (<20 m)
- la continuidad de la costa está interrumpida por una extensa bahía poco profunda (North Sound) en la mitad occidental de la isla (Fig. 2.33)

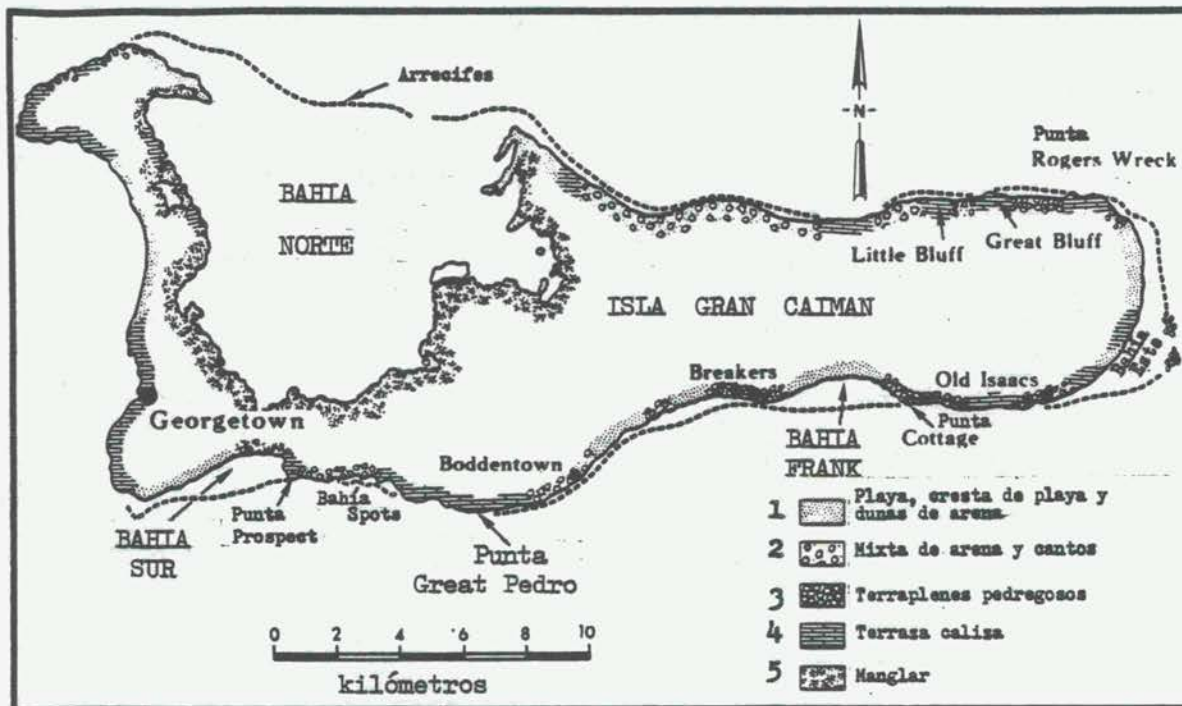


Figura 2.33 Tipos de línea litoral de Gran Caimán (según Rigby and Roberts, 1976).

b) Geología costera

- costa mixta de playas, afloramientos de roca basal y, en las zonas resguardadas, manglares (Fig. 2.33)
- los principales tipos de línea litoral son:
 - . manglar/turbera 37%
 - . acantilados y plataformas rocosos 33%
 - . playas de arena 24%
 - . roca de playa 6%
- los arrecifes marginales son comunes salvo en la costa occidental (Fig. 2.34) y están separados del litoral por lagunas someras (< 5 m)
- los sedimentos de playa proceden de la erosión de la roca basal y de los arrecifes prelitorales; la acción de las tormentas ha formado terraplenes pedregosos en algunas secciones de las costas expuestas (véase Fig. 2.7, p. 2.11)
- la roca de playa es muy común en la costa occidental y en algunos otros lugares
- en las Bahías del Norte y del Sur existen manglares, que han atrapado sedimentos fangosos de turba
- la morfología de los arrecifes varía considerablemente según la velocidad de la corriente y la exposición al oleaje (Roberts and Sneider, 1982) (Fig. 2.35, p.2.41)

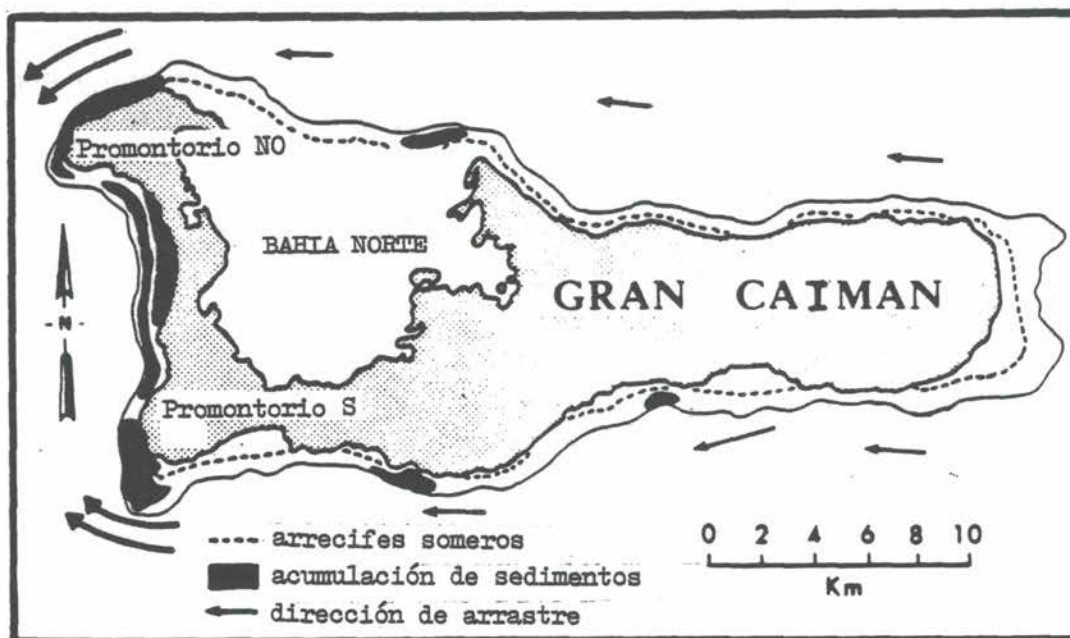


Figura 2.34 Distribución de las zonas de acumulación de sedimentos y de los arrecifes prelitorales; las flechas indican el régimen general de corrientes (según Murray et al., 1977).

c) Procesos costeros

- los vientos prevalecientes son los de dirección este a sureste, con breves periodos de vientos del norte-noroeste durante el invierno
- los huracanes son procesos poco frecuentes pero, sin embargo, importantes
- las olas son de generación local pues la isla está resguardada del mar de fondo del Atlántico; la dirección dominante de acercamiento de las olas varía del noreste al este-sureste durante la primavera cambiando a norte durante las tormentas invernales
- los niveles de energía del oleaje (a base de la media anual) son máximos en las costas que miran al este y mínimos en las que miran al oeste; sin embargo, se trata todavía en general de un ambiente resguardado de la acción de las olas cuyas alturas medias son por lo común del orden de 1,0 m y sus periodos de 6,0 s.
- los vientos del este predominantes producen corrientes de dirección oeste que determinan el régimen de sedimentación prelitoral alrededor de la isla (Fig. 2.34)
- la amplitud media de las mareas mixtas diurnas-semidiurnas es de 0,35 m con un máximo de 0,6 m; durante el paso de ondas sobre la isla en el invierno se producen algunos cambios en el nivel del mar debido a las mareas de tormenta

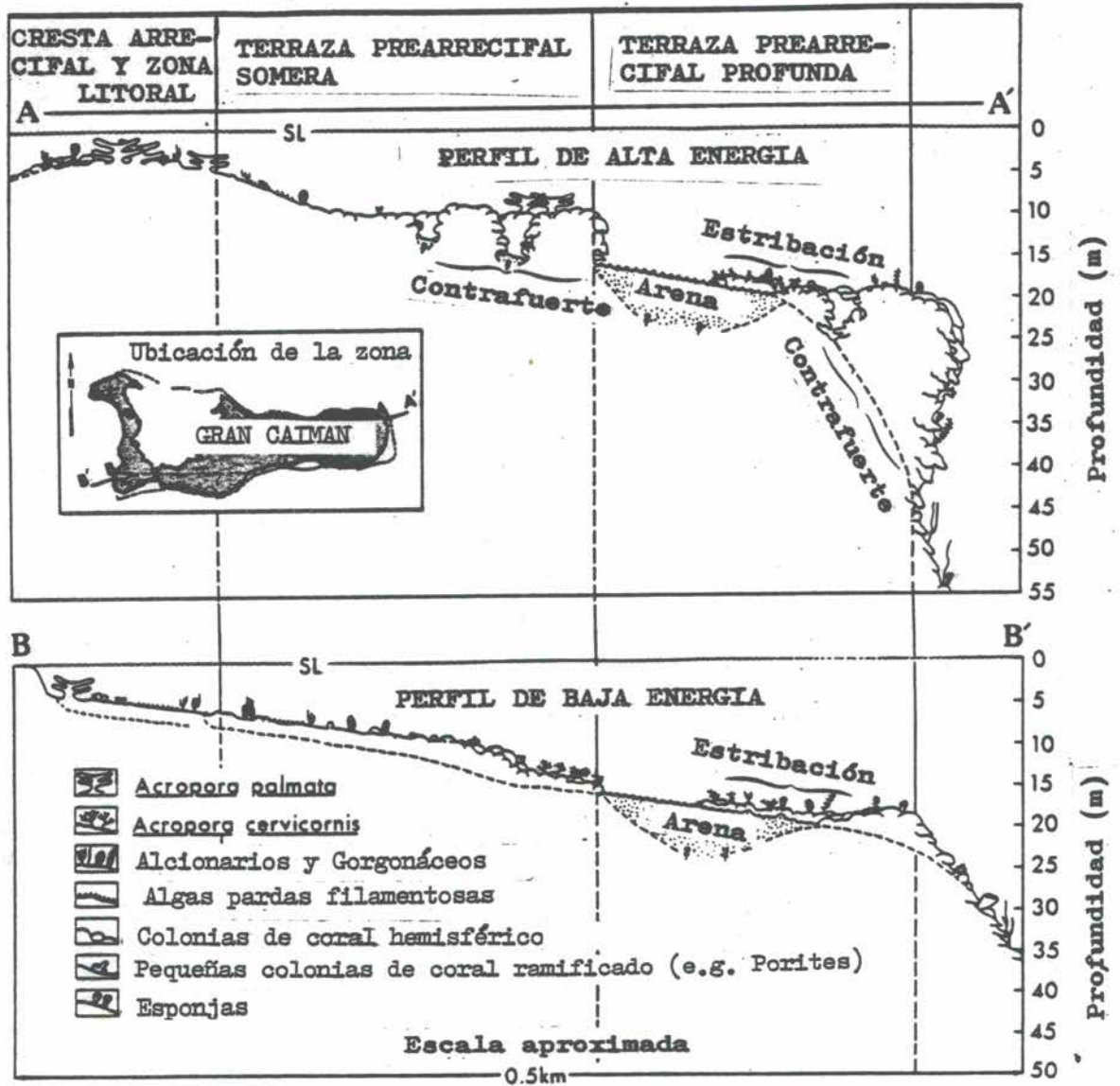


Figura 2.35 Perfiles de alta y baja energía (A-A' y B-B' respectivamente) de la plataforma continental de Gran Caimán en los sectores de cresta coralina y zona litoral, terraza precoralina somera y terraza precoralina profunda, indicando los contrafuertes coralinos, los pisos de arena y las estribaciones coralinas (según Roberts y Sneider, 1982).

2.9 Arrecifes y medios asociados

2.9.1 Introducción

Los sistemas de arrecifes coralinos son el rasgo costero individual más importante de la mayoría de las regiones tropicales. El crecimiento y la presencia de arrecifes ejerce un notable efecto sobre el carácter biológico y físico del medio ambiente prelitoral y antelitoral adyacente.

En las Secciones 2.4 a 2.6 se han dado breves descripciones de los tipos de línea litoral que existen en la región estudiada y en la Sección 2.7 se presentan los factores regionales que afectan al carácter del litoral. Con objeto de reunir tan variados componentes se describen sistemáticamente en esta sección los principales rasgos de un sistema de arrecifes. En la Figura 2.36 se representa una sección transversal típica desde el litoral hasta la plataforma para indicar la situación relativa de los rasgos componentes (véase también Fig. 2.35, p. 2.41).

Aunque esta sección contiene considerable detalle, puede encontrarse más información en varios informes (por ejemplo, Roberts and Snelder, 1982).

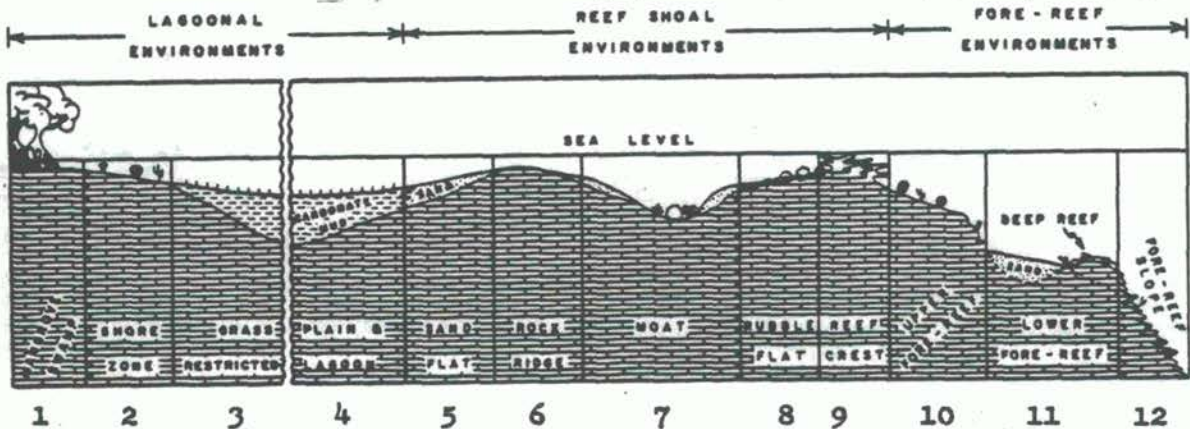


Figura 2.36 Perfil esquemático (no a escala) a través de la Bahía del Norte, la cresta de arrecifes marginales someros y la plataforma coralina prelitoral en Gran Caimán.

<u>Ambientes lagunares</u>	<u>Ambientes arrecifales</u>	<u>Ambientes prearrecifales</u>
1 Manglar	4 Llano o laguna con fango calizo	10 Prearrecife superior
2 Zona litoral	5 Banco de arena	11 Prearrecife inferior
3 Vegetación herbácea restringida	6 Cresta rocosa	12 Talud del prearrecife
	7 Foso	
	8 Banco detrítico	
	9 Cresta de arrecife	

2.9.2 Condiciones ambientales: los arrecifes como ecosistemas

a) Arrecifes y medios asociados

- los arrecifes constituyen estructuras rígidas, resistentes al oleaje, que modifican su medio físico creando así una gran variedad de ambientes sedimentarios asociados. La zonación de los arrecifes y la distinción ecológica entre arrecifes de alta energía y postarrecifes de baja energía son el resultado de esa capacidad para modificar el régimen de corrientes y de vientos
- la mayoría de los pólipos coralinos que son capaces de construir arrecifes viables se encuentran en las aguas tropicales, y cada cuenca oceánica tiene sus propios géneros y especies
- biológicamente, los arrecifes de coral son los ambientes más diversos y productivos de los mares actuales. También son importantes desde el punto de vista geológico porque forman la topografía del fondo del mar y son recursos renovables de sedimentos de carbonatos.

b) Los arrecifes dependen del crecimiento y el desarrollo de corales coloniales

Los géneros constructores de arrecifes están sujetos a controles ecológicos definidos:

- profundidad: la profundidad limitante del desarrollo de los corales formadores de arrecifes en la mayoría de los grandes océanos es de unos 100 m. Esta profundidad varía con la cantidad de sedimentos suspendidos en la columna de agua. Puesto que los pólipos coralígenos tienen algas simbióticas en sus tejidos, que contribuyen a los procesos metabólicos, la intensidad decreciente de la luz limita la fotosíntesis con la profundidad y, de este modo, la viabilidad del coral. En consecuencia, la profundidad sólo es un factor limitante porque la intensidad de la luz disminuye rápidamente con la profundidad
- temperatura: los pólipos coralígenos proliferan en las aguas tropicales cálidas. Su crecimiento óptimo es en las aguas comprendidas entre 25°C y 29°C. A temperaturas del agua inferiores a 16°C, la mayoría de los corales formadores de arrecifes son incapaces de alimentarse. La exposición prolongada por debajo de ese umbral crítico produce mortalidades en el coral. La tolerancia al agua fría varía de unas especies a otras, pero la mayoría de los corales de la provincia Caribe-Atlántica mueren a las pocas horas de exposición a aguas inferiores a 10°C. Las temperaturas máximas en la cima de los arrecifes ascienden a 39°C. La mayoría de las especies de aguas someras pueden sobrevivir a este límite

- salinidad: la tolerancia al cambio de salinidad es variable. la mayoría de los corales sobreviven mejor a las salinidades oceánicas normales. Sin embargo, una gran variedad de especies parecen capaces de sobrevivir entre valores extremos de 17,5 y 48 partes por mil
 - emersión: los pólipos típicos del ambiente superior del arrecife han adquirido tolerancia a la exposición a la atmósfera durante los periodos de bajamar del ciclo mareal, pero la mayoría de los pólipos de arrecife sólo soportan unos minutos de emersión
 - sedimentación: la sedimentación es un factor limitante del crecimiento de los arrecifes. Por ejemplo, después de un episodio tormentoso pueden depositarse sobre los corales cantidades importantes de sedimentos. Sin embargo, muchos corales tienen la capacidad de limpiarse a sí mismos. En consecuencia, esas especies pueden tolerar el depósito de sedimentos. Recientes investigaciones indican que los corales pueden resistir mucha más sedimentación de lo que anteriormente se creía
 - turbulencia del agua: la turbulencia inducida por las olas y las corrientes es importante en la medida en que su efecto físico directo influye en la morfología del coral y el acantilado. Biológicamente, la turbulencia es el medio de aportar suministros de agua de mar fresca a los arrecifes de coral, así como de eliminar los subproductos del metabolismo.
- c) Factores climáticos que influyen en los arrecifes y medios asociados
- los arrecifes se desarrollan en ambientes tropicales tanto húmedos como áridos en los que es corriente la interdigitación con fragmentos silíceos. Sin embargo, los sedimentos llegan a esos ambientes carbonatados desde las fuentes terrígenas de formas completamente distintas, según las condiciones climáticas
 - el aporte más o menos continuo de sedimentos terrígenos por los ríos es típico de los trópicos húmedos
 - el aporte periódico asociado a avenidas fluviales repentinas es típico de los ambientes áridos
 - la precipitación química de minerales evaporíticos tales como sal, yeso y anhidrita es típica de los ambientes costeros en los climas áridos. Por lo común, estos evaporitos no forman parte de la sucesión de facies que se encuentra en los trópicos húmedos

2.9.3 Ambientes sedimentarios de un complejo de arrecifes

2.9.3.1 Ambientes postarrecifales

El tipo de línea litoral detrás del arrecife depende de la continuidad de éste, de la anchura de la laguna costera, de la arquitectura del sustrato en el caso de los sedimentos holocénicos, del relieve della masa continental adyacente y del clima.

a) Líneas costeras de baja energía

- bancos de marea: estas líneas litorales fangosas se forman típicamente en los lados resguardados de las islas sobre vastas plataformas de carbonatos (por ejemplo, en el sotavento de Andros y otras islas de las Bahamas) o a lo largo de líneas costeras de bajo relieve (costa occidental del Golfo Pérsico). Los fangos de carbonatos de grano fino proceden de la vasta plataforma somera situada enfrente de los bancos. Por lo común los arrecifes están situados lejos del litoral o son de construcción discontinua
- manglares: en los trópicos húmedos, una vegetación tolerante a la sal, predominantemente mangles, puede ocupar la línea litoral de baja energía reservada a los bancos de marea en los ambientes áridos. Los pantanos costeros de mangles son biológicamente importantes porque funcionan como criaderos para numerosas formas de seres marinos que habitan otros ambientes en su fase adulta. Además, los manglares exportan detritos orgánicos a los medios circundantes. Esta materia orgánica constituye una fuente de alimento para los organismos que forman los eslabones inferiores de la cadena alimentaria. Desde el punto de vista geológico, los manglares son importantes porque estabilizan el sustrato y pueden crear realmente topografía. La producción orgánica en los manglares es tan grande que pueden formarse espesas turberas. Los mangles que poseen raíces de apuntalamiento (mangles rojos) son los productores más importantes de turba ; sus raíces pueden penetrar hasta 5 m por debajo de la interfase sedimentos-agua.

b) Líneas litorales de alta energía

- playas: cuando la laguna situada detrás del arrecife es estrecha y existe un suministro de sedimentos gruesos a la costa, se forman playas. Las olas normales necesarias para mantener estas playas penetran en la laguna por los canales de marea existentes entre los tramos del arrecife y por encima de éste en la pleamar (si la geometría del arrecife es irregular)

favorable), Las olas de tormenta rebasan el arrecife como resultado de la subida del nivel del agua. Por lo común se forman dunas en las playas donde el aporte de sedimentos es suficiente.

- playas pedregosas y crestas costeras: si el arrecife está próximo al litoral se forman playas pedregosas y crestas costeras compuestas de derrubios coralinos gruesos en los lados de tormenta de las islas y los sistemas de arrecifes. Los estudios realizados demuestran que han sido transportados corales vivos hasta esos medios subaéreos desde profundidades de 15 m en la plataforma prearrecifal.

c) Laguna

Las corrientes y las olas que existen típicamente en este medio son insuficientes para transportar partículas del tamaño de arena. Las olas oceánicas son filtradas por el arrecife, dejando olas locales de baja energía impulsadas por el viento en el postarrecife. La circulación está forzada por el bombeo de las mareas, el movimiento del agua producido por las olas sobre el arrecife y el empuje del viento local.

Como resultado de la escasa energía física de este ambiente, las lagunas postarrecifales suelen ser lugares de acumulación de sedimentos de carbonatos de grano fino. Aunque algunos sedimentos finos procedentes de la desintegración del arrecife contribuyen a esta acumulación, la mayor parte de las partículas sedimentarias se producen in situ. El resultado final es un sedimento bimodal compuesto de partículas gruesas que flotan en una matriz de fango de carbonatos. Las partículas gruesas proceden de la desintegración de conchas de moluscos, algas verdes calcáreas (Halimeda) y grandes foraminíferos. La fracción de grano fino procede principalmente de las algas verdes calcáreas. Debido a la intensa bioturbiedad, las estructuras sedimentarias iniciales son rápidamente obliteradas y los sedimentos aparecen moteados.

Desde el punto de vista biológico, las lagunas postarrecifales pueden ser zonas muy productivas. Una densa alfombra de hierba de la tortuga (Thalassia testudinum), que sirve para estabilizar esos sedimentos del fondo, es típica de este ambiente. El crecimiento epifítico de una biota productora de carbonato sobre las hojas de la Thalassia contribuye considerablemente a la fracción fangosa de los sedimentos.

2.9.3.2 Ambientes arrecifales

- capa de arena: detrás de cada arrecife lineal existe un depósito grueso compuesto predominantemente de granos del tamaño de arena. Este material procede del arrecife y se esparce por el postarrecife durante los grandes episodios tormentosos. Aunque las corrientes ascendentes creadas por la ruptura de las olas normales en la cresta del arrecife pueden transportar partículas del tamaño de arena y mayores a corta distancia, la formación de una ancha capa de arena en el postarrecife requiere olas y corrientes de tormenta. Esta capa de arena y sus bancos asociados, que se forman corrientemente en el lado opuesto a los pasos de marea, puede extenderse varios kilómetros dentro de la laguna. Todo el cinturón de arena corre paralelo al arrecife. Por regla general, este delantal de arena está compuesto de partículas relativamente bien clasificadas con un contenido muy bajo de carbonatos del tamaño de cieno y arcilla. Las corrientes de marea y el flujo que rebasa el arrecife, en conjunción con la actividad del oleaje y de los seres vivos, clasifican estos depósitos. Las elevaciones topográficas, tales como las barras y bajos de marea, están especialmente limpias y bien clasificadas. A diferencia de los detritos gruesos de la laguna, la capa de arena se compone primordialmente de fragmentos de coral y de algas coralinas. En general, el cambio de facies desde las arenas de este ambiente sedimentario hasta las arenas fangosas y los fangos de la laguna es muy pronunciado
- foso: en el sotavento inmediato de muchos arrecifes lineales hay una especie de canal que funciona como un conducto para el intercambio de las aguas impulsadas por la marea entre la laguna y la plataforma abierta. Estos canales, que se llaman corrientemente fosos, conectan con brechas bien definidas del arrecife lineal, que son puntos de intercambio entre el postarrecife y el prearrecife. En los fosos prolifera una comunidad coralina formada por grandes montones de Montastrea annularis y espesuras de Acropora palmata. Ambos tipos de coral prefieren los medios resguardados de las olas pero pueden sobrevivir perfectamente en un régimen de corrientes fuertes. El fondo del foso se compone de arena rica en coral procedente del arrecife. Durante el reflujó de la marea alta, estos sedimentos son transportados a la plataforma del

arrecife a través de los pasos de marea

- banco de detritos: inmediatamente detrás del arrecife lineal vivo hay un depósito de material grueso derivado de la desintegración de las colonias de coral en la cresta del arrecife. Numerosos organismos perforadores, con inclusión de esponjas, bivalvos, gusanos y algas, debilitan las colonias de coral, especialmente las variedades ramificadas tales como Acropora palmata. Las olas de tormenta rompen las colonias debilitadas y transportan los fragmentos en dirección a la laguna gracias a las corrientes ascendentes que se forman en el proceso de ruptura de las olas sobre la cresta del arrecife. Este delantal de derrubios coralinos corre paralelo al arrecife y es una zona de transición hacia la laguna con la capa de arena. La cementación biológica y química estabiliza rápidamente los detritos convirtiéndolos en una parte consolidada del "arrecife geológico"
- arrecife: un arrecife de coral vivo es una de los medios biológicos más diversos y productivos de los mares modernos. Geológicamente, esta comunidad de corales, algas coralinas y otros organismos accesorios funciona como un recurso renovable de partículas para otros ambientes sedimentarios.

Los arrecifes lineales poco profundos actúan como filtros de la energía de las olas y las corrientes entre el ambiente oceánico del prearrecife y los tranquilos ambientes postarrecifales. Esta modificación de la energía dirigida hacia el litoral da lugar a transiciones bastante abruptas de los depósitos de "alta energía" a los de "baja energía" (cambios de facies). Los experimentos realizados demuestran que en las condiciones normales de olas levantadas por los vientos alisios, la mayoría de los arrecifes marginales y de los arrecifes de barrera absorben el 70-98% de la energía de las olas incidentes antes de que lleguen al postarrecife. En este proceso se forman fuertes pero breves corrientes ascendentes que son capaces de transportar partículas del tamaño de arena y mayores.

La producción de carbonato en un arrecife somero es tan abundante que la estructura coralina quedaría enterrada en sus propios detritos si los episodios de alta energía no empujaran grandes cantidades a los medios postarrecifales, alimentando así de sedimentos el banco detrítico y la capa de arena.

2.9.3.3 Plataforma prearrecifal

Generalmente, en el lado que mira al mar de los arrecifes lineales bien desarrollados que rodean las islas existe una estrecha plataforma que, a veces, es topográficamente compleja. A lo largo de las costas continentales puede haber una gran distancia entre el arrecife y el borde de la plataforma. El rápido aumento de la profundidad del agua sobre la plataforma prearrecifal produce cambios en las comunidades coralinas debido a la disminución de la intensidad de la luz y la energía de las olas.

El borde de las plataformas es por lo común un lugar de crecimiento floreciente del arrecife y de una extraordinaria topografía. El borde de las plataformas arrecifales suele tener detrás gruesas cuñas de sedimentos atrapados. Los surcos bien definidos que atraviesan el borde de la plataforma arrecifal funcionan como vías para el transporte de sedimentos hacia el exterior de la plataforma. El borde de la plataforma prearrecifal está generalmente definido por un talud muy inclinado o vertical que desciende hasta aguas muy profundas.

HIDROCARBUROS Y CONTAMINACION POR
HIDROCARBUROS

3.0 LOS HIDROCARBUROS Y EL MEDIO AMBIENTE

3.1 Fuentes de la contaminación del mar por hidrocarburos

- el petróleo que llega a la costa puede proceder de:
 - . infiltraciones naturales
 - . derrames accidentales (durante las operaciones de carga y descarga)
 - . derrames operacionales (por ejemplo, lavado de tanques, lastre sucio o sala de máquinas)
 - . accidentes marítimos (varada, abordaje)
- el Mar Caribe es una importante arteria de transporte marítimo por lo que hay un gran riesgo de derrame de petróleo en el mar
- el petróleo bruto se envía a la zona para su refinación y redistribución o la atraviesa en ruta hacia Norteamérica
- se calcula que cada día pasan por la zona del Caribe 4,7 millones de barriles de petróleo (1700 millones de barriles o 250 millones de toneladas cada año)
- todos los días transitan por la región unos 25 grandes petroleros y unos 75 buques tanque medianos o pequeños cargados (sin incluir los buques tanque de cabotaje ni los buques alijadores)
- dado el régimen de tráfico y el gran volumen de petróleo en tránsito por la región es de esperar que en cualquier momento se produzcan en ella derrames accidentales (grandes) u operacionales y se depositen conglomerados de alquitrán en las playas
- los riesgos de contaminación son grandes en algunos de los canales (por ejemplo, el Paso de Barlovento o el acceso al Lago Maracaibo) y en las grandes refinerías costeras adyacentes
- ya han ocurrido varios importantes derrames a causa de accidentes marítimos en la región:

1973 - Zoe Colotroni	37.000 bl
1978 - Peck Slip	462.000 gal
1979 - Aegean Captain/Atlantic Empress	? 500.000 t
1980 - Princess Anne Marie	7.000 t

3.2 Naturaleza de los hidrocarburos

- el petróleo y sus derivados existen en una gran variedad de formas con propiedades físicas y químicas muy diferentes (por ejemplo, gasolina de aviación, combustible para calderas, asfalto)
- las propiedades físicas más importantes del petróleo son:
 - i) punto de ebullición: temperatura a la que se evaporan las fracciones del petróleo
 - ii) punto de inflamación: temperatura mínima a la que se inflaman las fracciones del petróleo
 - iii) punto de fluidez: temperatura por debajo de la cual no fluye el petróleo
 - iv) tensión superficial: indica la extensibilidad de los petróleos de baja viscosidad
 - v) viscosidad: resistencia del petróleo a fluir, y
 - vi) peso específico: densidad relativa del petróleo
- después de un derrame, las propiedades físicas y químicas del petróleo cambian continuamente a medida que éste sufre el transporte y la meteorización (o degradación) por los procesos naturales (Fig. 3.1)

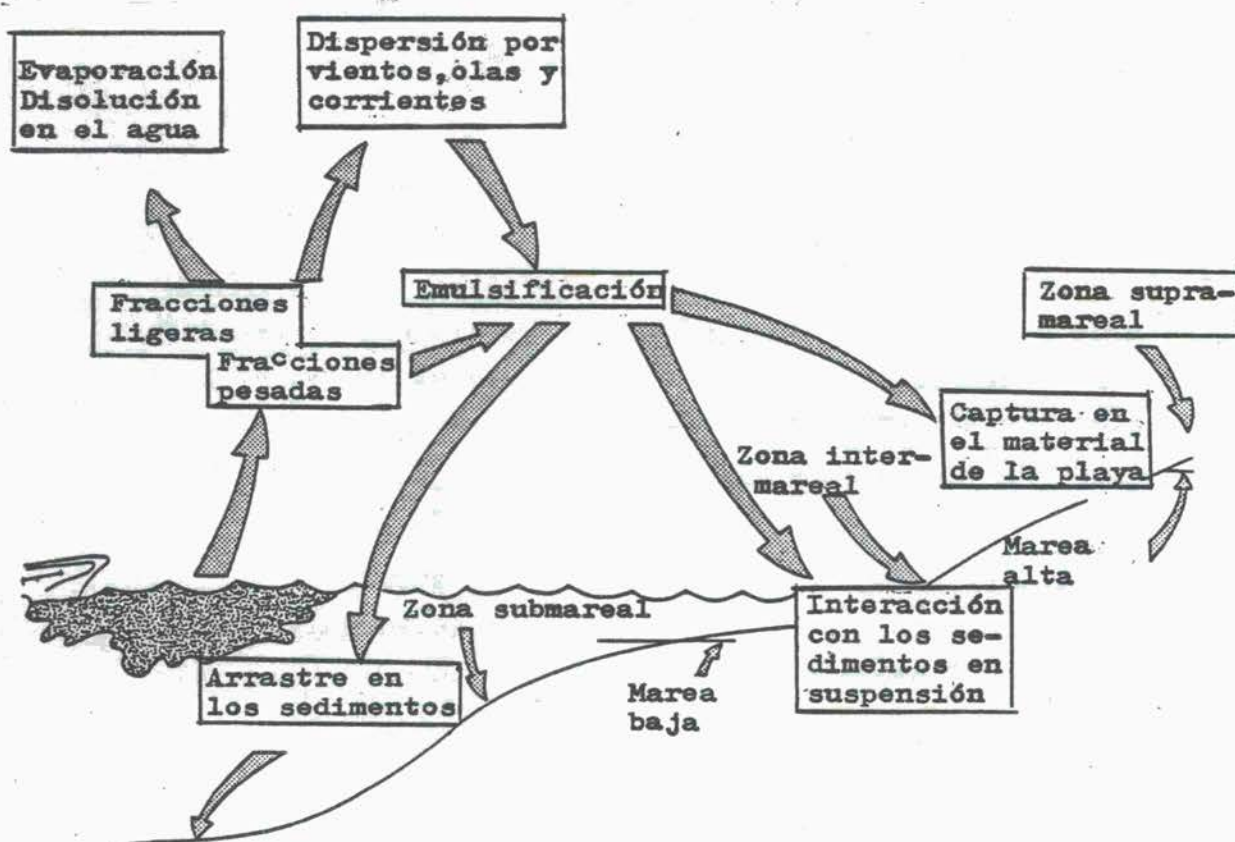


Figura 3.1 Componentes del balance de masa del petróleo derramado (según Wheeler, 1978)

- estos cambios son más rápidos inmediatamente después del derrame pues las fracciones ligeras se separan, principalmente por evaporación (Fig. 3.2)
- como resultado de la pérdida de las fracciones ligeras, el petróleo se altera convirtiéndose en una sustancia más persistente y menos fluida
- por la acción mezcladora de las olas puede formarse una emulsión ("crema de chocolate")
- el petróleo puede extenderse formando una capa muy fina sobre la superficie del agua, volviendo a convertirse en una mancha gruesa cuando se acumula cerca de la costa o contra una barrera
- el movimiento del petróleo sobre la superficie del agua está determinado principalmente por los vientos, aunque las corrientes marinas superficiales pueden también influir en la dirección y la velocidad del movimiento (véase Sección 3.3)
- la degradación del petróleo es función de los efectos que producen los aportes de energía térmica, mecánica y bioquímica
- los procesos de degradación o meteorización ocurren a distintas escalas de tiempo: inicialmente, la extensión (bajo la influencia de la gravedad y las acciones químicas de superficie) es rápida e inmediata; la evaporación de las fracciones ligeras sólo suele ser un proceso dominante durante el primero o los dos primeros días siguientes a la exposición del petróleo (Fig. 3.2)

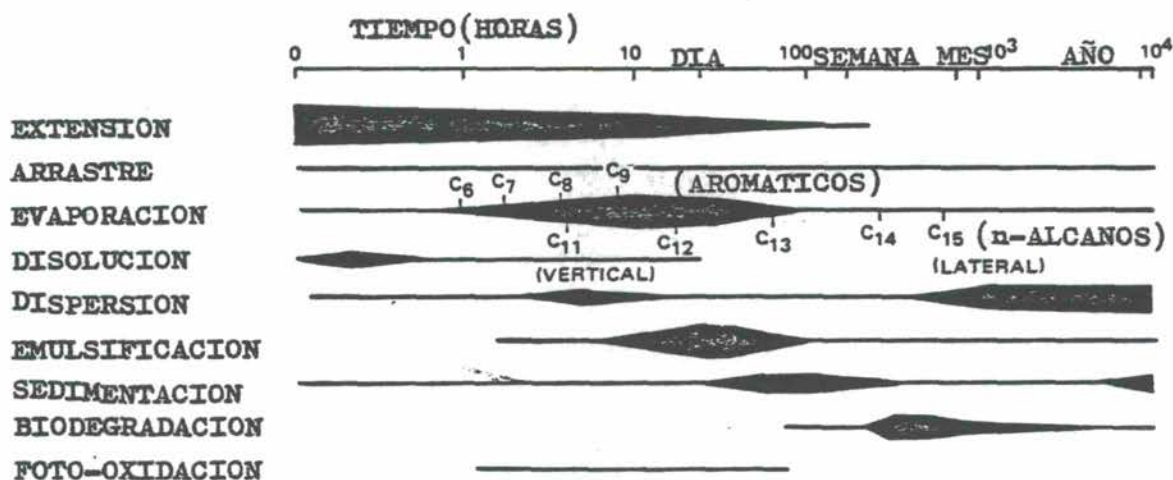


Figura 3.2 Duración(en horas) de los procesos físico-químicos de la degradación del petróleo (según Wheeler, 1978).

3.3 Movimiento de los hidrocarburos en el mar

- el movimiento de las manchas de petróleo sobre la superficie está determinada principalmente por las corrientes marinas o por los vientos locales si la velocidad de éstos es superior a la de aquéllas
- los cambios en la dirección del viento o la entrada del petróleo en una corriente distinta producen un cambio en la dirección del movimiento del petróleo
- la velocidad de la mancha suele ser del 3 al 5% de la velocidad del viento y las manchas suelen moverse con un ángulo de 10-40° a la derecha del viento
- el petróleo derramado en una zona costera (50 km del litoral) será probablemente arrastrado hacia tierra por la brisa marina pues los vientos que soplan hacia la costa son más fuertes y duraderos que los que soplan hacia el mar (Hsu, 1970), excepto donde los vientos regionales contrarrestan al régimen de la circulación local
- los sistemas meteorizantes de menor tamaño que una mancha de petróleo tienden a dispersarla, mientras que los sistemas meteorizantes de mayor tamaño que la mancha tienden a concentrarla; por consiguiente, cuanto mayor es la mancha mayor es el potencial de dispersión (Murray, 1982)
- el petróleo derramado en el cinturón de los vientos alisios tenderá a producir una mancha mayor debido a las direcciones relativamente constantes del viento características de esa zona (Murray, 1982)
- en la Figura 3.3 se representa un modelo general del comportamiento y el crecimiento de las manchas en relación con los procesos oceanográficos y meteorológicos físicos
- el comportamiento de la mancha debe considerarse tanto en función de los procesos de meteorización como de las fuerzas que transportan el petróleo; por ejemplo, un petróleo ligero volátil puede evaporarse totalmente en pocas horas, mientras que los conglomerados de alquitrán, que son un producto residual de la meteorización, pueden persistir durante meses o años (se han encontrado algunos conglomerados de alquitrán en los que habían crecido seres marinos)
- la acción del oleaje en la zona litoral produce la disgregación de la mancha y puede dar lugar a la formación de una emulsión
- los movimientos del agua en la zona prelitoral, asociados a la acción del oleaje, desempeñan un papel importante en la distribución y el movimiento locales del petróleo (por ejemplo, en las costas rocosas abruptas, las olas reflejadas por los acantilados pueden impedir el encallamiento del petróleo)

- los grandes aportes de agua dulce al mar a causa de una intensa lluvia o de un caudal fluvial pueden servir de barreras contra la migración de la mancha hacia la costa
- incluso en una misma región, tal como el Mar Caribe, puede existir una gran variabilidad en los procesos físicos locales; deberían hacerse estudios exploratorios en las zonas sensibles que son vulnerables al movimiento de las manchas

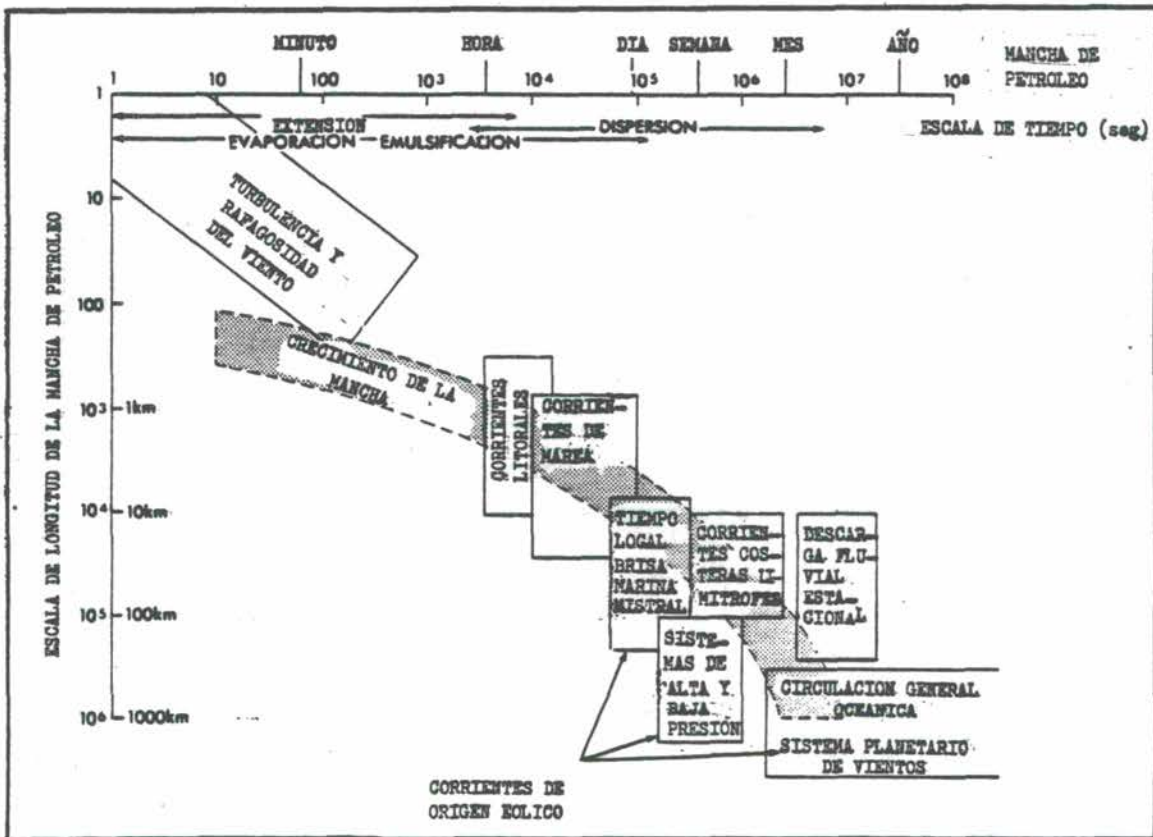


Figura 3.3 Crecimiento de las manchas de petróleo en relación con los procesos oceanográficos y meteorológicos físicos (según Murray, 1982).

3.4 Persistencia de los hidrocarburos

- el tiempo de residencia del petróleo varado depende primordialmente:
 - . de las propiedades físicas y químicas del petróleo
 - . del volumen del petróleo
 - . del espesor de la capa de petróleo
 - . de la profundidad de penetración o sepultamiento en los sedimentos
 - . de la temperatura ambiente del aire
 - . de la ubicación del petróleo depositado
 - . de los niveles de energía de las olas en el litoral
- el factor individual más importante de la persistencia del petróleo en la zona litoral es el nivel de energía mecánica (oleaje) que puede actuar sobre el petróleo; a medida que esa energía aumenta disminuye el tiempo de residencia (o persistencia) del petróleo varado (Fig. 3.4)
- la degradación biológica del petróleo varado es un proceso lento y sólo tiene importancia cuando el petróleo se deposita por encima del límite de acción del oleaje (por ejemplo, durante un periodo de marea de tormenta)
- en las costas insulares, los niveles de energía del oleaje varían considerablemente en función de la exposición a la dirección de aproximación de las olas dominantes y de la presencia de arrecifes en las aguas prelitorales adyacentes
- el petróleo tiende a acumularse en las secciones resguardadas de la costa, donde los niveles de energía mecánica suelen ser más bajos
- la redistribución del petróleo varado depende también de la intensidad de los cambios en la línea litoral (por ejemplo, la remoción normal de los sedimentos de la playa por las olas o el retroceso de la costa)
- durante los periodos de actividad de olas de tormenta puede ocurrir el sepultamiento o la erosión del petróleo; cuando éste queda sepultado es poco probable que sufra una nueva degradación hasta que vuelva a quedar expuesto por la remoción ulterior de los sedimentos
- es sabido que una alta temperatura ambiente y la luz solar producen la extracción de agua de una emulsión varada durante el reflujó de la marea; esto desestabiliza la emulsión y puede hacer que el petróleo penetre luego en los sedimentos

FACTORES DE PERSISTENCIA DEL PETROLEO VARADO

TIPOS DE PETROLEO	ESPESOR SOBRE LA SUPERFICIE	PROFUNDIDAD DE PENETRACION	NIVEL DE ENERGIA DE LAS OLAS	TEMPERATURA DEL AIRE	PERSISTENCIA CRECIENTE	PERSISTENCIA ESPERADA
Ligero Volátil	Muy fino (< 1,0 cm)	Todo el petróleo en la superficie	Alto Costa resguardada	Alta (> 25°C)		↓
Alquitranoso	Grueso (10,0cm)	Todo el petróleo sepultado	Bajo Costa resguardada	Baja (< 0°C)	Décadas	

FETCH	EXPOSICION COSTERA	AMPLITUD DE LA MAREA	ARRECIFE MAR ADENTRO	NIVEL DE ENERGIA
Largo (> 200km)	Recta (Abierta)	Pequeña (< 1 m)	Ausente	Alto
↓	↓	↓	↓	↓
Corto (< 50 km)	Dentada (Resguardada)	Grande (> 3 m)	Presente	Bajo

Figura 3.4 Nivel de energía de la línea costera y persistencia del petróleo varado (adaptada de Owens, 1977).

**TABLA 3.1 FACTORES QUE ALTERAN EL TIEMPO DE RESIDENCIA (PERSISTENCIA)
DEL PETROLEO VARADO**

Factores que REDUCEN el impacto y AUMENTAN la disgregación y degradación físicas del petróleo

Factores que AUMENTAN el impacto y REDUCEN la disgregación y degradación físicas del petróleo

Olas

- niveles de energía crecientes
- mezclan o disgregan el petróleo en la rompiente, la resaca y la zona de inundación
- utilizan los sedimentos como instrumentos abrasivos
- redistribuyen y erosionan el petróleo en el litoral
- las olas reflejadas mezclan o disgregan el petróleo y pueden impedir que alcance el litoral

Olas

- niveles de energía decrecientes
- sepultan el petróleo por acreción de la playa o por migración de sedimentos a lo largo el litoral
- reducen la temperatura del petróleo
- arrojan el petróleo por encima del nivel normal de actividad de las olas por la acción de salpicadura de la rompiente

Mareas

- los niveles de bajamar producen la deposición del petróleo en secciones que estarán luego sometidas a la acción de las olas o las corrientes

Mareas

- los niveles de pleamar producen la deposición del petróleo por encima de los límites normales de acción de las olas o las corrientes
- el petróleo puede ser transportado a la superficie de las marismas

Vientos

- aumentan la velocidad de evaporación
- aumentan la dispersión y extensión de las manchas superficiales

Vientos

- redistribuyen los sedimentos y sepultan el petróleo en el postlitoral
- producen mareas de tormenta que depositan el petróleo en las lagunas (por desbordamiento) o en el postlitoral
- los vientos que soplan hacia tierra retienen el petróleo en la costa durante la subida de la marea, con lo que la deposición del petróleo tiene lugar por encima del nivel de actividad normal de las olas cuando descienden las aguas

Corrientes

- aumentan la dispersión del petróleo en el agua
- transportan el petróleo mar adentro-

Corrientes

- concentran el petróleo en los remolinos y otras zonas de poca corriente
- transportan el petróleo a zonas no afectadas previamente

- el petróleo que llega a la costa en los momentos de niveles de agua altos (mareas de tormenta o mareas vivas) puede quedar depositado por encima del límite normal de actividad de las olas
- el petróleo que llega a la costa durante un periodo de niveles "normales" de agua producirá un impacto diferente en los manglares y las marismas que el del petróleo depositado en los momentos de niveles de agua altos
- el petróleo puede quedar sepultado por los sedimentos transportados hacia la costa después de un periodo de erosión por olas de tormenta (Fig.3.5) o por el transporte de sedimentos a lo largo del litoral
- el petróleo tiende a acumularse en los ambientes resguardados, donde su impacto biológico es más grave y los procesos de la meteorización natural más lentos
- en las playas de grava, el petróleo se mezcla frecuentemente con los sedimentos formando un pavimento de asfalto resistente

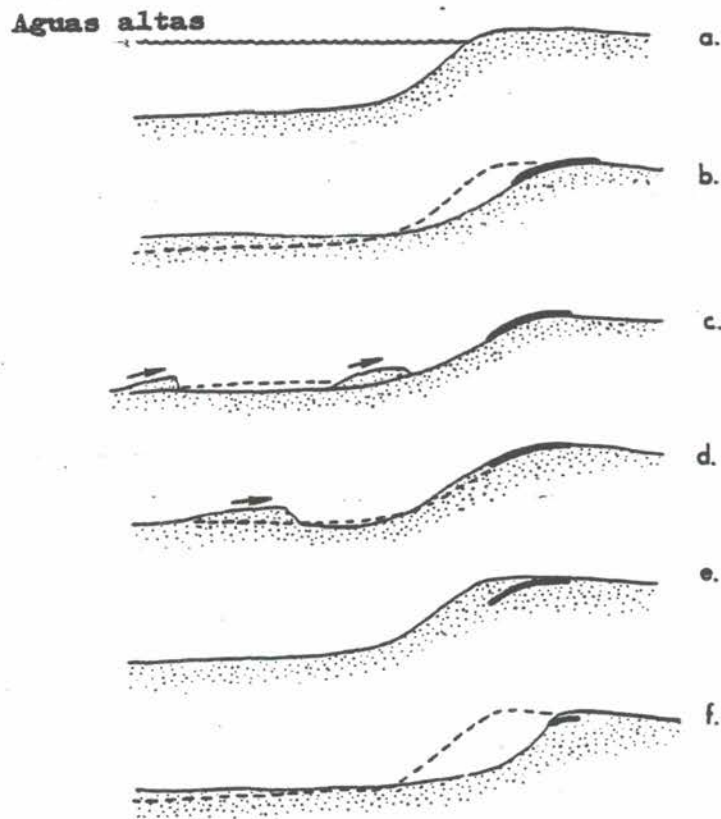


Figura 3.5 Sucesión de erosión tormentosa y deposición de petróleo (b); sepultamiento (d) y (e); y exposición después de una segunda tormenta (f) en una playa de arena (según Owens, 1977); véase también Fig. 2.2, p.2.3.

3.5 "Sensibilidad" de la zona costera

- los efectos (o el impacto) del petróleo varado suelen juzgarse por el grado de alteración causado en el ambiente natural
- el grado de alteración del medio por el petróleo depende de una gran variedad de factores (véase Fig. 3.6)

IMPACTO DEL PETROLEO $\xrightarrow{\text{en la}}$ ZONA LITORAL $\xrightarrow{\text{determina el}}$ GRADO DE SENSIBILIDAD VARADO



Figura 3.6 Factores que determinan el grado de sensibilidad del litoral

- el petróleo que reside en la zona litoral durante largos periodos de tiempo producirá un impacto mayor que el petróleo que es rápidamente dispersado por los procesos naturales (Tabla 3.2)
- el tiempo de recuperación de una especie o de las actividades humanas es un factor importante en los estudios de evaluación del impacto
- el momento en que ocurre un derrame suele ser importante, ya que su impacto sobre el medio biológico o las actividades humanas depende con frecuencia de la estación
- la simple definición de los caracteres físicos de los hábitats costeros no ofrece una base suficiente para la evaluación del impacto, pues ello presupone que los impactos son semejantes para tipos de líneas costeras semejantes
- la sensibilidad puede variar según la viabilidad y la eficacia de las operaciones de limpieza; si la zona litoral puede restaurarse, el impacto del petróleo puede reducirse considerablemente

- el factor individual más importante para la evaluación del impacto sobre la costa está relacionado con las actividades humanas y con los parámetros referentes a la subsistencia del hombre y a la utilización de la zona litoral con fines comerciales o recreativos
- aunque puede obtenerse una gran cantidad de información pertinente sobre las amenazas o impactos potenciales antes de un derrame incidental sigue siendo necesario determinar, mediante operaciones de vigilancia y comprobación sobre el terreno, si efectivamente es real esa amenaza en el momento mismo del derrame (por ejemplo, la presencia o los movimientos previsibles de especies migratorias)
- en la región del Caribe, la zona costera tienen una importancia vital para las actividades locales de subsistencia, comercio y recreo; además de los efectos directos del petróleo sobre el uso de la playa con fines recreativos deben examinarse cuidadosamente los posibles efectos secundarios del petróleo sobre los hábitats de desove, en particular los manglares, para tener la seguridad de que se consideran los factores más críticos (y a largo plazo)
- los efectos del petróleo sobre las actividades recreativas son evidentes en el caso de un gran derrame, mientras que la contaminación por conglomerados de alquitrán es muy corriente y tiene un impacto relativamente pequeño sobre el recreo, de modo que el tipo y la intensidad de la contaminación son importantes factores en todo análisis de sensibilidad

Definiciones:

- la sensibilidad de la línea litoral es el efecto del petróleo sobre un recurso (humano o biológico) y la capacidad de recuperación de ese recurso
- la vulnerabilidad de la línea litoral es el efecto perjudicial que podría producirse si el petróleo entra en contacto con un recurso
- el riesgo de derrame de petróleo en la línea litoral es la probabilidad de que ocurra un derrame y de que entre en contacto con un recurso
- la persistencia del petróleo es el tiempo de residencia del petróleo en una localidad particular

TABLA 3.2 IMPACTO Y PERSISTENCIA DEL PETROLEO VARADO

TIPO DE LINEA LITORAL	IMPACTO DEL PETROLEO	PERSISTENCIA DEL PETROLEO
<u>Costas sin sedimentos</u>		
ROCA, ARTIFICIAL	<ul style="list-style-type: none"> - el petróleo puede ser reflejado - recubre las superficies secas expuestas - las salpicaduras de las olas pueden arrojar el petróleo por encima de los límites normales de acción del oleaje - el petróleo no se adhiere fácilmente a las superficies mojadas - el espesor de la capa de petróleo disminuye a medida que aumenta el declive - el petróleo se acumula en los charcos de las rocas 	<ul style="list-style-type: none"> - el petróleo es disgregado fácilmente si se deposita por debajo del límite normal de acción de las olas, excepto en los lugares resguardados
<u>Costas con sedimentos</u>		
FANGO	<ul style="list-style-type: none"> - las partículas de fango dejan entre ellas espacios muy pequeños que suelen estar llenos de agua, por lo que sólo pueden penetrar en el fango las calidades de petróleo muy ligeras 	<ul style="list-style-type: none"> - los fangos son fácilmente transportados por las olas, de modo que el petróleo puede ser sepultado - el petróleo sepultado se degrada muy lentamente en el fango - el petróleo superficial puede ser fácilmente eliminado por las olas ya que el agua suele separar el petróleo del fango
ARENA	<ul style="list-style-type: none"> - sólo los petróleos ligeros pueden penetrar en la arena - los petróleos pesados rara vez penetran más de 2 o 3 cm - las profundidades de penetración son mayores durante los períodos de altas temperaturas - el petróleo suele depositarse en el límite superior de acción de las olas 	<ul style="list-style-type: none"> - el petróleo puede ser fácilmente disgregado si no es sepultado y se encuentra en la zona de acción de las olas - la posibilidad de que el petróleo sea sepultado es grande si la playa está sometida a la acción de las olas durante las tormentas - el petróleo y los sedimentos pueden formar un "pavimento de asfalto", lo que aumenta la persistencia del petróleo

**CANTOS
PEQUEÑOS,
MEDIANOS Y
GRANDES**

- a medida que aumenta el tamaño de grano de los sedimentos, aumenta la profundidad de penetración de todos los petróleos
- la penetración de los petróleos medios y pesados puede ser hasta de 1,0 m
- las calidades de petróleo ligeras pueden ser eliminadas de las playas por la acción de lavado de las olas
- el petróleo sepultado y los "pavimentos de asfalto" son muy persistentes
- el petróleo superficial es fácilmente disgregado por las olas y los sedimentos en movimiento

**SEDIMENTOS
MIXTOS**

- los espacios que dejan entre sí las partículas de mayor tamaño se llenan con sedimentos más pequeños, debido a lo cual rara vez penetran en ellos los petróleos (excepto las calidades ligeras)
- estos sedimentos suelen ser ambientes de baja energía, por lo que persiste incluso el petróleo superficial
- son comunes los "pavimentos de asfalto"

MARISMAS

- el petróleo suele estar limitado a los bordes de las marismas
 - los petróleos ligeros son más tóxicos para la vegetación y pueden penetrar en los sedimentos de la marisma
 - el impacto es menos grave en los meses de otoño e invierno
 - los niveles de energía mecánica son bajos, pero la degradación bioquímica es rápida si el petróleo no está sepultado
 - las marismas suelen recuperarse de un modo natural a menos que el petróleo sea muy tóxico o que la vegetación esté cubierta por un gran volumen de petróleo
-

PROTECCION Y LIMPIEZA DE LA COSTA

4.0 MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE LA COSTA CONTRA LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS

4.1 Prioridades de protección del prelitoral y litoral

- la consideración de una operación de protección implica la evaluación de la amenaza potencial a una sección de la costa por petróleo
- si es probable que una zona sea gravemente afectada y si es factible una operación de protección (en cuanto al tiempo y los recursos disponibles) puede considerarse la aplicación de medidas protectoras
- si más de una zona está amenazada por un derrame (y esas amenazas se han comprobado sobre el terreno) es necesaria una decisión para determinar cómo se desplegarán los recursos de personal y de equipo disponibles
- esta determinación de prioridades sólo puede hacerse en el momento de un incidente de derrame
- las zonas de máxima prioridad serán normalmente aquellas en las que estén en peligro la vida y la seguridad de las personas
- las zonas de segunda prioridad pueden ser, por ejemplo, las secciones de la costa a) activamente utilizadas por especies raras, amenazadas o en peligro, o b) en las que realicen actividades para la subsistencia humana
- la Fig. 4.1 ofrece una guía para la adopción de decisiones sobre prioridades de protección

4.2 Métodos de protección del prelitoral

- para prevenir que el petróleo llegue a la costa o determinadas partes de ella es necesario utilizar medios para contener y eliminar el petróleo de la superficie del agua, o para desviarlo
- los medios primordiales de contención son las barreras flotantes y los de eliminación las espumadoras
- las barreras son afectadas por las grandes velocidades de corriente y por las olas altas
- existen diferentes métodos de contención (véase Tabla 4.1) más o menos aplicables a diferentes condiciones; la Fig. 4.3 ofrece una guía para tomar decisiones sobre la elección de las técnicas de contención más adecuadas en las aguas costeras

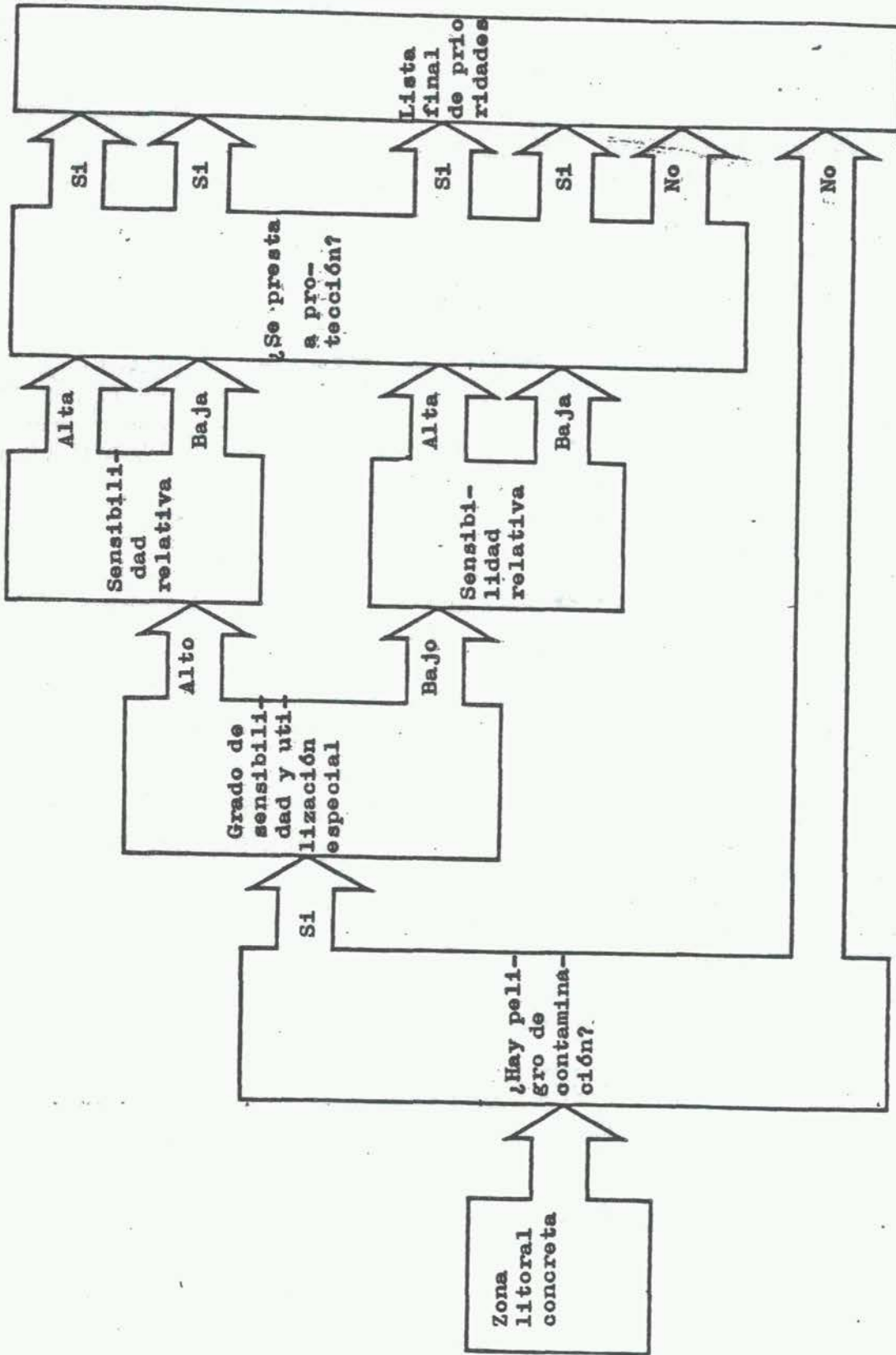


Figura 4.1 Guía para la adopción de decisiones sobre prioridades de protección.

- las figuras 4.4 a 4.10 ofrecen ilustraciones de esas técnicas de contención
- existen muchos tipos y tamaños diferentes de barreras; los principales tipos son:
 - . las empalizadas
 - . las cortinas (ordinarias o plegables)
 - . las barreras absorbentes
- el fallo de la barrera (en lo que se refiere a la contención del petróleo) suele ser debido a los vientos o las corrientes marinas fuertes y, en ese caso, el petróleo es arrastrado o chapotea por encima de la barrera
- pueden utilizarse espumadoras para eliminar de la superficie del agua el petróleo contenido o flotante libremente
- las espumadoras pueden ser autopropulsadas o flotantes
- los tipos principales de espumadoras, representadas en la Figura 4.2, comprenden:
 - . las espumadoras de disco oleofílico
 - . las espumadoras absorbentes (correa o cuerdas oleofílicas)
 - . las espumadoras de vertedero
 - . las espumadoras de correa filtrante o de correa no absorbente
 - . las espumadoras centrífugas o rotatorias
- los sistemas de vacío

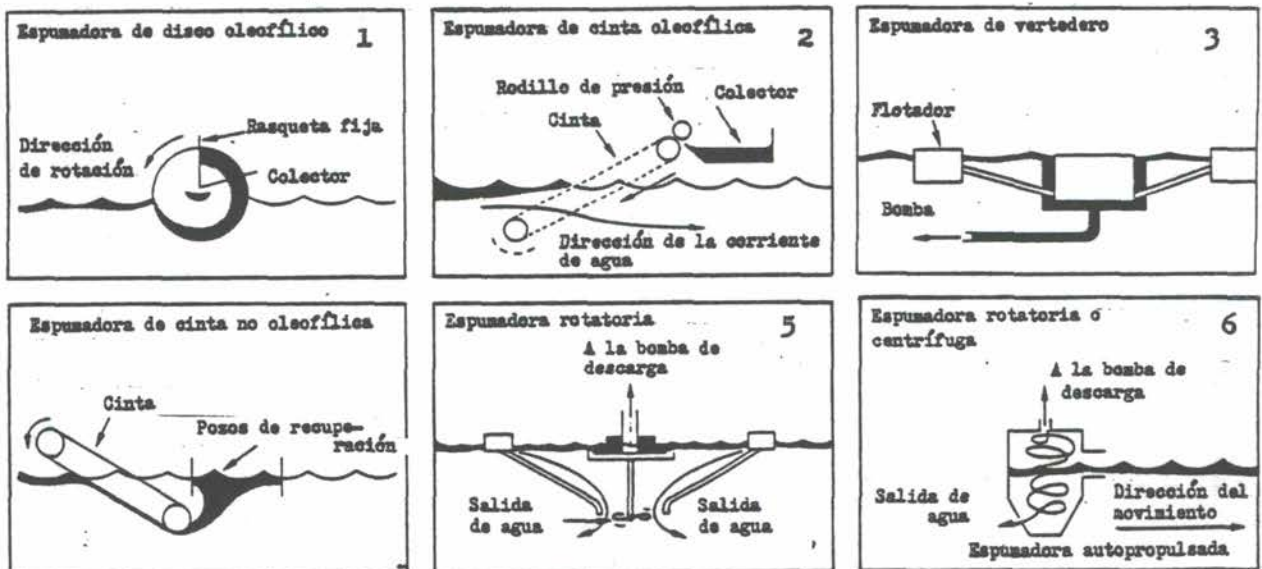


Figura 4.2 Ejemplos de diferentes tipos de espumadoras: 1) de disco oleofílico, 2) de cinta oleofílica, 3) de vertedero, 4) de cinta no oleofílica, 5) rotatoria y 6) rotatoria o centrífuga (según Concawe, 1981).

TABLA 4.1 TECNICAS DE PROTECCION DEL LITORAL

Técnica de protección	Descripción de la técnica	Uso principal de la técnica	Efecto sobre el medio
1. Barrera de exclusión	Se despliega y ancla la barrera a través o alrededor de las zonas sensibles. El petróleo incidente es desviado o contenido por la barrera	Se usa en pequeñas bahías, abce-duras de ríos o arroyos donde las corrientes son inferiores a 1 nudo y las olas rompientes tienen menos de 25 cm de altura	Pequeñas perturbaciones en el litoral o en el fondo en los puntos de anclaje
2. Barrera de desviación	Se despliega la barrera formando un ángulo con la mancha incidente. El petróleo se desvía lejos de la zona sensible o hacia una zona menos sensible para ser recuperado	Se usa en cursos de agua interiores donde las corrientes son superiores a 1 nudo, a través de pequeñas bahías, accesos portuarios, calas, desembocaduras de ríos o arroyos, donde las corrientes son superiores a 1 nudo y las olas rompientes inferiores a 25 cm y en las líneas costeras rectas para proteger lugares concretos en los que las olas rompientes tienen menos de 25 cm	Pequeñas perturbaciones del sustrato en los puntos de anclaje en el litoral; causa una fuerte contaminación por petróleo en la zona situada aguas abajo
3. Barrera de contención	La barrera se despliega en forma de U frente a la mancha incidente. Los extremos de la barrera se fijan con anclas flotantes o botes de trabajo. El petróleo queda contenido en la U y no puede alcanzar el litoral	Se utiliza aguas adentro para rodear una mancha de petróleo que se acerca y proteger las zonas litorales en las que hay resaca, cuando la mancha no tiene una gran superficie; también en las aguas interiores donde las corrientes tienen menos de 1 nudo	Ningún efecto en aguas abiertas; pequeñas perturbaciones del sustrato en los puntos de anclaje
4. Barrera absorbente	Se ancla la barrera a lo largo del litoral o se usa de alguna de las maneras antedichas para proteger zonas sensibles y absorber el petróleo	Se usa en aguas tranquilas con poca contaminación de petróleo	Pequeñas perturbaciones en los puntos de anclaje
5. Barrera permeable absorbente	Se construye a través de los cursos de agua con tela metálica, estacas y material absorbente del petróleo superficial, dejando pasar el agua	Se usa en ríos pequeños y de poca velocidad, calas o canales de marea o cualquier curso de agua de poca velocidad	Pequeñas perturbaciones en el sustrato del río o canal

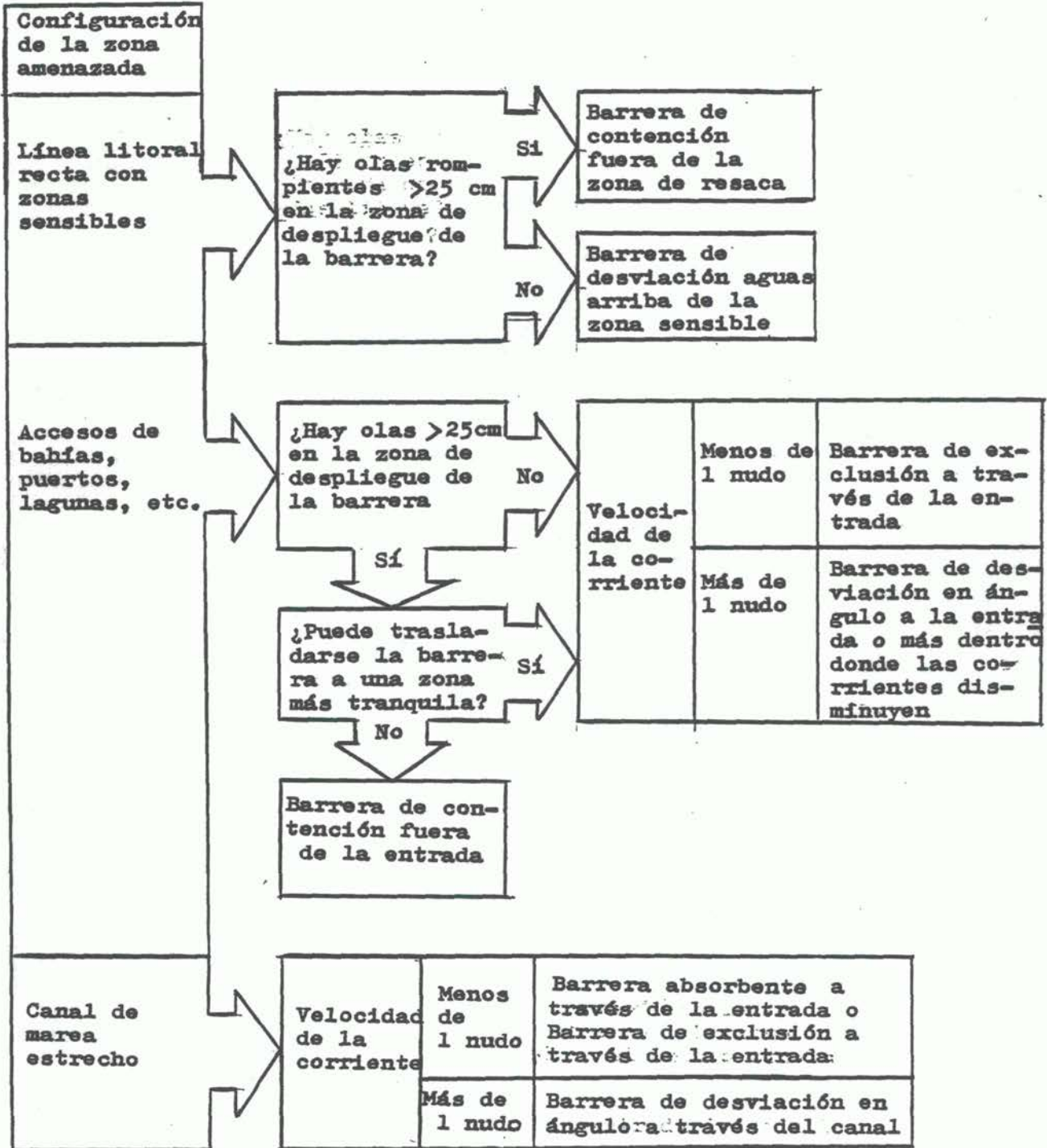


Figura 4.3 Guía para la adopción de decisiones sobre la protección de las aguas litorales

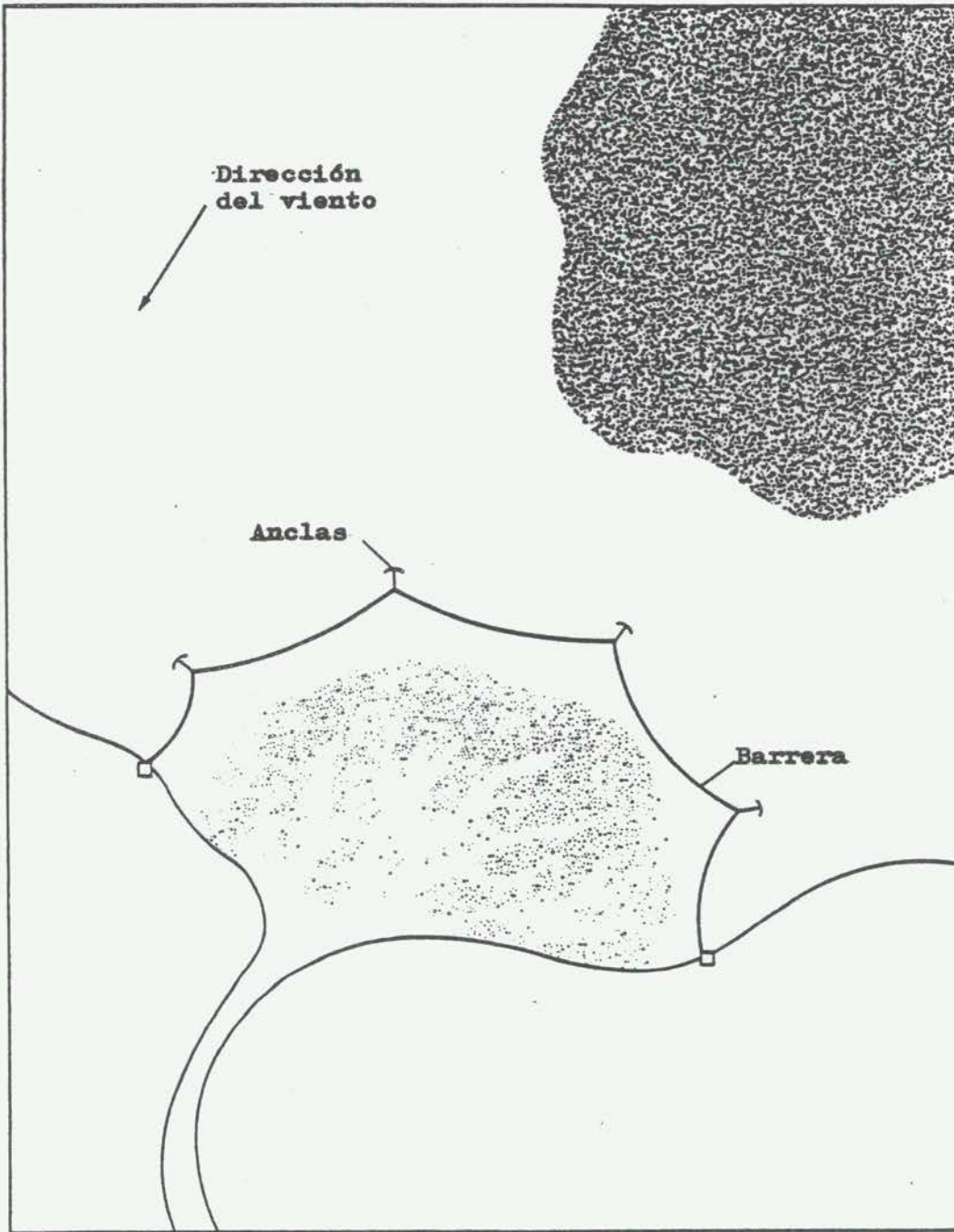


Figura 4.4 Barrera de exclusión en el delta de un río

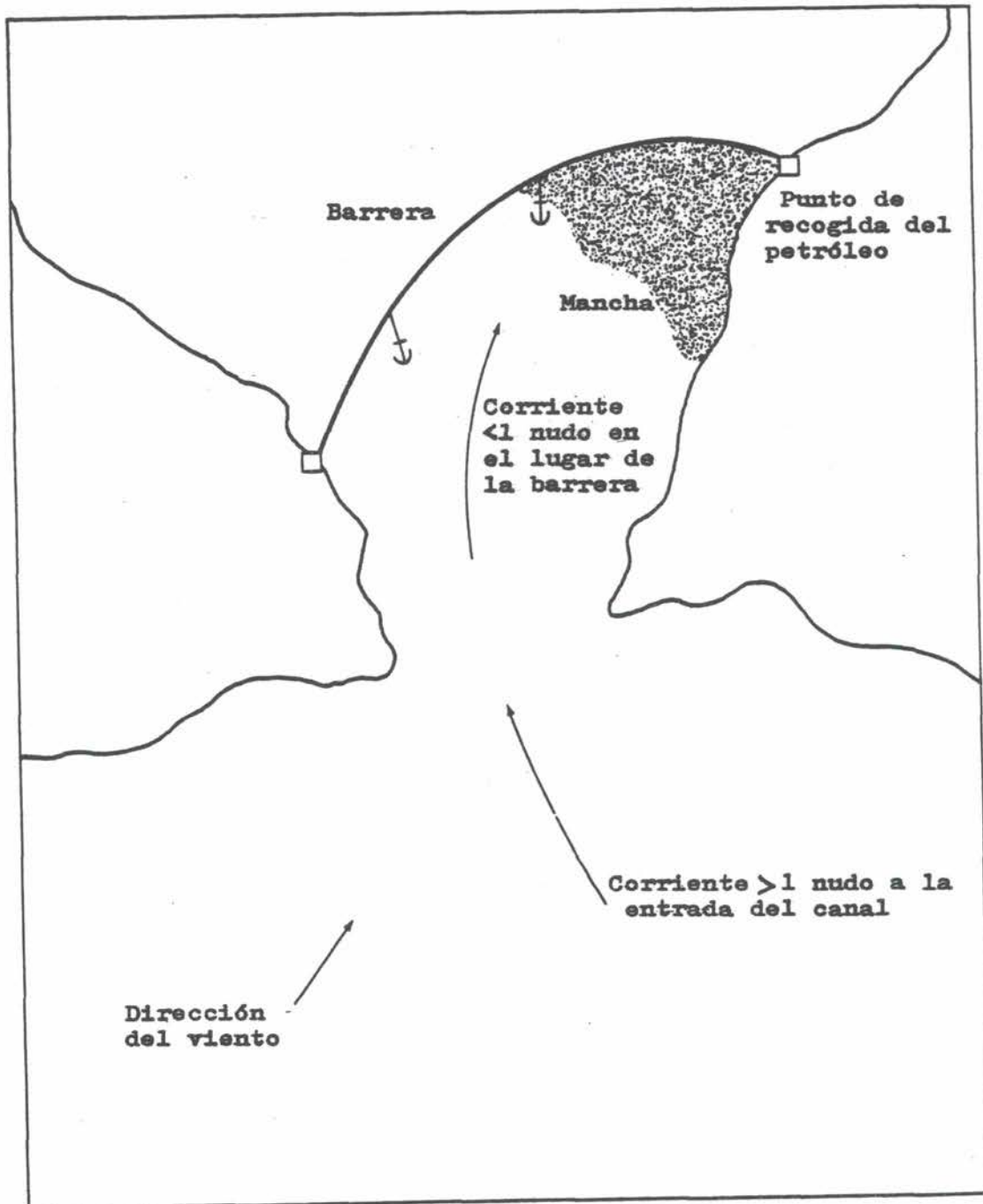


Figura 4.5 Barrera de exclusión en una cala con fuertes corrientes de canal

4.8

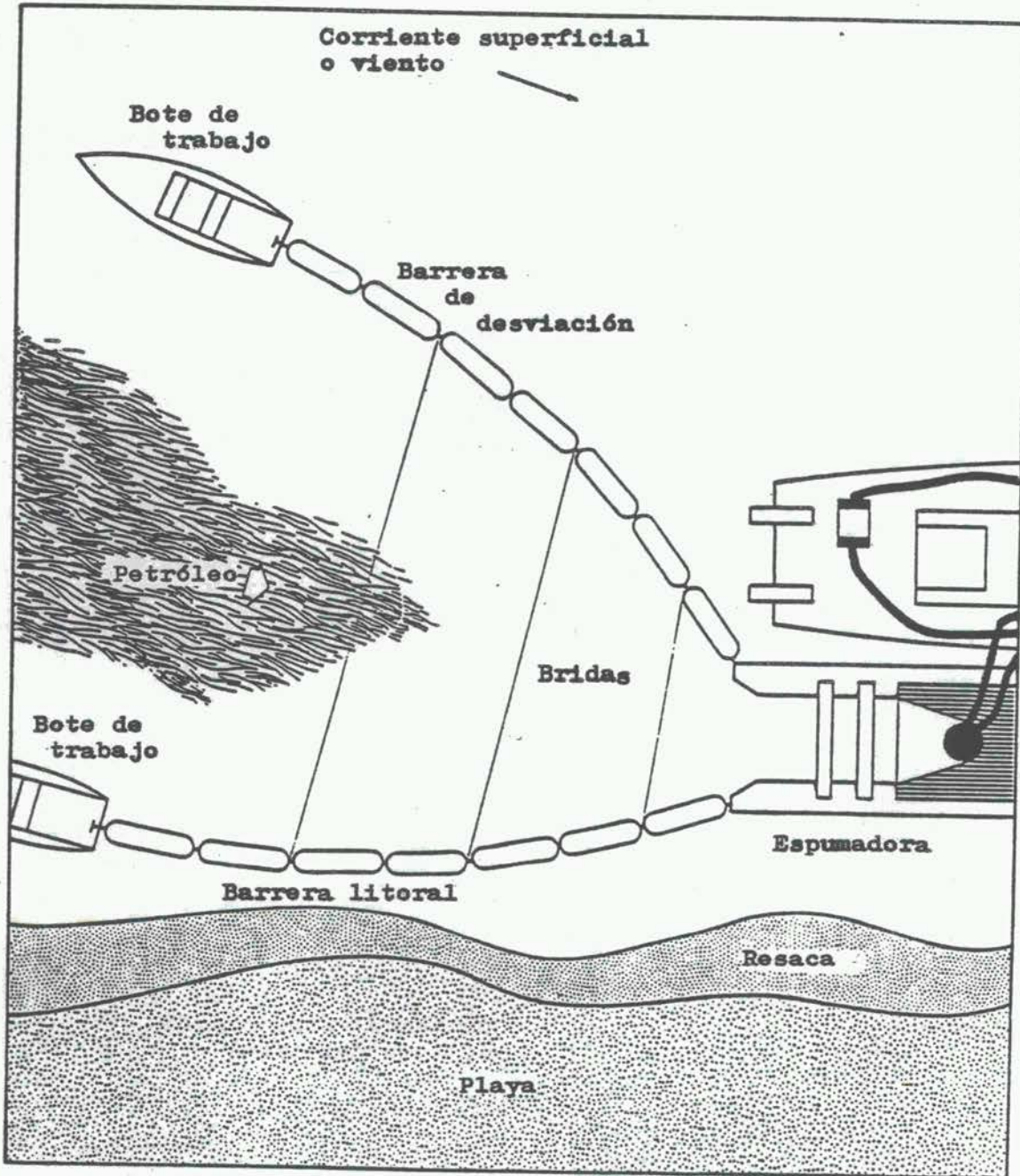


Figura 4.6 Protección de un litoral sensible con dos barreras

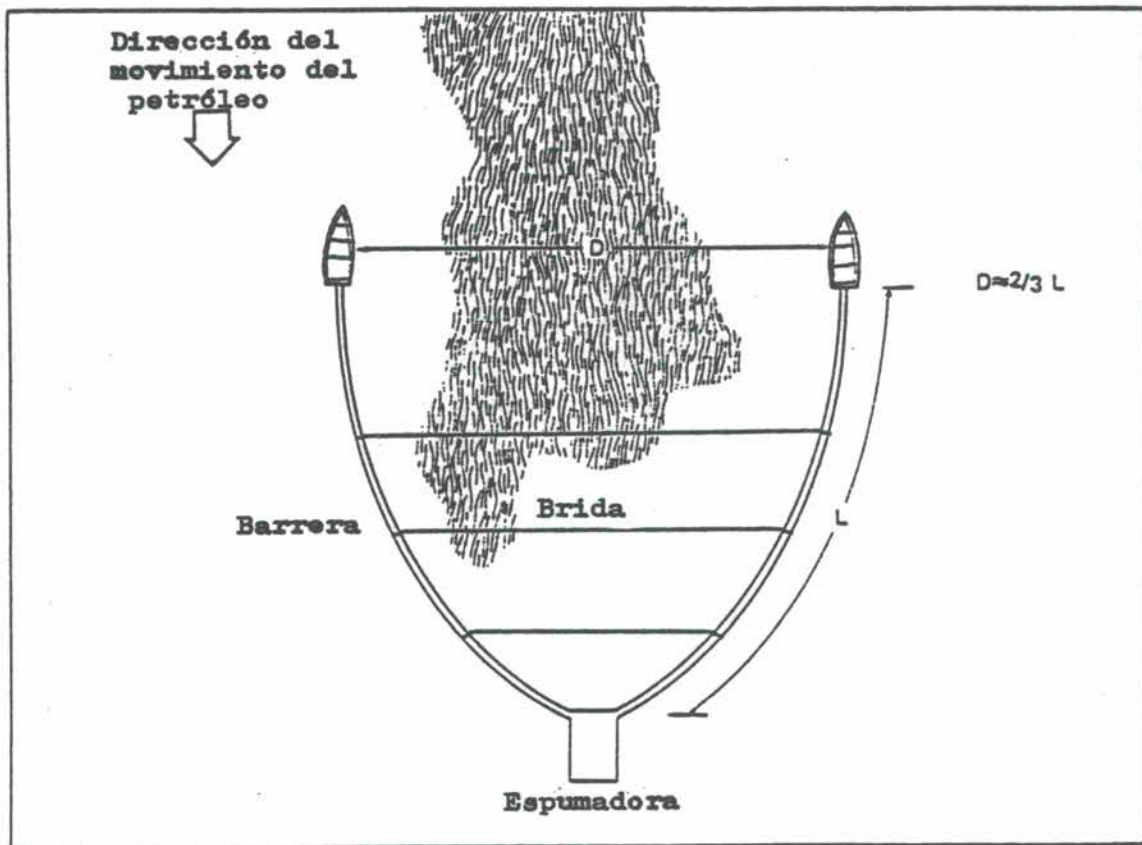


Figura 4.7 Relación entre los botes, la barrera y la espumadora

4.10

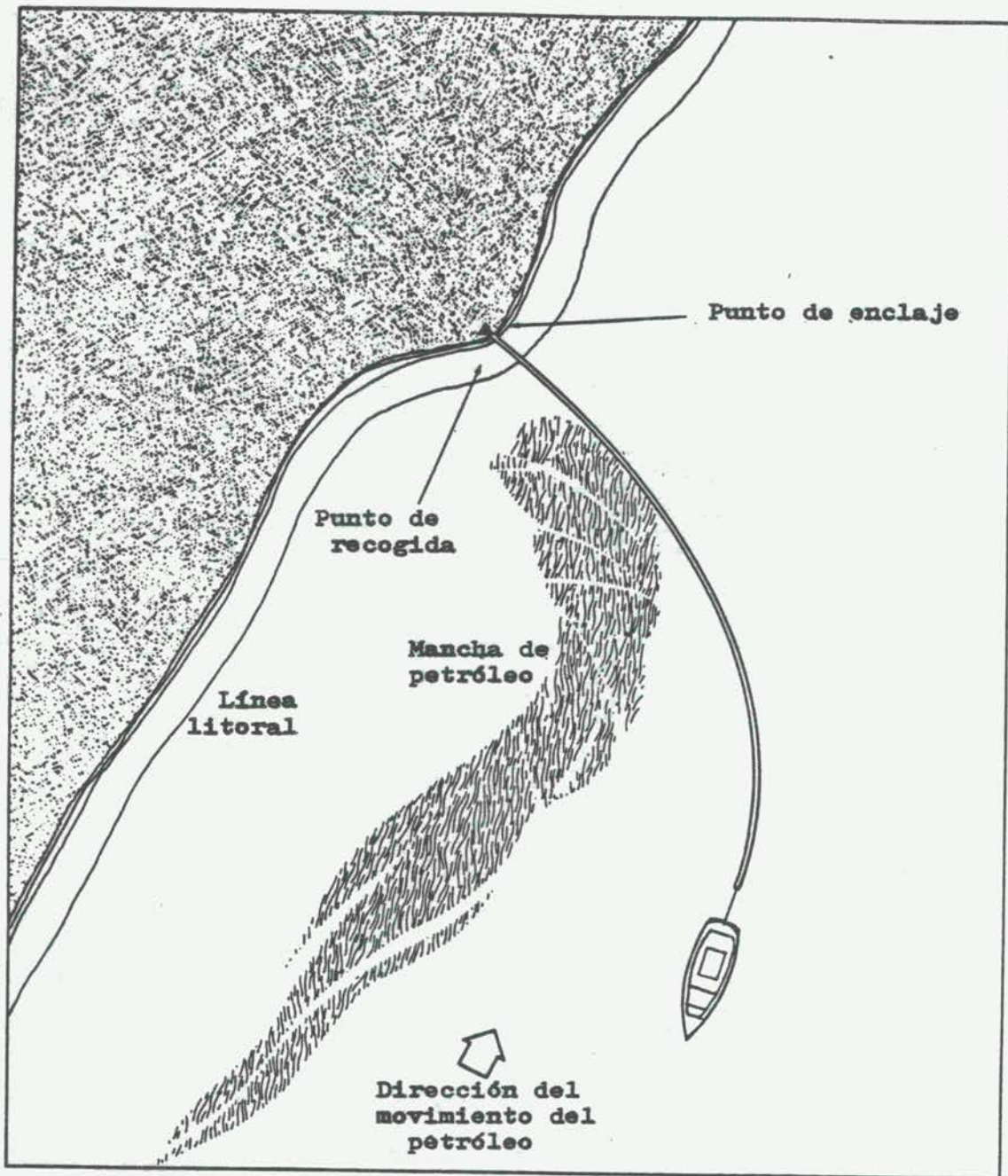


Figura 4.8 Barrera de desviación a lo largo de la línea costera

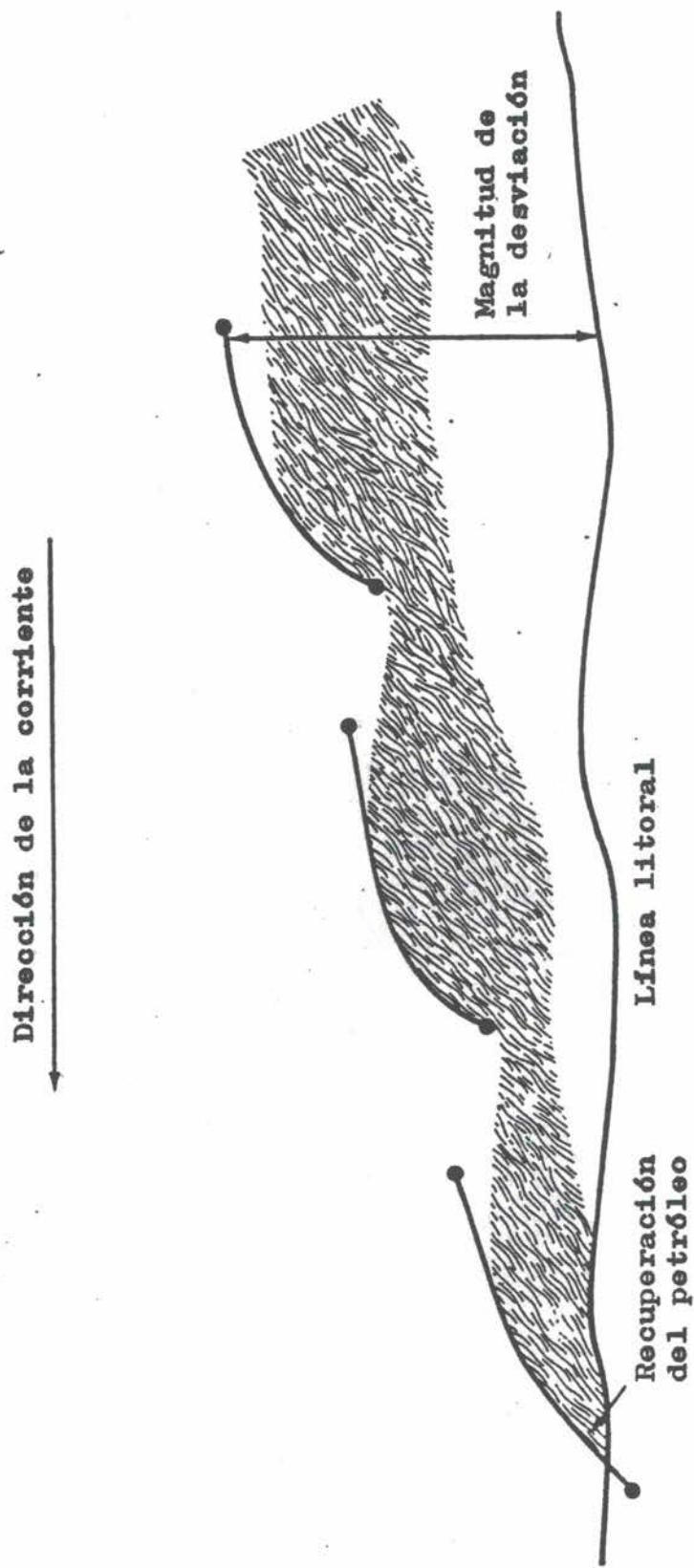


Figura 4.9 Disposición de tres tramos de barrera (barreras de desviación en cascada).

4.12

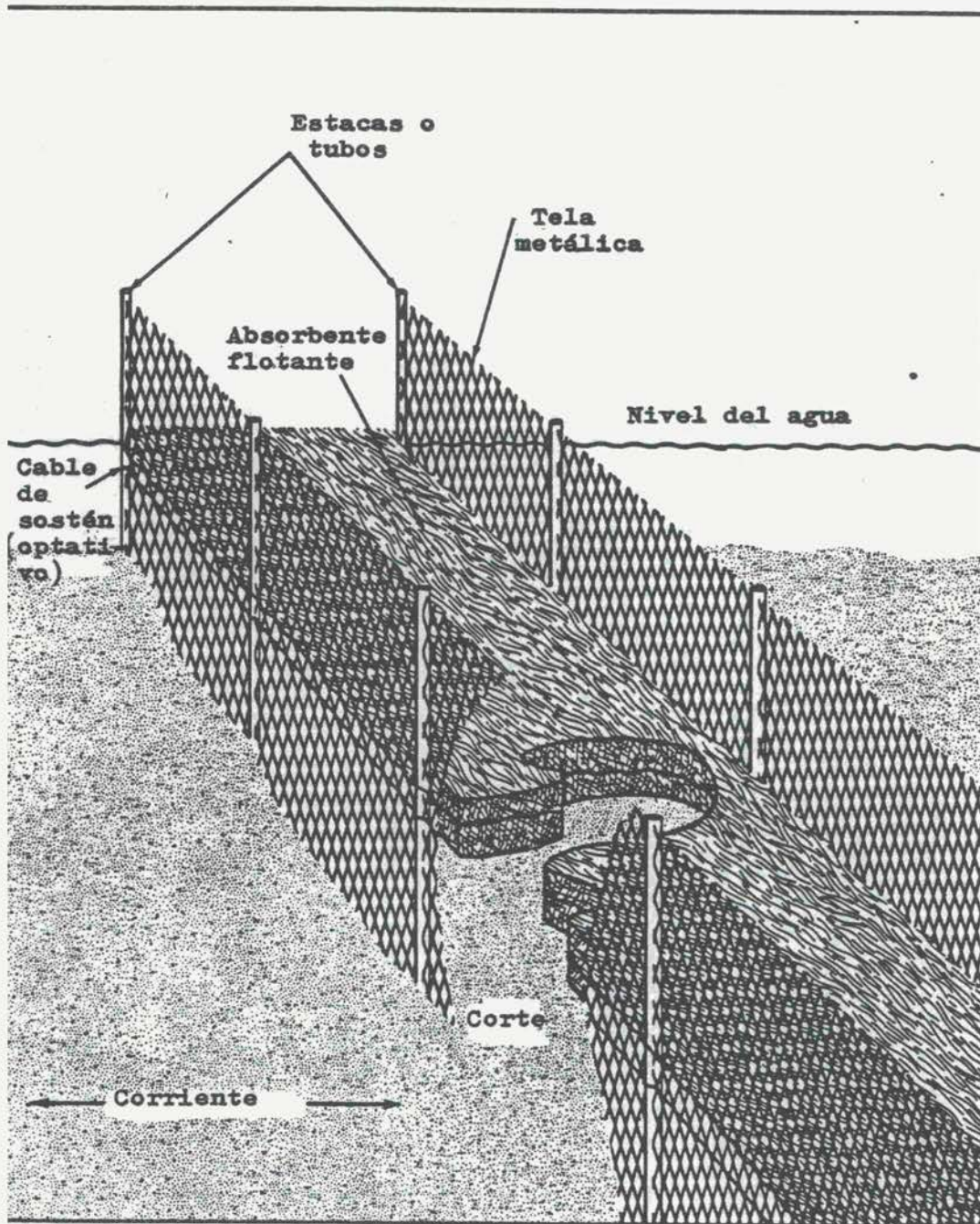


Figura 4.10 Barrera permeable típica

4.3 Métodos de protección del litoral

- en las playas, la construcción de diques (liseras artificiales) o de una combinación de dique y zanja puede impedir que el petróleo sea transportado a la zona postlitoral
- esto puede ser conveniente si a) hay una marisma o laguna postlitoral sensible, o b) se facilita la limpieza con máquinas
- en este último caso, la transitabilidad de vehículos suele ser mejor en la anteplaya (por debajo del nivel normal de la pleamar) que en la retroplaya, de modo que puede ser preferible impedir que el petróleo llegue a zonas en las que las operaciones de limpieza serían más difíciles y también menos eficaces
- los diques pueden construirse rápidamente con máquinas; una zanja en el lado del dique que mira al mar puede servir de colector del petróleo, que se apartará luego con cubos o bombas (véase Fig. 4.11)
- a través de los canales o calas pueden construirse presas para impedir que el petróleo llegue a las lagunas o estanques postlitorales; en algunos casos (por ejemplo cuando hay un intercambio de agua durante la marea) puede ser necesario instalar una atarjea submarina para no impedir ese intercambio evitando, al mismo tiempo, que el petróleo pase a través del canal (véase Fig. 4.12)

4.14

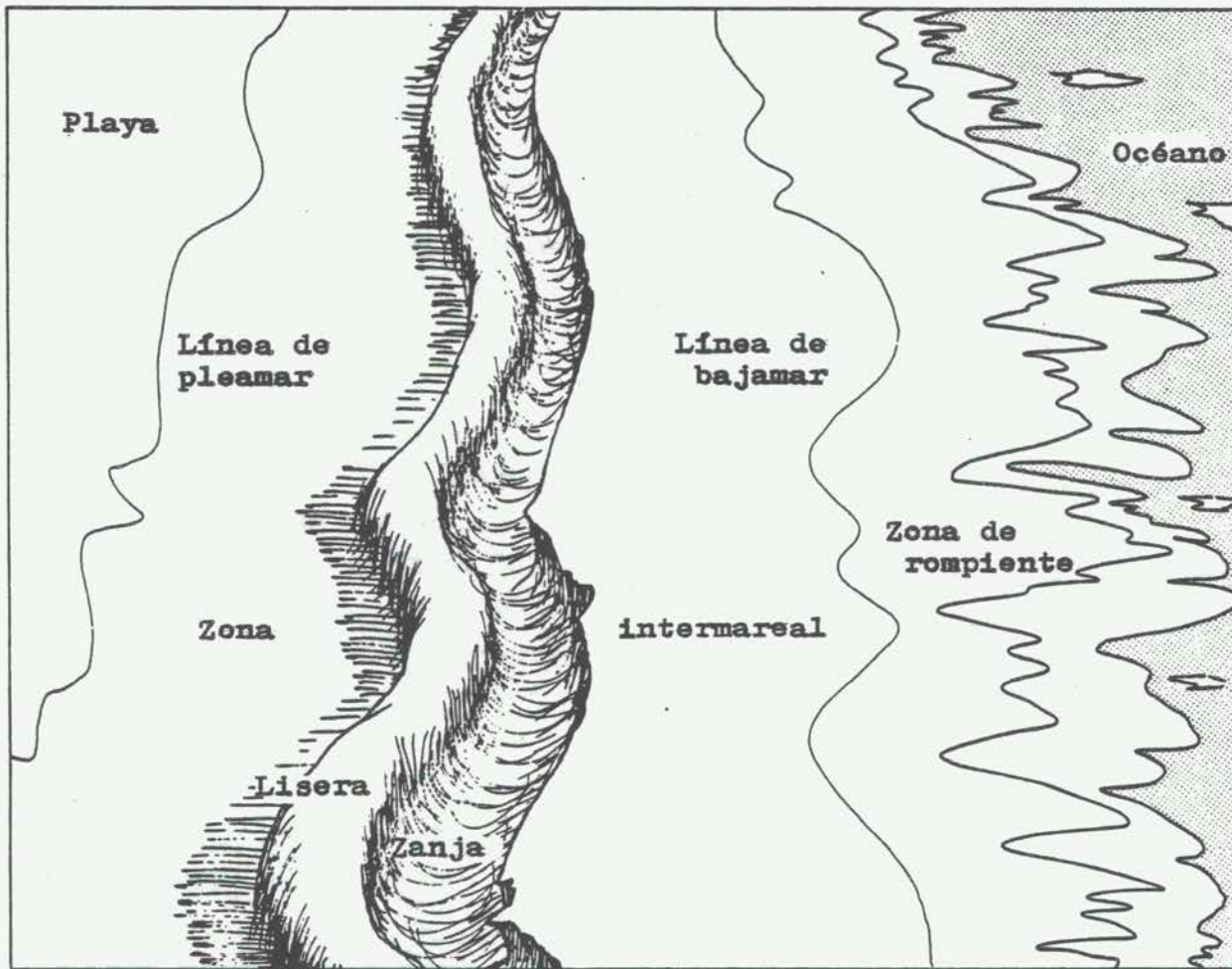


Figura 4.11 Sistema de zanja y dique.

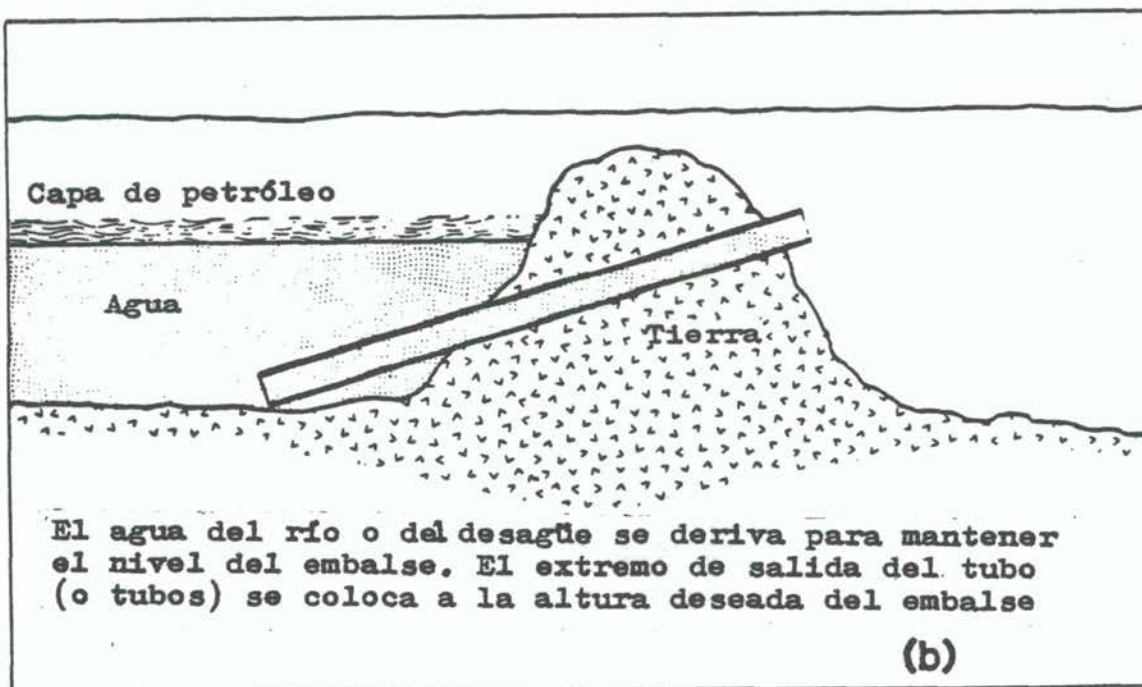
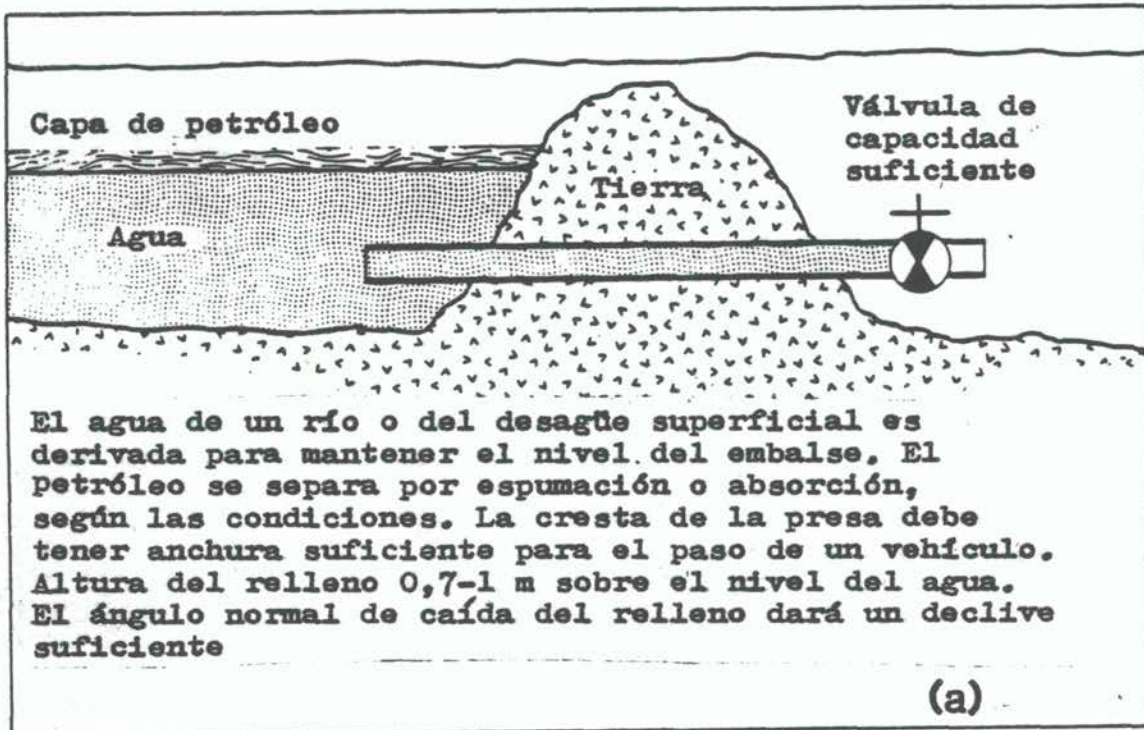


Figura 4.12 Presas de derivación de agua: a) de tubería con válvula y b) de tubo inclinado.

4.4 Prioridades de limpieza del litoral

- las limitaciones de recursos (equipo y personal) obligan a establecer un orden de acción o serie de prioridades para la limpieza del litoral contaminado con petróleo cuando la recuperación natural no es aceptable
- en la Figura 4.13, p.4.19, se ofrece una guía para la adopción de decisiones en la elección de las prioridades de limpieza
- esa elección sólo puede efectuarse en el momento de producirse un derrame, cuando se conocen el carácter, el volumen y la distribución del petróleo, así como las condiciones ambientales
- también debe tenerse en cuenta el éxito previsible de una operación de limpieza
- si un programa de limpieza de una sección de la costa no puede alcanzar los objetivos deseables debido a las limitaciones de recursos o a impedimentos ambientales debe reevaluarse la prioridad de esa medida

4.5 Métodos de limpieza del litoral

- además de la limpieza natural, hay una gran variedad de técnicas utilizables para separar el petróleo o el material contaminado de la zona litoral
- estas técnicas son de tres tipos fundamentales:
 - . dispersión, contención y separación
 - . separación
 - . limpieza in situ,que se resumen en la Tabla 4.2 (en Foget et al., 1979, puede verse un análisis más detallado de las técnicas y de su aplicación)
- pueden utilizarse técnicas de mezcla (20,21 y 22 de la Tabla 4.2) para promover la degradación natural sea exponiendo una superficie mayor de petróleo con ayuda de máquinas como forma de energía mecánica, sea trasladando el petróleo y los sedimentos contaminados a la zona de acción de las olas; estas técnicas están aconsejadas cuando no es necesaria la separación efectiva del petróleo y los sedimentos contaminados
- en la Sección 4.6, p.4.55) se examina la utilización de las máquinas de limpieza de playas (punto 15, Tabla 4.2)
- si la contaminación de la playa por petróleo es extensa, el empleo

de equipo pesado es más eficiente y eficaz que la separación manual

- la limpieza manual es eficaz a) si la contaminación es pequeña o está diseminada, b) si no puede utilizarse equipo pesado, o c) para separar el petróleo residual después de una operación de limpieza mecánica
- en las páginas 4.24 a 4.47 se dan más descripciones y ejemplos de las técnicas de limpieza; el número que figura en cada página después del título corresponde a la descripción de la técnica en la Tabla 4.2
- la limpieza de las marismas requiere un enfoque distinto del que se utiliza para otros tipos de línea litoral; en la Tabla 4.3, p.4.49 se indican las técnicas aplicables y en Maiero et al., 1978, se encontrará más información sobre la limpieza de las marismas y manglares
- a fin de ayudar a elegir técnicas adecuadas para diferentes tipos de línea litoral, en las Figuras 4.23 a 4.26, p. 4.51 a 4.54, se da una serie de guías para la adopción de decisiones
- los factores que deben tenerse en cuenta al preparar una operación de limpieza del litoral comprenden:
 - . el volumen y el tipo del petróleo
 - . el carácter físico de la línea costera (tipo de sedimentos, etc.)
 - . la persistencia esperada del petróleo
 - . el sepultamiento o la penetración del petróleo
 - . el acceso a la zona contaminada
 - . la transitabilidad*de los sedimentos
 - . las disponibilidades de personal y equipo
 - . la ubicación de los lugares temporales y permanentes de evacuación
- la utilización de dispersantes no es recomendable, principalmente porque el petróleo disperso, aunque no afecte a la biota de la propia zona litoral, puede actuar desfavorablemente sobre la flora y la fauna del fondo del mar en el prelitoral

* Véase Glosario, Sección 6.3

4.18

- 89 -

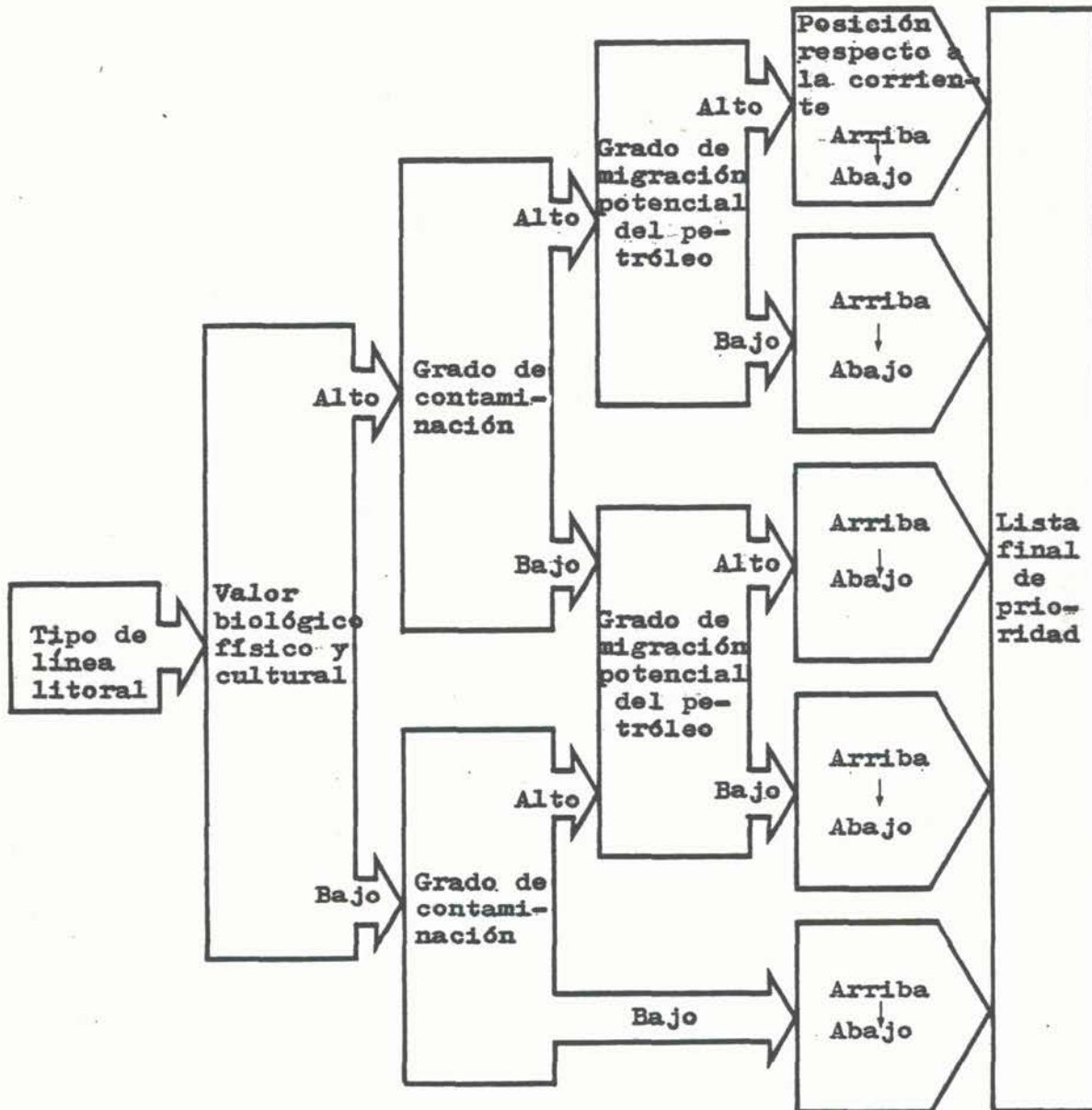


Figura 4.13 Guía para la adopción de decisiones sobre prioridades de limpieza

TABLA 4.2 MÉTODOS DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA LITORAL

Técnica de limpieza	Descripción	Uso principal de la técnica de limpieza	Requisitos técnicos	Efectos físicos del uso	Efectos biológicos del uso
1. Explanadora de motor/escarbadora-elevadora	La explanadora de motor forma camellones que son recogidos por la escarbadora-elevadora	Se usa principalmente en playas de arena y de grava donde la penetración del petróleo es de 0 a 3 cm y la transmittibilidad buena. También puede usarse en pisos de fango	Buena transmittibilidad. Acceso para equipo pesado	Sólo separa los 3 cm superiores de la playa	Separa los poliquetos, bivalvos y anfipodos cavadores de poca profundidad. La recolonización suele producirse rápidamente después de la reposición natural del sustrato
2. Escarbadora-elevadora	La escarbadora-elevadora recoge el material contaminado directamente de la playa	Se utiliza en playas de arena y de grava donde la penetración es de 0 a 3 cm. También puede usarse en pisos de fango. Además se usa para retirar conglomerados de alquitrán de la superficie de la playa	Transmittibilidad regular o buena. Acceso para equipo pesado	Separa los 3-10 cm superiores de la playa. Pequeña disminución de la estabilidad de la playa. Erosión y retroceso de la playa	Separa los poliquetos, bivalvos y anfipodos cavadores de mayor profundidad. Recolonización del sustrato probablemente lenta después de la reposición natural del sustrato. Erosión y retroceso de la playa. Erosión y retroceso de la fauna indígena de vida larga puede tardar varios años
3. Explanadora de motor/cargadora frontal	La explanadora de motor forma camellones que son recogidos por la cargadora frontal	Se usa en playas de grava y arena donde la penetración del petróleo es inferior a 2 o 3 cm. Este método es más lento que el empleo de una explanadora de motor y una escarbadora-elevadora, pero puede utilizarse cuando no se dispone de otra alternativa. También puede usarse en pisos de fango	Buena transmittibilidad. Acceso para equipo pesado	Sólo separa los 3 cm superiores de la playa	Separa los poliquetos, bivalvos y anfipodos cavadores de poca profundidad. La recolonización suele producirse rápidamente después de la reposición natural del sustrato
4. Cargadora frontal sobre neumáticos o sobre orugas	La cargadora frontal recoge el material directo de la playa y lo transporta a la zona de descarga	Se usa en playas de fango, arena o grava cuando la penetración del petróleo es moderada y la contaminación pequeña a moderada. Las cargadoras frontales sobre neumáticos son preferibles por ser más rápidas y reducir la alteración de la superficie. Para separar cantos rodados se prefieren las cargadoras frontales. Cuando no pueden operar las cargadoras sobre neumáticos se emplean cargadoras sobre orugas. También pueden usarse para separar vegetación extensamente contaminada por petróleo	Transmittibilidad regular o buena de playa. Disminución para bivalvos de la estabilidad de la playa. Erosión y retroceso de la playa para equipo pesado	Separa de 10 a 25 cm de la playa. Pérdida de la estabilidad de la playa. Grave erosión y retroceso del acantilado o de la playa. Inundación	Separa casi todos los organismos cavadores superficiales y profundos. Recolonización lenta del medio físico puede desarrollarse una nueva comunidad faunística
5. Tractor de empuje (bulldozer)/cargadora frontal sobre neumáticos	El tractor empuja el sustrato contaminado formando montones que son recogidos por la cargadora frontal	Se usa en playas de arena gruesa, grava o cantos rodados donde el petróleo penetra profundamente, la contaminación es extensa y la transmittibilidad escasa. También puede usarse para separar vegetación fuertemente contaminada por petróleo	Acceso para equipo pesado. Transmittibilidad regular o buena para la cargadora frontal	Separa de 15 a 30 cm de la playa. Pérdida de la estabilidad de la playa. Grave erosión y retroceso del acantilado o de la playa. Inundación del poelitoral	Separa todos los organismos. La recolonización del sustrato y la repoblación de la fauna indígena son sumamente lentas; entretanto puede desarrollarse una nueva comunidad faunística

TABLA 4.2 METODOS DE LIMPIEZA DE LA LINEA LITORAL

Técnica de limpieza	Descripción	Uso principal de la técnica de limpieza	Requisitos técnicos	Efectos físicos del uso	Efectos biológicos del uso
6. Retroexcavadora	Opera desde la cima de la zona contaminada recogiendo los sedimentos y cargándolos en camiones	Se usa para separar los sedimentos contaminados (principalmente fango o árido) de los bancos empinados	Acceso para equipo pesado. Sustrato estable en la cima del banco	Separa de 25 a 50 cm de la playa o banco. Grave disminución de la estabilidad de la playa y retroceso de ésta	Separa todos los organismos. La restablización del sustrato y la repoblación de organismos son sumamente lentas; entrenanza puede desarrollarse una nueva comunidad faunística
7. Dragadora o excavadora de quifadas	Opera desde la cima de la zona contaminada separando los sedimentos afectados	Se usa en playas de arena, grava o cantos rodados donde la transitabilidad es muy mala (es decir, las máquinas sobre orugas no pueden operar) y la contaminación por petróleo es extensa	Acceso para equipo pesado. El alcance del equipo debe cubrir la zona contaminada	Separa de 25 a 50 cm de playa. Grave disminución de la estabilidad de la playa. Erosión y retroceso de la playa	Separa todos los organismos. La restablización del sustrato y la repoblación de la fauna indígena son sumamente lentas; entranza puede desarrollarse una nueva comunidad faunística
8. Lavado con agua a presión (hidrochorro)	Los chorros de agua a alta presión separan el petróleo del sustrato, desde donde se canaliza hacia la zona de recuperación	Se usa para separar los revestimientos de petróleo de los cantos rodados, las rocas y las estructuras artificiales; es el método preferido para separar el petróleo de esas superficies	Acceso para vehículos ligeros. Equipo de recuperación	Puede alterar la superficie del sustrato	Separa algunos organismos y conchas del sustrato; el daño para los restantes organismos es variable. El petróleo no recuperado puede ser tóxico para los organismos situados más abajo de la zona de operaciones
9. Limpieza con vapor	El vapor separa el petróleo del sustrato, desde donde se canaliza hacia la zona de recuperación	Se usa para separar los revestimientos de petróleo de los cantos rodados, las rocas y las estructuras artificiales	Acceso para vehículos ligeros. Equipo de recuperación. Suministro de agua dulce	Añade calor (>100°C) a la superficie	Separa algunos organismos del sustrato, pero es más probable la mortalidad debida al calor. Las conchas vacías restantes pueden estimular la repoblación. El petróleo no recuperado puede ser tóxico para los organismos situados más abajo de la zona de operaciones
10. Limpieza con chorro de arena	Un chorro de arena a gran velocidad separa el petróleo del sustrato	Se usa para separar finas acumulaciones de residuos de petróleo en las estructuras artificiales	Acceso para vehículos ligeros. El petróleo puede ser semisólido. Suministro de arena limpia	Añade material al sustrato. Son posibles ya recontaminación, la erosión y una penetración más profunda en el sustrato	Separa todos los organismos y conchas del sustrato. El petróleo no recuperado puede ser tóxico para los organismos situados más abajo de la zona de operaciones
11. Escarbado manual	El petróleo se tira escarbando el sustrato con herramientas manuales	Se usa para separar el petróleo de los cantos rodados, las rocas y las estructuras artificiales ligeramente contaminadas, así como las grandes acumulaciones de petróleo, cuando no se pueden emplear otras técnicas	Acceso a pie. Herramientas para escarbado y recipientes de evacuación	Separación selectiva de material. Una actividad laboral intensa puede alterar los sedimentos	Separa algunos organismos del sustrato y aplasta a otros. El petróleo no separado o recuperado puede ser tóxico para los organismos que repueblan el sustrato rocoso o viven en sedimentos situados por debajo de la zona de operaciones

TABLA 4.2 METODOS DE LIMPIEZA DE LA LINEA LITORAL

Técnica de Limpieza	Descripción	Uso principal de la técnica de limpieza	Reguladores técnicos	Efectos físicos del uso	Efectos biológicos del uso
12. Colector y bomba de vacío	El petróleo se reúne en el colector conforme desciende por la playa y se retira con una bomba o un camión de vacío	Se usa en playas de arena firme o fango en los casos de contaminación continua por petróleo donde existen corrientes suficientemente a lo largo de la costa, así como en las playas donde con la barrera de desviación	Acceso para equipo pesado. Existencia de una corriente a lo largo del litoral	Regulere la excavación de un colector de 60 a 120 cm de profundidad en el litoral. Probablemente quedará en la playa algo de petróleo	Separa los organismos en el sitio del colector. Posibles efectos físicos del petróleo que queda en el litoral. La recuperación depende de la persistencia del petróleo en el colector
13. Separación manual de los materiales manchados de petróleo	Los sedimentos y detritos contaminados se retiran a mano con palas, rastillos, carricitillas, etc.	Se usa en playas de fango, arena, grava y cantos rodados cuando la contaminación por petróleo es ligera o esporádica y la penetración del petróleo pequeña, así como en las playas donde no hay acceso para equipo pesado	Acceso para peatones o vehículos ligeros	Separa 3 cm o menos de playa. Selectivo. Posible alteración y erosión de los sedimentos	Separa y perturba a los organismos de poca profundidad. Rápida recuperación
14. Lavado a baja presión	El rociamiento con agua a baja presión separa el petróleo del sustrato y se canaliza hasta los puntos de evacuación	Se usa para separar petróleos ligeros que son pegajosos de sustratos ligeramente contaminados, tales como fango, cantos rodados, rocas, estructuras artificiales y vegetación	Acceso para vehículos ligeros. Equipo de recuperación	No altera la superficie en una medida considerable. Posibilidad de recontaminación	Deja ríos y en su sitio a la mayoría de los organismos. El petróleo no recuperado puede ser tóxico para los organismos que viven más abajo de la zona de operaciones
15. Limpieza de playas	Remolcada por un tractor o autopropulsada por la playa; recoge los conglomerados de alquitrán	Se usa en las playas de arena o de grava; ligeramente contaminadas con petróleo en forma de conglomerados de alquitrán más o menos duros	Acceso para vehículos medianos o pesados. Buena transferibilidad	Altera los 5-10 cm superiores de la playa	Perturba a los organismos ovoides de poca profundidad
16. Aplicación manual de absorbentes	Los absorbentes se aplican manualmente sobre las superficies contaminadas para absorber el petróleo	Se usa para eliminar los charcos de petróleo ligero, no pegajoso, del fango, los cantos rodados, las rocas y las estructuras artificiales	Acceso para peatones o botes. Reclutamiento de plantas para la evacuación de absorbentes	Separación selectiva de material. Una actividad intensiva en trabajo puede alterar los sedimentos	El trésto a pie puede aplastar los organismos. Posible ingestión de los absorbentes por las aves y pequeños animales
17. Poda manual	La vegetación contaminada por petróleo se corta a mano, se recoge y se mete en sacos u otros recipientes para su evacuación	Se usa para eliminar la vegetación contaminada por petróleo	Acceso para peatones o botes. Herramientas de podar	Altera los sedimentos debido a la actividad laboral extensiva que puede producir erosión	Separa y aplasta algunos organismos. Rápida recuperación. El trésto intensivo a pie puede dañar a las raíces y retrasar la recuperación

TABLA 4.2 METODOS DE LIMPIEZA DE LA LINEA LITORAL

Técnica de limpieza	Descripción	Uso principal de la técnica de limpieza	Requisitos técnicos	Efectos físicos del uso	Efectos biológicos del uso
18. Combustión	Se prende fuego a favor del viento a la zona contaminada y se deja que arda de un extremo a otro	Se usa en cualquier sustrato o vegetación que contenga suficiente petróleo para mantener el fuego, siempre que aquél arda bien y que las normas sobre la contaminación del aire lo permitan	Acceso para vehículos ligeros o botes. Equipo de lucha contra incendios	Produce una intensa contaminación atmosférica; añade calor al sustrato; puede causar erosión si se daña el sistema de raíces	Mata a los organismos de la superficie en la zona quemada. La materia residual puede ser algo tóxica (metales pesados)
19. Camiones de vacío	El camión entra en marcha atrás hasta el charco de petróleo o el lugar de recuperación, donde el petróleo es aspirado por la manguera de vacío	Se usa para aspirar el petróleo del litoral cuando se han formado charcos de petróleo en las depresiones naturales, o en ausencia de máquinas espumadoras para retirar el petróleo flotante de la superficie del agua	Acceso para equipo pesado. Suficientes charcos grandes en el suelo y suficiente espesor de petróleo en el agua para que la técnica sea eficaz	Puede quedar algún petróleo en el litoral o en el agua	Separa algunos organismos. Posibles efectos tóxicos a largo plazo debidos al petróleo que queda en el litoral. La recuperación depende de la persistencia del petróleo restante en los charcos
20. Empuje del sustrato contaminado hasta la rompiente	Un bulldozer empuja el sustrato contaminado hasta la rompiente para acelerar la limpieza natural	Se usa en playas de cantos, gravas y en playas de grava ligeramente contaminadas donde la separación de los sedimentos puede causar la erosión de la playa o de la zona postlitoral	Acceso para equipo pesado. Línea litoral de alta energía	Alteración de la capa superior del sustrato; queda algo de petróleo en la zona intermareal. Posible recontaminación	Mata a la mayoría de los organismos que viven en el sustrato no contaminado. La recuperación de los organismos suele ser más rápida que separando el sustrato
21. Arranque del pavimento	Un tractor provisto de un arado escarificador recorre la playa de arriba a abajo	Se usa en playas de cantos, grava o arena de poco valor recreativo, o en playas donde la separación del sustrato produciría erosión; así como donde gruesas capas de petróleo han formado un pavimento sobre la superficie de la playa	Acceso para equipo pesado. Línea litoral de alta energía	Alteración de los sedimentos. Queda petróleo en la playa	Perturba a los organismos cavadores superficiales y profundos
22. Arado de discos	Un tractor remolca un arado de disco a lo largo de la zona contaminada	Se usa en las playas de arena o grava que no tienen empleo recreativo y están ligeramente contaminadas	Acceso para equipo pesado. Transitabilidad regular o buena. Ambiente de alta energía	Queda petróleo sepultado en la arena. Altera la capa superficial del sustrato	Perturba a los organismos cavadores de poca profundidad. Posibles efectos tóxicos del petróleo sepultado
23. Recuperación natural	No se toma ninguna medida. Se deja que el petróleo se degrade naturalmente	Se usa contra la contaminación por petróleo en las playas de alta energía (principalmente cantos medianos y grandes o rocas) donde la acción de las olas elimina la mayor parte de la contaminación por petróleo en un corto periodo de tiempo	Ambiente expuesto de alta energía	Puede quedar algo de petróleo en la playa y contaminarse zonas limpias	Posibles efectos tóxicos y focación por el petróleo. Posible incorporación de petróleo a la cadena alimentaria. Posible eliminación de hábitat si los organismos no se establecen sobre el petróleo residual

Explanadora de motor y cargadora frontal (3)

Este método se utiliza en playas de arena y grava donde la penetración del petróleo es inferior a 2 o 3 cm y la transitabilidad buena. También puede utilizarse en pisos de fango si la transitabilidad lo permite. La explanadora de motor forma camellones y la cargadora frontal los recoge y transporta el material a la zona de descarga (Fig. 4.14). En la descripción de las cargadoras frontales que figura más abajo, se dan detalles sobre los procedimientos específicos de funcionamiento. A continuación se enumeran los procedimientos operacionales para cargadoras frontales que trabajan con una explanadora de motor. Hacen falta varias cargadoras frontales para recoger los camellones formados por una sola explanadora.

1. Utilizar a ser posible un cucharón de tipo 4-en-1.
2. Accionar el tractor en primera marcha durante la carga.
3. Llenar solamente el cucharón a 1/2 o 2/3 de su capacidad para reducir al mínimo las salpicaduras durante la recogida.
4. Reducir al mínimo el tránsito sobre la zona contaminada por petróleo cuando se utiliza una cargadora sobre orugas.

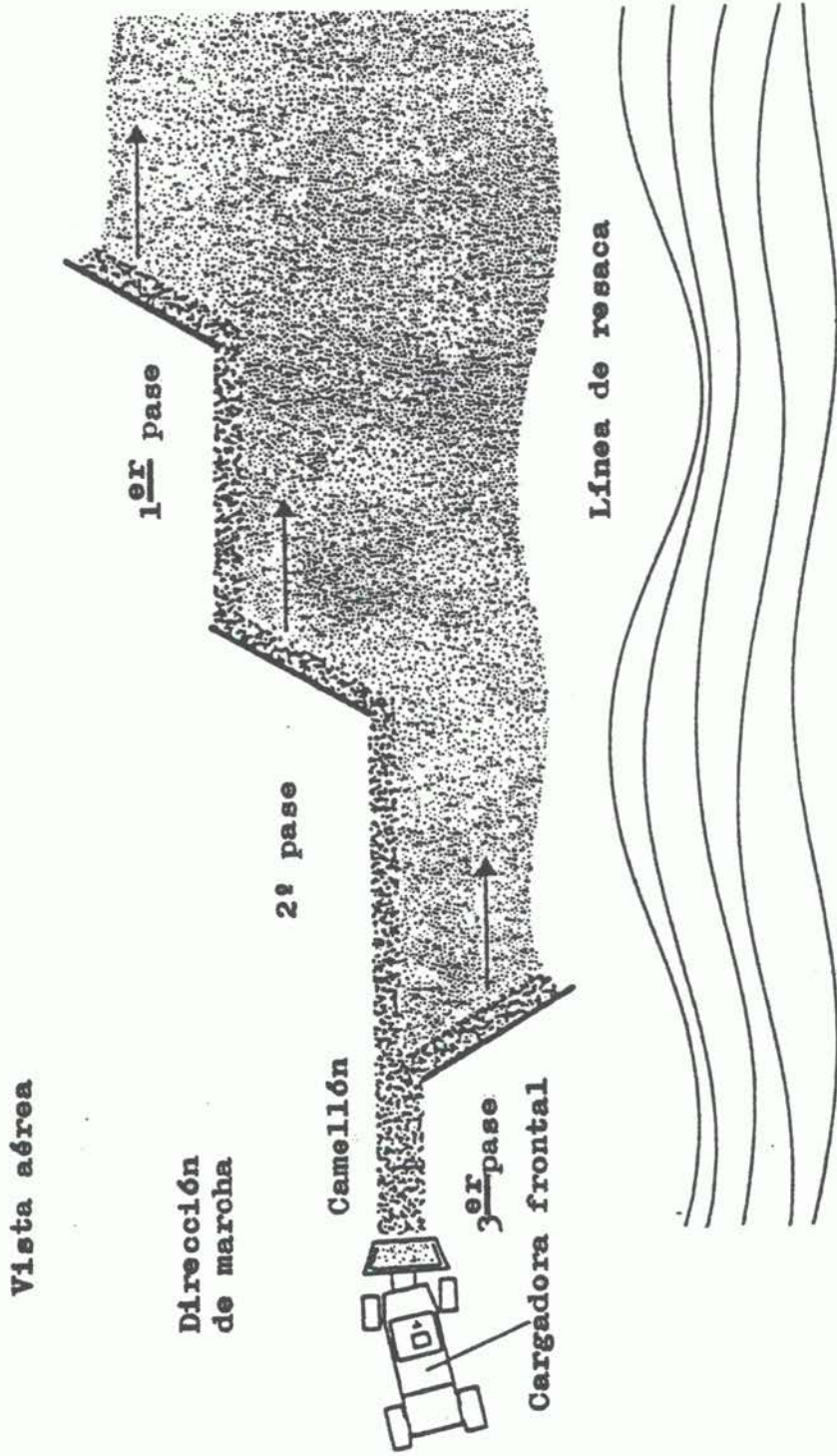


Figura 4.14 Sucesión de operaciones de una explanadora de motor y una cargadora frontal.

Cargadora frontal (sobre neumáticos o sobre orugas) (4)

Las cargadoras frontales se utilizan en playas de fango, arena o grava donde la transitabilidad es mala y la penetración del petróleo ligera o moderada. Las cargadoras frontales están proyectadas para cavar y cargar, así como para un transporte limitado de material. Existen cucharones de distintos tamaños y pesos para diferentes tipos de materiales y condiciones de trabajo. Los cucharones para tractores de ruedas y de orugas varían entre 0,2 y 8 m³. La Figura 4.15 representa la sucesión de operaciones de este equipo

Las cargadoras frontales provistas de cucharones de ranuras, que permiten que la arena suelta caiga a través de las ranuras, deben utilizarse para separar grandes cantidades de desechos contaminados por petróleo, tales como algas y madera flotante. La experiencia de restauración de playas adquirida hasta ahora indica que las cargadoras frontales deben utilizarse principalmente para cargar en camiones el material acumulado en montones o camelliones por las explanadoras de motor.

Cuando la cargadora frontal se utiliza sola, deben seguirse los siguientes procedimientos operacionales:

1. Utilizar a ser posible un cucharón de tipo 4-en-1.
2. Accionar el tractor en primera marcha durante la carga.
3. Colocar el cucharón horizontal sobre la playa para cargar materiales sueltos.
4. Colocar el cucharón ligeramente inclinado hacia abajo para cavar y rascar.
5. El cucharón se carga más fácilmente moviendo el tractor hacia adelante.
6. Llenar solamente el cucharón a 1/2 o 2/3 de su capacidad para reducir al mínimo las salpicaduras durante la carga.
7. Reducir al mínimo el tránsito sobre la zona contaminada por petróleo cuando se utiliza una cargadora sobre orugas para evitar que el petróleo sea sepultado en el sustrato.

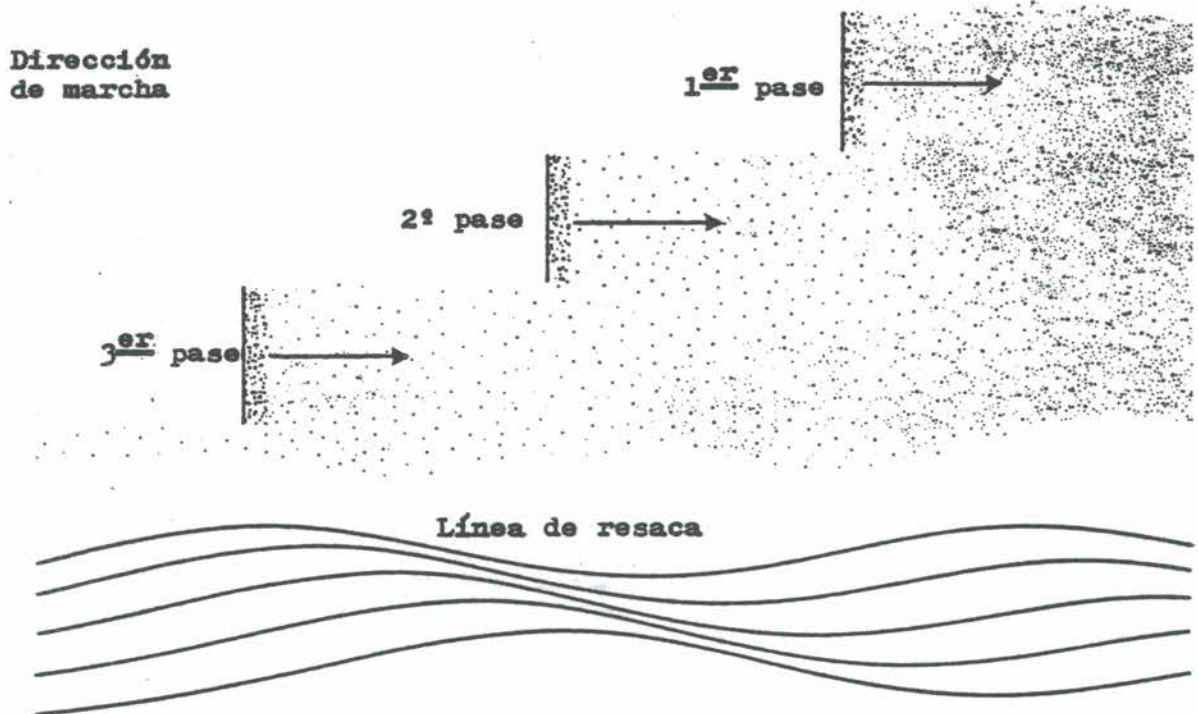


Figura 4.15 Sucesión de operaciones de una cargadora frontal.

Tractor de empuje (bulldozer) y cargadora frontal (5)
sobre neumáticos

Este equipo se utiliza principalmente en playas de arena gruesa, grava o cantos rodados medianos donde el petróleo penetra profundamente, la contaminación es extensa y la transitabilidad escasa. También puede usarse para separar vegetación fuertemente contaminada por petróleo.

En las situaciones descritas más arriba cuando no puedan aplicarse otras técnicas, la combinación bulldozer/cargadora frontal es un método aceptable. El bulldozer se utiliza para empujar el material contaminado formando montones que son recogidos por la cargadora frontal (Fig. 4.16). La sucesión de operaciones para un bulldozer es la siguiente:

1. Empezar por la línea de bajamar de la playa utilizando una hoja de tipo universal o recto. Cuando haya una corriente a lo largo del litoral, el bulldozer empezará por el extremo de la zona contaminada situado aguas arriba de la corriente.
2. El bulldozer se acciona en primera marcha.
3. El material contaminado se empuja playa arriba perpendicularmente a la línea de marea hasta una zona cuya transitabilidad sea suficiente para utilizar una cargadora frontal.
4. La profundidad del corte no será superior a la de penetración del petróleo.
5. No debe empujarse el material más allá de la zona contaminada para no manchar zonas limpias. Puede ser necesario construir una carretera para que la cargadora frontal tenga acceso al material amontonado.
6. El bulldozer volverá marcha atrás sobre la zona limpia hasta el punto de partida y se colocará de modo que el segundo pase se superponga ligeramente al primero.
7. Este procedimiento se repite a todo lo largo de la playa (Fig. 4.16).
8. Las cargadoras frontales sobre neumáticos operan en el lado postlitoral de la zona contaminada para recoger los sedimentos amontonados y transportarlos a camiones basculantes para su evacuación.

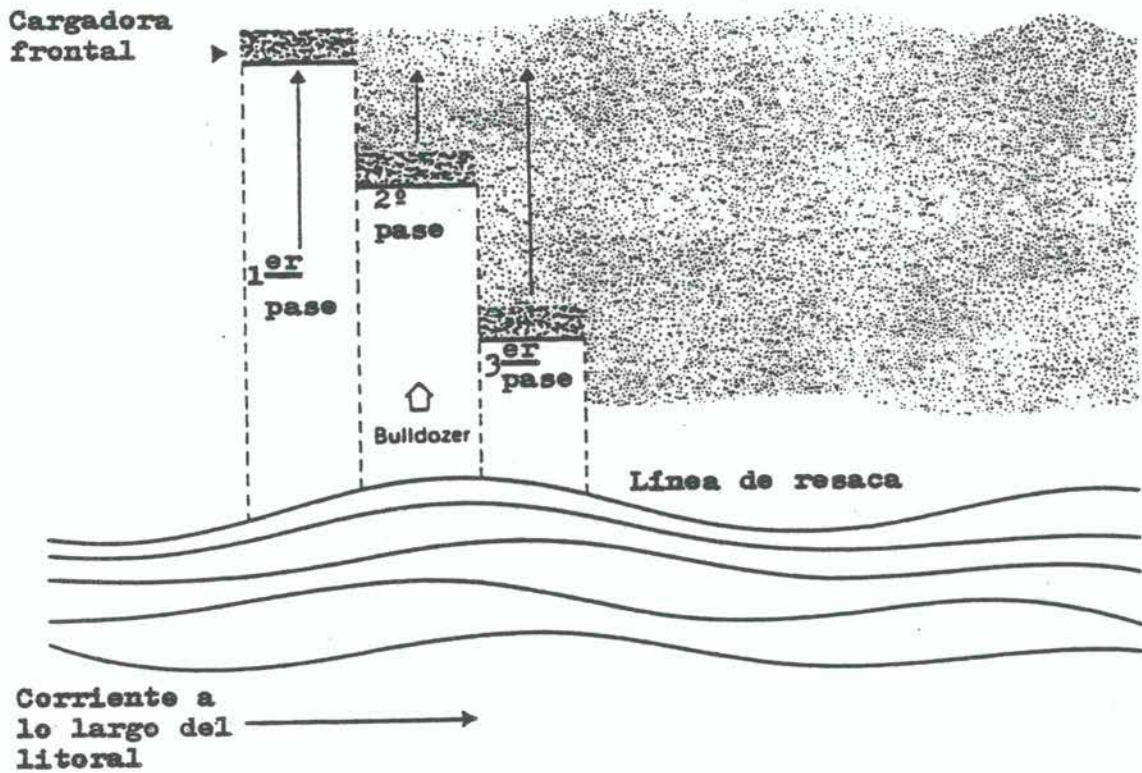


Figura 4.16 Sucesión de operaciones de un tractor de empuje (Bulldozer) y cargadora frontal.

Retroexcavadora (6)

La retroexcavadora se utiliza para separar los sedimentos contaminados por petróleo (principalmente fango o cieno) de los bancos empinados donde no pueden actuar otros tipos de equipo.

El sedimento contaminado de petróleo se recoge colocando la retroexcavadora en el borde del banco, extendiendo su brazo hacia la parte inferior del banco y excavando la capa superficial, que se recoge en el cucharón a medida que se retrae el brazo. El material contaminado se carga directamente en camiones basculantes que lo transportan a la zona de evacuación. La sucesión de operaciones de la retroexcavadora es la siguiente:

1. Se sitúa la retroexcavadora en la cima del banco mirando hacia la ladera.
2. Se extiende el brazo hasta el borde inferior de la zona contaminada o hasta lo más abajo posible.
3. Se aplica el borde del cucharón sobre el sedimento a unos 25 a 50 cm de profundidad y se le hace subir por la ladera con lo que el sedimento arrancado queda recogido en el cucharón.
4. Cuando el cucharón llega a la cima del banco o está lleno hasta los 2/3 de su capacidad se le nivela y el material que contiene se amontona o se vierte directamente en un camión basculante.
5. Deben hacerse varios cortes ligeramente superpuestos para abrir un camino de 3 a 6 m de anchura aproximadamente.
6. Se cambia de posición la retroexcavadora para empezar la limpieza de un recorrido adyacente al anterior (Fig. 4.17)

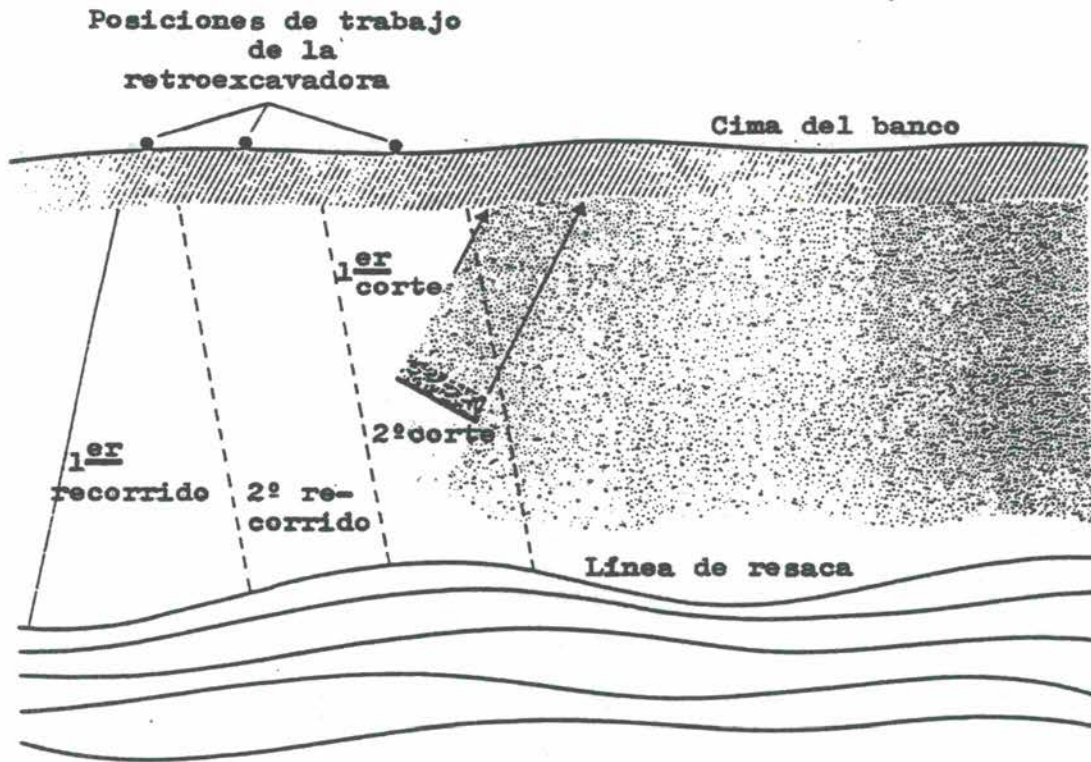


Figura 4.17 Sucesión de operaciones de una retroexcavadora.

Dragadora o excavadora de quijadas (7)

Este equipo se utiliza en playas de arena, grava o cantos rodados cuando la transitabilidad es muy escasa y la contaminación y penetración del petróleo son extensas. Aunque el método es bastante lento e ineficaz, puede utilizarse en líneas litorales donde la transitabilidad excluye el empleo de máquinas sobre orugas.

La dragadora o la excavadora de quijadas actúan a lo largo del borde superior de la zona contaminada o la más cerca de él que la transitabilidad de los sedimentos lo permita. En ocasiones es necesario construir una carretera de acceso desde la que pueda operar el equipo. Los procedimientos operatorios específicos para una dragadora son:

1. Si existe una corriente a lo largo del litoral, empezar en el extremo de la zona contaminada situado aguas arriba.
2. Actuar desde el borde postlitoral de la zona contaminada.
3. Colocar el brazo* en su máximo alcance o en un alcance suficiente para cubrir la zona contaminada.
4. Lanzar el cucharón a la playa y tirar de él hacia la grúa para recoger el sedimento.
5. Inclinar el cucharón hacia atrás cuando esté lleno a $2/3$ de su capacidad**, hacer girar el brazo y descargar los sedimentos recogidos en un camión basculante o depositarlos en un montón.
6. Volver el cucharón a la posición inicial y proseguir el corte o empezar uno nuevo adyacente y ligeramente superpuesto al anterior.

* Puede ser necesario un brazo de considerable longitud si la zona contaminada tiene una anchura excesiva.

** El cucharón sólo se llena a $2/3$ de su capacidad para evitar salpicaduras.

Si se utiliza una excavadora de quijadas, deben seguirse los siguientes procedimientos:

1. La grúa y el brazo se colocan como antes y el cucharón con las quijadas abiertas se deja caer sobre la superficie de la playa.
2. Se cierran las quijadas del cucharón de modo que el material contaminado de petróleo queda recogido en el cucharón.
3. Se levanta el cucharón, se hace girar el brazo hasta situarlo sobre un camión basculante o un montón y se abren las quijadas vertiendo su contenido.
4. Se vuelve el cucharón a un punto situado en el lado postli- teral del corte anterior y ligeramente superpuesto a él.

Se repite el procedimiento hasta realizar un pase completo por la zona contaminada. Se desplaza ligeramente la grúa y se empieza un nuevo pase adyacente al anterior. La Figura 4.18 representa gráficamente el sistema de limpieza con ambos tipos de equipo.

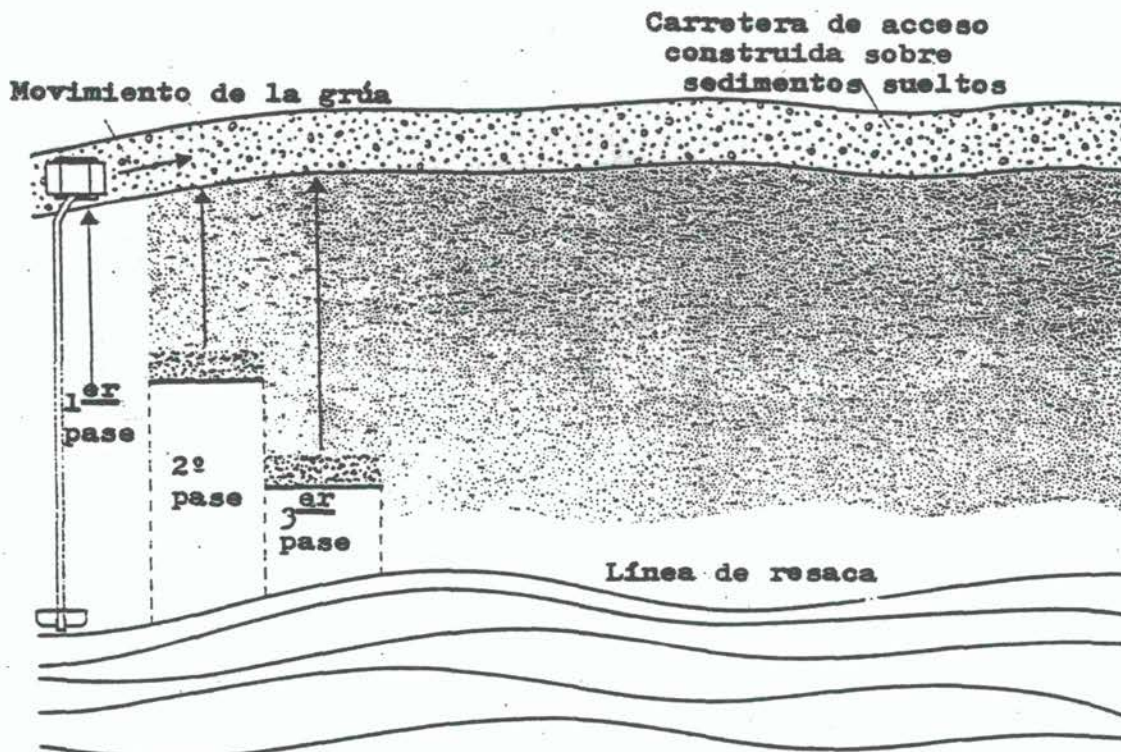


Figura 4.18 Sistema de limpieza por la técnica de la dragadora o la excavadora de quijadas.

Separación manual de materiales contaminados (13)

La separación manual se utiliza en playas de fango, arena, grava y cantos medianos cuando la contaminación por petróleo es ligera o esporádica y la penetración pequeña, así como en las playas donde no hay acceso para equipo pesado. También puede usarse la separación manual cuando se considera que el empleo de equipo pesado puede ser dañino para el medio ambiente.

El equipo necesario para este trabajo comprende rastrillos, palas, rascadores, sacos de yute y bolsas de plástico, cubos y bidones. La vegetación, los detritos y los sedimentos son recogidos a mano y metidos en bolsas o sacos para su transporte y evacuación (Fig. 4.19). Habrá supervisores encargados de grupos de obreros con un capataz por grupo. Los procedimientos operativos son:

1. Llevar guantes de protección, botas y crema para las manos.
2. Cortar y recoger el material contaminado en pequeños montones.
3. No rastrillar la vegetación.
4. Llenar los sacos o bolsas * hasta la mitad con el material de los montones.
5. Poner las bolsas o sacos llenos sobre hojas de plástico más arriba de la línea de pleamar.
6. Las bolsas o sacos pueden retirarse a mano o mediante vehículos o helicópteros, o cargarse en pequeños botes o barcazas desde la línea litoral o muelles improvisados.

La rapidez de la limpieza manual de una zona litoral depende del número de obreros, de su productividad, del método de separación de los materiales contaminados y del grado de contaminación. Si la zona litoral tiene una contaminación esporádica podrá limpiarse mucho más de prisa que si está fuertemente contaminada. Cuantos más obreros se utilicen más pronto quedará limpia la zona. El transporte mediante helicópteros, barcas o vehículos de los materiales recogidos es rápido y eficaz, mientras que el transporte manual es muy lento e intensivo en trabajo.

* Espesor preferido de las bolsas: 0,25 mm (material opaco)
Tamaño de bolsa preferido: unos 91 cm de alto x 46-61 cm de ancho.

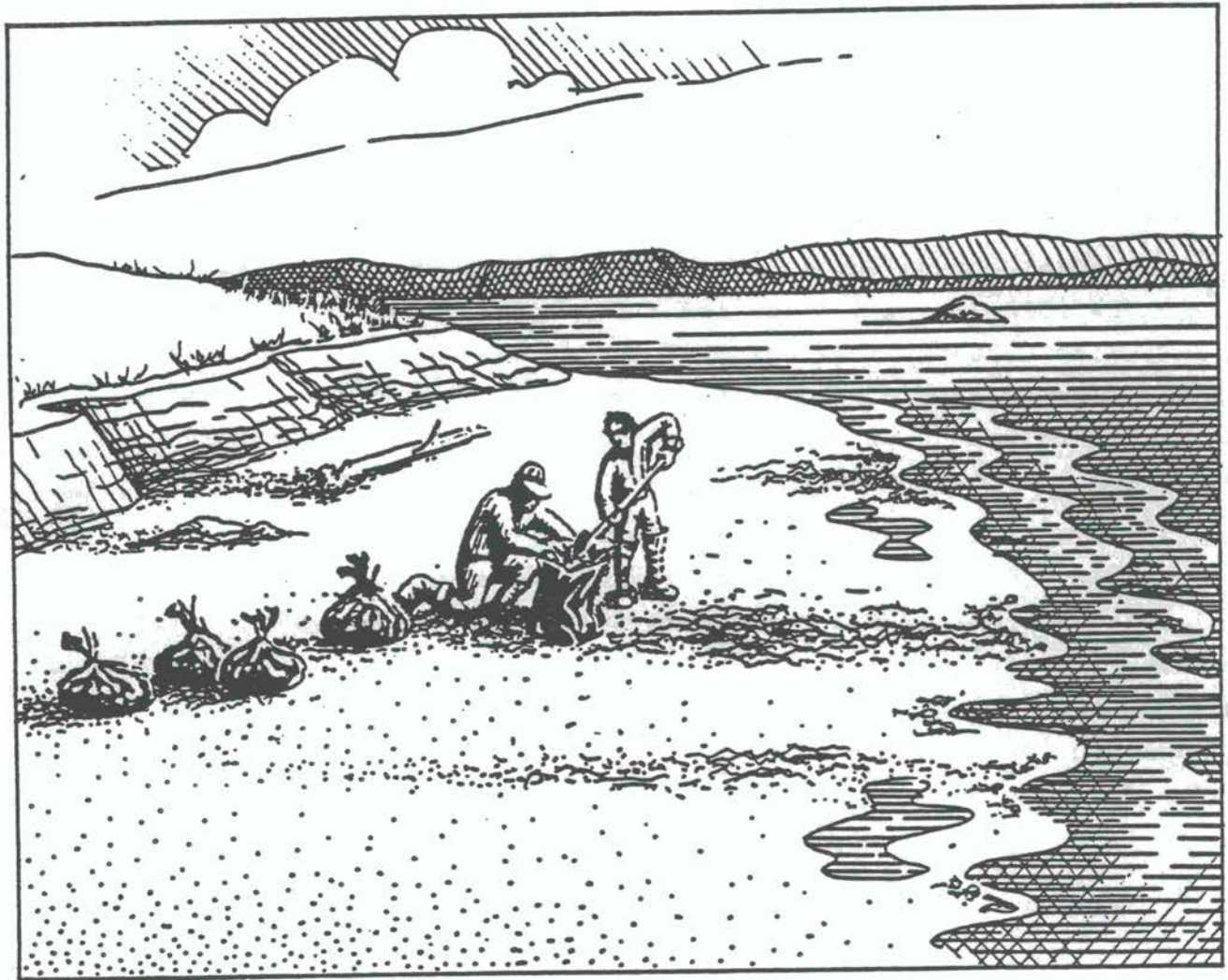


Figura 4.19 Recogida de petróleo y sedimentos contaminados por medio de palas y bolsas de plástico.

Lavado con agua a gran presión (8)(hidrochorro)

El lavado con un chorro de agua a gran presión ha demostrado ser el método más eficaz de separar los revestimientos de petróleo de los cantos rodados, las rocas y las estructuras artificiales. El hidrochorro presenta la máxima seguridad dentro de una zona protegida por una barrera cerca de la línea de agua, pero puede utilizarse eficazmente en la parte superior de la zona intermareal si se toman medidas adecuadas para contener el escurrimiento de agua y petróleo.

El lavado se hace con un chorro de agua a gran presión que separa el petróleo de casi todas las superficies. Con frecuencia, el agua se calienta hasta cerca del punto de ebullición para aumentar la eficacia. El hidrochorro sólo debe ser utilizado por personal capacitado. Un chorro demasiado fuerte eliminará toda la vida vegetal y animal y también puede dañar a las superficies artificiales.

El petróleo arrastrado por el hidrochorro puede adherirse a otra superficie o formar una mancha encima del agua. Debe impedirse que el petróleo contamine a otros materiales como rocas, grava, cieno o arena, y lo mejor para conseguirlo es dejar que el agua y el petróleo formen un charco o que el petróleo vuelva a entrar en el agua. Los procedimientos operatorios específicos para el lavado con agua a presión son:

1. Si el petróleo tiene que canalizarse hacia el agua o existe la posibilidad de que vuelva a entrar en el agua, deben anclarse barreras de contención más allá de la zona de resaca, o cerca del litoral cuando se trata de cursos de agua interiores.
2. Hay que empezar el lavado en el punto más alto y trabajar en dirección descendente. El lavado debe realizarse durante la marea alta o sincronizarse de modo que el punto más bajo quede limpio en la marea baja y el petróleo se recupere antes de que suba la marea y vuelva a contaminar la zona.
3. Deben ponerse hojas de plástico sobre las superficies adyacentes para prevenir una nueva contaminación y dirigirse la corriente de agua y petróleo separado a la zona deseada.
4. Pueden construirse terraplenes o zanjas o utilizarse barreras para seguir canalizando el petróleo y el agua hacia los charcos colectores o, en algún caso, para que vuelva a la rompiente o al curso de agua.

5. Pueden utilizarse bombas, camiones de vacío o espumadoras del litoral para transportar el petróleo recogido a recipientes adecuados para su evacuación.
6. Emplear agua salada en vez de agua dulce para reducir al mínimo el impacto ecológico.

Limpieza con vapor (9)

Este método se usa para separar los revestimientos de petróleo de los cantos rodados, las rocas y las estructuras artificiales. El vapor eleva la temperatura del petróleo adherido, con lo que disminuye su viscosidad y puede fluir por la superficie. Sin embargo, las plantas o los animales vivos fijos a la superficie difícilmente sobrevivirán a las altas temperatura de la limpieza con vapor y no suele recomendarse este método para superficies en las que vivan plantas o animales.

En este método se utiliza un chorro de vapor a gran presión que separa el petróleo de casi todas las superficies. El petróleo es arrastrado de una superficie a otra, por lo que deben tomarse precauciones para evitar la recontaminación en zonas no afectadas previamente. Los procedimientos operatorios específicos para la limpieza con vapor son:

1. Cuando se emplea en el litoral, debe impedirse que el petróleo vuelva a entrar en el agua, rodeando la zona de trabajo con barreras de contención que concentran el petróleo separado para recogerlo con espumadoras o equipo de vacío.
2. Hay que empezar el lavado en el punto más alto y trabajar en dirección descendente. La operación debe realizarse durante la marea alta o sincronizarse de modo que el punto más bajo quede limpio en la marea baja y el petróleo se recupere antes de que suba la marea y vuelva a contaminar la zona.
3. Deben ponerse hojas de plástico sobre las superficies adyacentes para prevenir una nueva contaminación y dirigirse la corriente de agua y petróleo separado a la zona de recogida.
4. Pueden construirse terraplenes o zanjas para seguir canalizando el petróleo y el agua hasta los pozos colectores o de nuevo hacia el agua.

Lavado a baja presión (14)

El lavado a baja presión se utiliza para separar petróleos ligeros, no pegajosos de sustratos poco contaminados, tales como fango, cantos medianos y grandes, rocas, estructuras artificiales y vegetación. Este tratamiento no perturba demasiado el sustrato pero presenta el riesgo de recontaminación en zonas no afectadas si el desagüe de la operación de lavado no se canaliza y recoge adecuadamente.

En cada situación particular debe hacerse un lavado de prueba para determinar la adecuación de esta técnica. Pueden montarse sistemas de lavado de todos los tamaños, aunque suelen ser más útiles las unidades portátiles pequeñas. No siempre es deseable la aplicación directa del chorro de agua al sustrato contaminado por petróleo ya que puede causarse erosión o daños a la flora y la fauna. En general, bañando el sustrato se consigue que el petróleo flote sobre la superficie sin producir efectos perjudiciales. El petróleo se puede encauzar luego hacia las zonas de recogida para su evacuación. Los procedimientos operatorios del lavado a baja presión son:

1. Deben anclarse barreras de contención inmediatamente después de la zona de resaca o cerca del litoral en las aguas interiores si existe la posibilidad de que el petróleo pueda entrar de nuevo en el agua.
2. El lavado debe completarse y el petróleo recuperarse en el periodo de la marea baja para evitar la recontaminación de la zona intermareal al subir la marea.
3. Empezar el lavado en el punto contaminado más alto y trabajar ladera abajo hacia el agua.
4. El desagüe se canaliza mediante terraplenes, zanjas o barreras hacia zonas cerradas o sumideros donde puede separarse por medio de camiones de vacío, bombas o absorbentes. Si el método se aplica en aguas interiores con poca o ninguna corriente, el desagüe puede verterse en el agua dentro de una barrera de contención y dirigirse hacia un punto de recogida con chorros de agua.
5. Debe sacarse el máximo provecho de las características de la línea litoral, de los vientos y de las corrientes.
6. Utilizar agua salada en vez de agua dulce para reducir al mínimo el impacto ecológico.

Colector y bomba de vacío (12)

Esta técnica se utiliza principalmente en playas de arena firme o fango en los casos de contaminación continua por petróleo. En el caso de una costa con una corriente a lo largo del litoral, se excava un colector en la zona intermareal y con el material extraído se construye un terraplén que se extienda desde la parte posterior del colector hasta la línea de resaca en la parte inferior de aquél. La corriente transporta el petróleo aguas abajo de la playa donde es interceptado por el terraplén y canalizado hacia el sumidero. Se utiliza un camión de vacío o bomba de desechos para separar el petróleo y el agua del pozo o colector. Los procedimientos operativos para construir el colector y accionar la bomba son:

1. Cavar un colector rectangular en un punto situado aguas abajo de la corriente respecto de la zona contaminada, de 1 a 2 m aproximadamente de profundidad en el extremo posterior y con una pendiente ascendente hacia la línea de resaca.
2. El colector debe construirse durante la marea baja y situarse de modo que su extremo posterior se encuentre justamente por encima de la marca de la marea alta, ocupando de 1/2 a 2/3 la anchura de la zona intermareal.
3. El terraplén debe tener altura suficiente para sobresalir del nivel del agua durante la pleamar y extenderse desde el extremo posterior del colector y a su lado hasta la parte inferior de la zona intermareal formando un pequeño ángulo aguas arriba.
4. Para recoger el petróleo de la superficie del colector se acciona manualmente una manguera de succión de un camión de vacío o una bomba de desperdicios.

Combustión (18)

La combustión se utiliza en el caso de sustratos y vegetación litorales o interiores en los que se ha acumulado suficiente petróleo de un tipo adecuado para sostener la combustión. También deben tenerse en cuenta los posibles daños ambientales resultantes de la combustión y el riesgo de quemar árboles en la zona postlitoral adyacente.

La viabilidad de la combustión debe determinarse mediante una prueba de ignición de una zona contaminada por petróleo lejos del sitio real. Pueden hacer falta temperaturas relativamente altas para la ignición, pero una vez iniciado, el fuego debe automantenerse para ser eficaz.

Los procedimientos operatorios específicos para la combustión son:

1. Debe prepararse un plan que prevea una combustión segura y controlada.
2. Si la zona es muy grande, puede ser necesario dividirla con cortafuegos para conseguir una combustión controlada.
3. El fuego se inicia en un extremo de la zona o la sección contaminadas de modo que se propague a favor del viento. Puede ser necesario un activador de la combustión o un lanzallamas para iniciar y mantener la ignición hasta producir suficiente calor para que la combustión prosiga por sí sola.
4. Debe dejarse que el fuego dure hasta que se agote o hasta que llegue a una barrera.
5. El empleo del fuego puede entrañar un riesgo para la seguridad y debe consultarse al servicio local de bomberos sobre cualquier operación de alguna importancia.

Empuje del sustrato contaminado hasta la rompiente (20)

Esta técnica se utiliza principalmente en playas de cantos medianos y grava en las que la separación de los sedimentos puede producir la erosión de la propia playa o de la zona postlitoral, o donde se prefiere la aceleración de la degradación del petróleo a la limpieza.

Se utilizan tractores de empuje (bulldozer) para empujar la capa contaminada de sedimentos hasta la zona intermareal inferior donde la acción de las olas y el mayor movimiento de los cantos o la grava separarán la mayor parte del petróleo de los sedimentos y acelerarán la degradación. Los sedimentos vuelven a la playa en un periodo de tiempo relativamente corto por la acción natural de las olas y las mareas. La sucesión de operaciones específicas de esta técnica es la siguiente:

1. La operación se practicará de preferencia durante la bajamar para evitar que el equipo funcione dentro del agua.
2. Si existe una corriente a lo largo del litoral, debe empezarse la limpieza en el extremo de la zona contaminada situado aguas arriba.
3. El bulldozer se acciona en primera marcha, con la hoja hasta una profundidad que no exceda de la del petróleo.
4. A partir del lado postlitoral, el sedimento contaminado por petróleo se empuja en línea recta hasta la parte inferior de la zona intermareal.
5. El bulldozer vuelve al punto de partida haciendo marcha atrás sobre la zona limpia.
6. Se sitúa el bulldozer para un segundo pase adyacente y ligeramente superpuesto al anterior.
7. La Figura 4.20 representa la manera de empujar un sustrato contaminado hasta la rompiente.

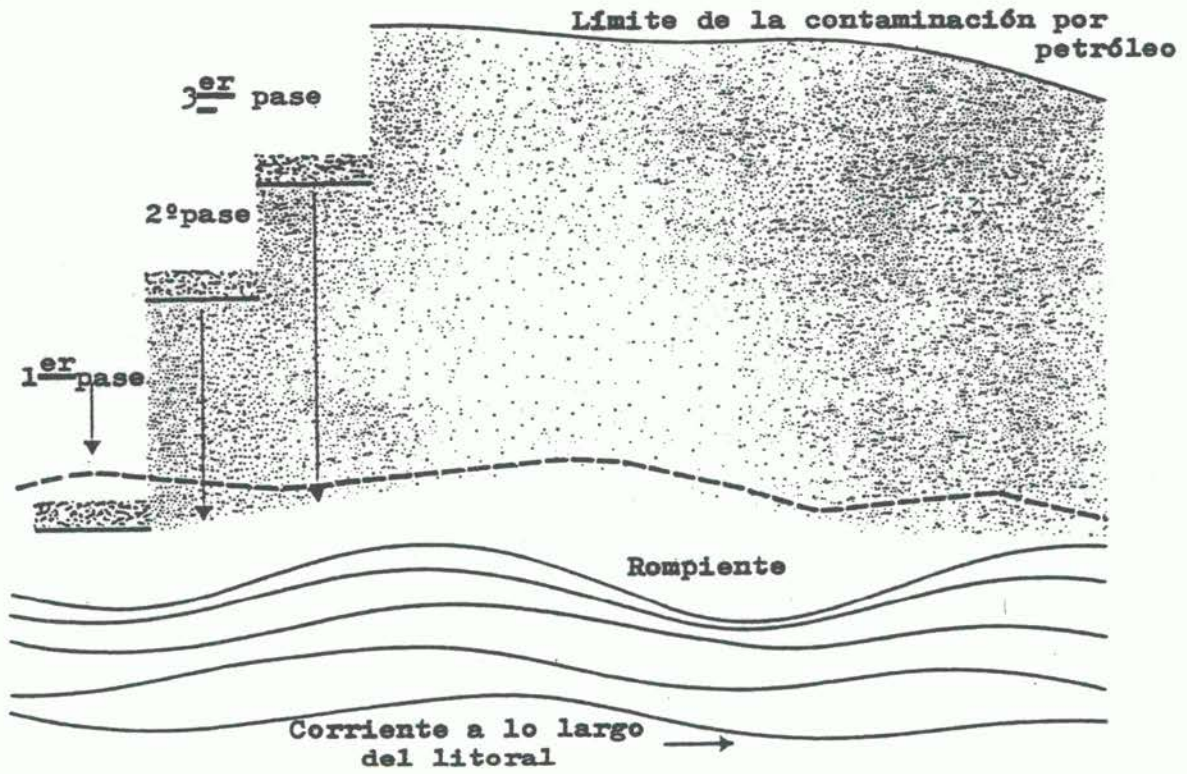


Figura 4.20 Sistema de limpieza por empuje del sustrato contaminado hasta la rompiente.

Arranque del pavimento (21)

Este método puede utilizarse en playas de alta energía , de cantos medianos y de grava o arena en las que unas espesas capas de petróleo han formado un pavimento sobre la superficie y la separación del sustrato provocaría erosión. Sólo debe emplearse en playas remotas o de baja prioridad porque esta técnica deja el petróleo en la playa para que se degrade de un modo natural.

El pavimento de alquitrán se rompe con un tractor sobre orugas o una cargadora frontal provistos de un escarificador en la parte posterior del tractor. El escarificador consiste en dos o tres grandes dientes curvos que son arrastrados por el pavimento durante el avance del tractor. La sucesión específica de las operaciones es la siguiente:

1. Se acciona el tractor en primera marcha a 1,6-3,2 km/hr.
2. Se hunde el escarificador hasta una profundidad ligeramente mayor que el espesor del pavimento.
3. Se empieza la escarificación por el borde postlitoral de la zona cubierta por el pavimento y en dirección paralela a la línea de resaca.
4. Se continúa hasta el final de la zona contaminada o hasta unos 200 o 300 m de distancia.
5. El tractor da la vuelta para hacer otro pase adyacente al anterior y en dirección opuesta.
6. La Figura 4.21 representa el sistema de escarificación aplicable en las zonas cubiertas por un pavimento.

A falta de aparato escarificador pueden utilizarse arados y rastrillos remolcados por vehículos sobre orugas o tractores, o bien azadones para arrancar el pavimento.

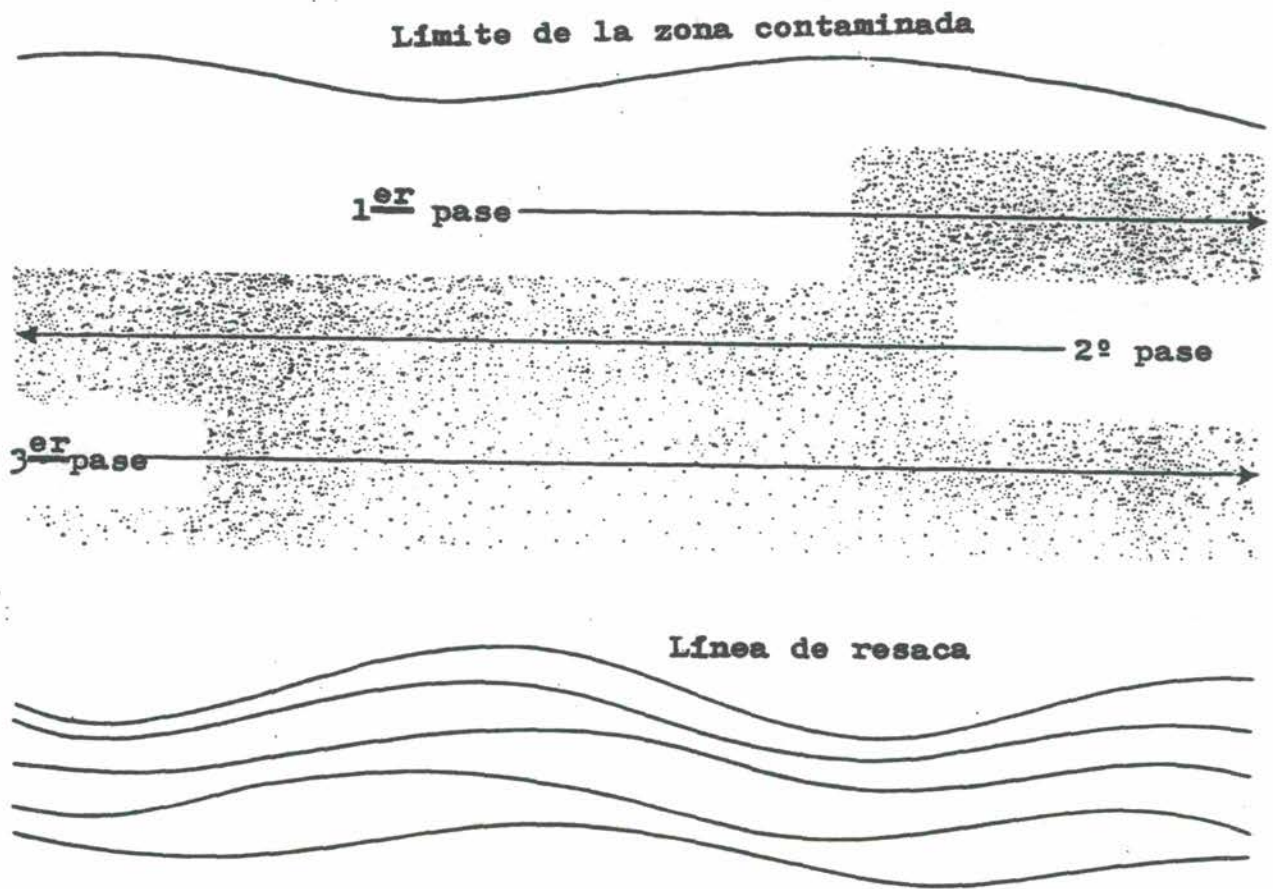


Figura 4.21 Sistema de limpieza por arranque del pavimento.

Arado de discos (22)

Esta técnica se utiliza en playas no recreativas de arena o grava que están ligeramente contaminadas y tienen una transitabilidad regular o buena. Aunque la técnica es muy rápida y eficaz, el petróleo no es separado sino sepultado en la capa superior de sedimentos donde se degrada de un modo natural.

Para sepultar el petróleo en el sustrato se emplea una cargadora o un tractor sobre orugas que remolcan un arado de discos del mismo tipo de los que se usan en agricultura. El procedimiento operatorio específico es el siguiente:

1. Empezar a lo largo del borde postlitoral de la zona contaminada.
2. Accionar el tractor en segunda marcha y continuar hasta el extremo de la zona contaminada o hasta unos 200 a 300 m de distancia.
3. El tractor da la vuelta e inicia un nuevo recorrido adyacente y ligeramente superpuesto al anterior. La Figura 4.22 representa el sistema de limpieza con discos.

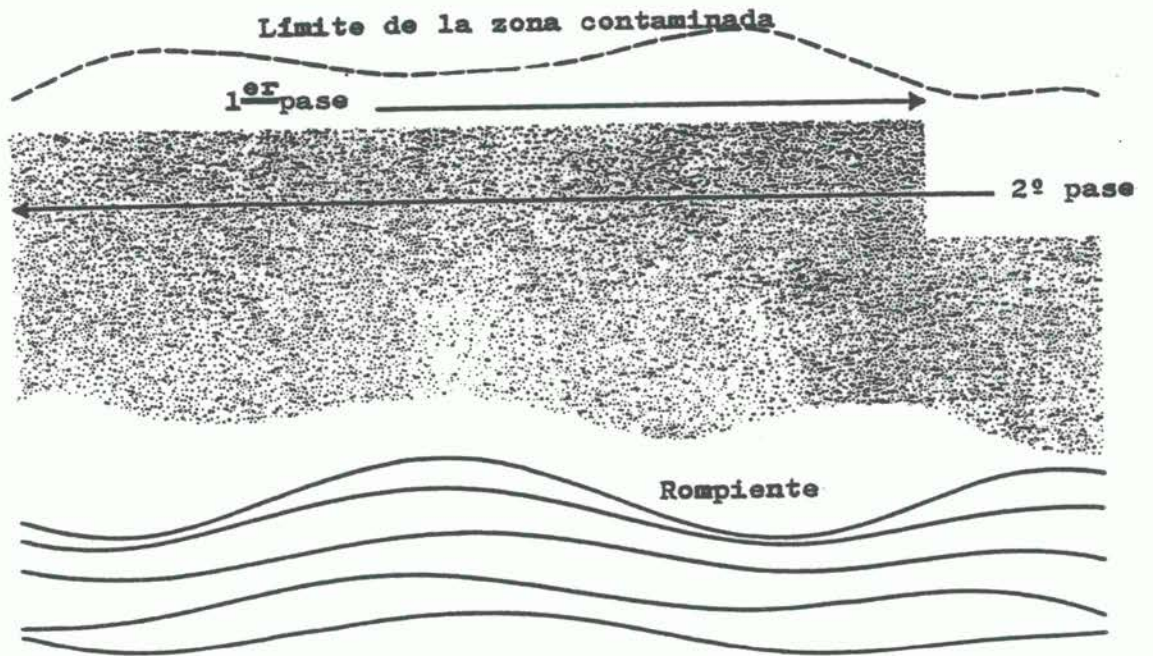


Figura 4.22 Sistema de limpieza con empleo de un arado de discos.

4648

- 119 -

TABLA 4.5 RESUMEN DE LAS TÉCNICAS DE LIMPIEZA DE MARISMAS

Técnica de limpieza	Situaciones en las que se utiliza la técnica	Equipo necesario	Impacto de la técnica sobre el medio ambiente
Lavado con agua a baja presión	Método preferido: Pequeños canales; alrededor de grupos de plantas y árboles; sobre vegetación, a lo largo de las orillas de canales y de la línea litoral	Un beta pequeño Pequeña bomba con motor de gasolina Mangueras de entrada y salida Pequeña espumadora flotante Tanques de almacenamiento portátiles Barrera de cortina ligera	Impacto mínimo: Aplastamiento de algunas plantas marismas; si el lavado se hace desde tierra
Absorbentes: sueltos, en almohadillas o cilindros	Absorbentes sueltos: Se usan en pequeños canales o en estanques con poca corriente Almohadillas o cilindros: se usan en estanques someros abiertos y en líneas litorales sin acumulaciones de detritos	Edones vacíos para almacenar el absorbente recuperado Limpiador industrial de vacío o redes para recoger el absorbente suelto, que puede dirigirse con chorros de agua	Los absorbentes sueltos son difíciles de recuperar y pueden aplastar las hierbas de las marismas
Espumadoras de cinta sin fin oleofílica	Método preferido: Canales o estanques abiertos con petróleo flotante; aguas arriba de las barreras de contención y a lo largo de las líneas litorales de marismas	Espumadora de cinta oleofílica Tanques portátiles para almacenar el petróleo recuperado Carruchas	Impacto mínimo
Tala y separación de la vegetación (sólo se usa cuando el lavado no separa el petróleo de las plantas)	Tala manual: Vegetación de los pequeños canales Tala mecánica: A lo largo de las orillas de canales o de la línea litoral	Tala manual: Tijeras, cortadoras de maleza mecánicas u hoces Tala mecánica: Segadora de malas hierbas	Daños en la superficie de la marisma El tránsito puede causar perjuicios a las plantas
Combustión	Se usa en grandes zonas contaminadas, si el petróleo puede arder. Es probablemente adecuado cuando la marisma se encuentra en la fase de marchitez	Lanzallamas de propano portátiles o quemadores de malas hierbas	Considerable contaminación atmosférica a causa del humo Pueden arder zonas no contaminadas
Separación del suelo y de la vegetación	Se usa cuando el sustrato está profundamente contaminado por petróleos tóxicos y persistentes	Dragadora, arrastradora, cucharón de quijadas, cargadora frontal, retroexcavadora, bulldozer	Impacto importante: Destruye las marismas; requiere una restauración ulterior completa

Sólo en marismas de tipo spartina (herbáceas).

4.50

11

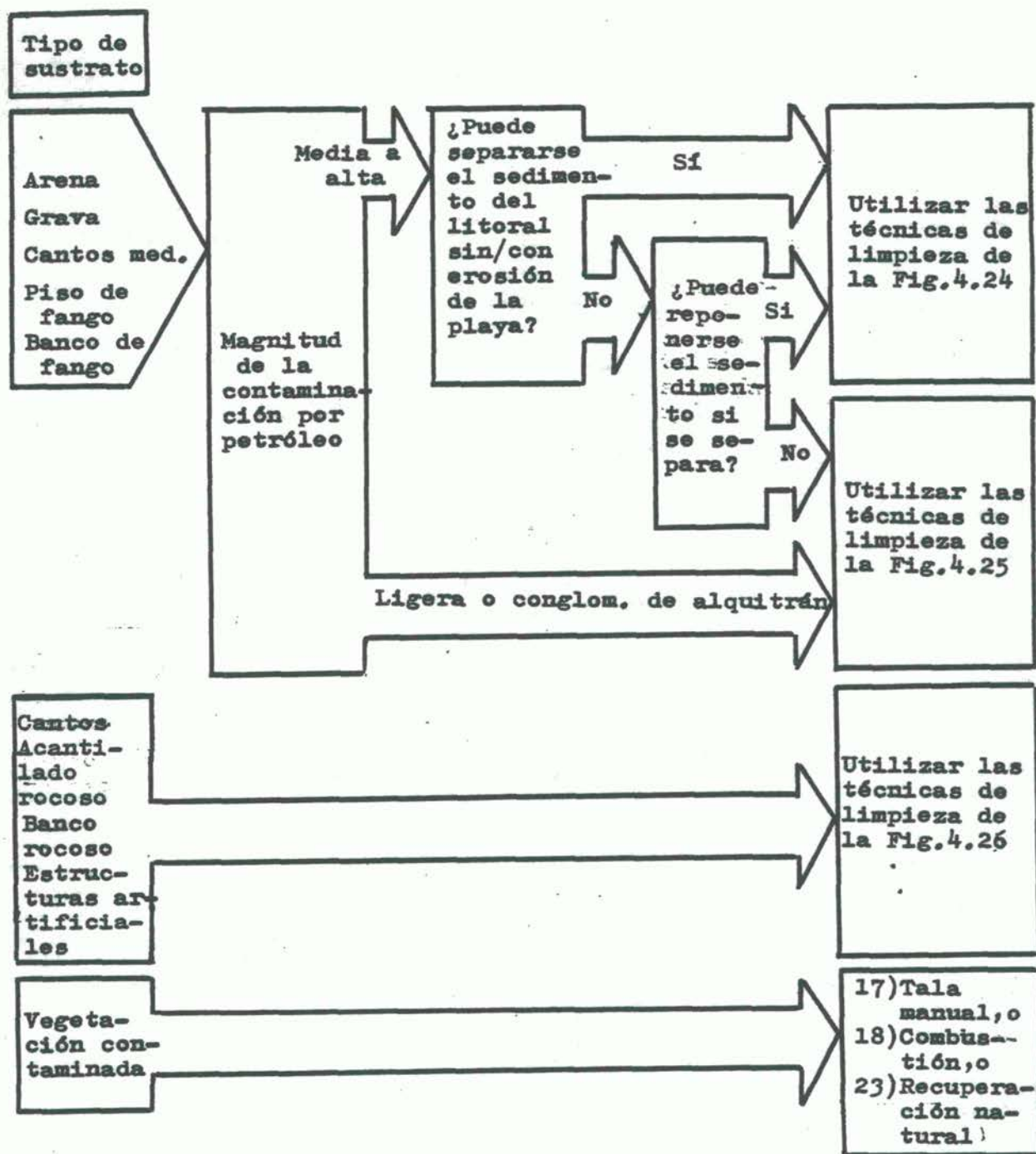


Figura 4.23 Clave para las guías de decisión.

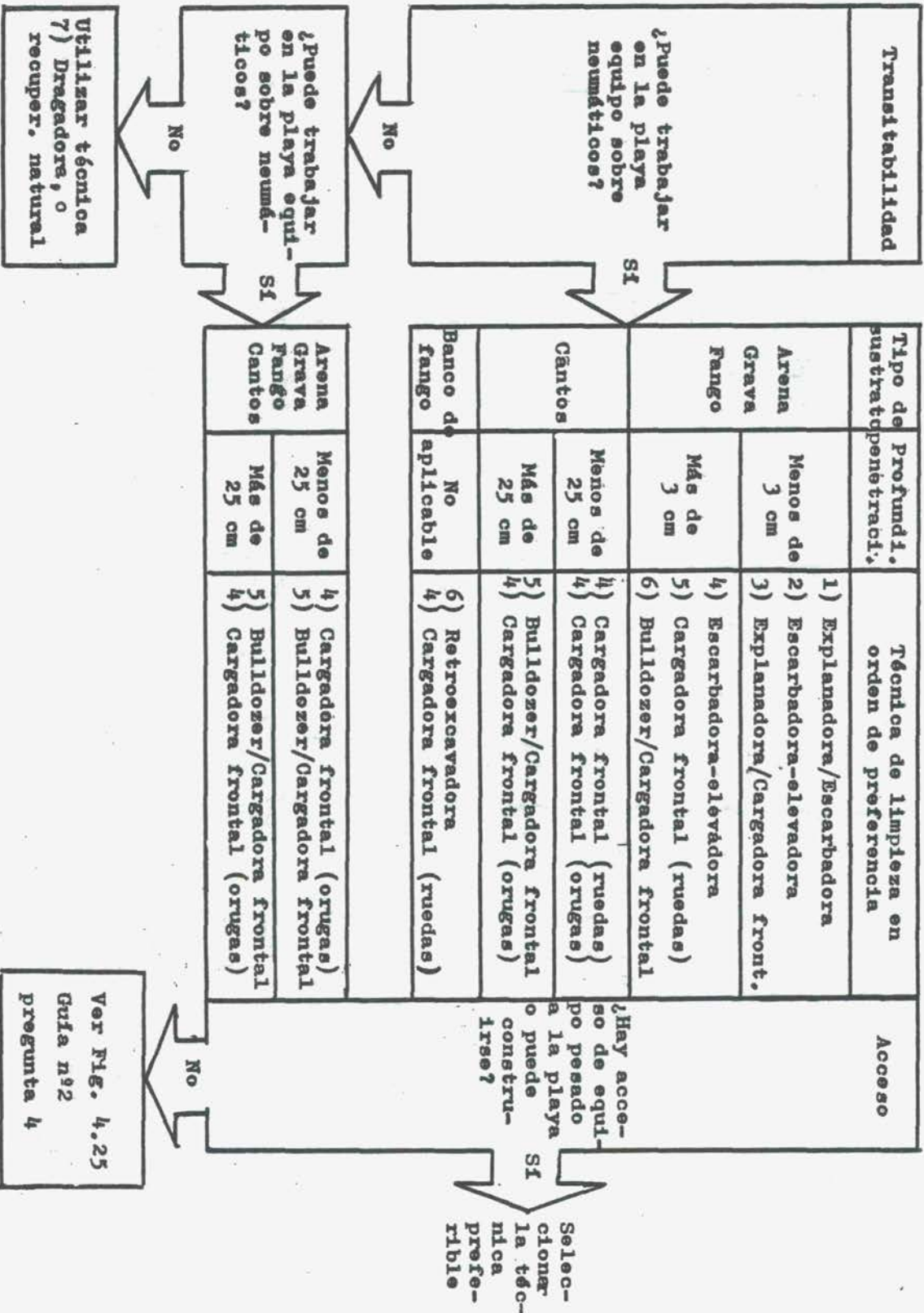


Figura 4.24 Guía para la adopción de decisiones de limpieza n° 1.

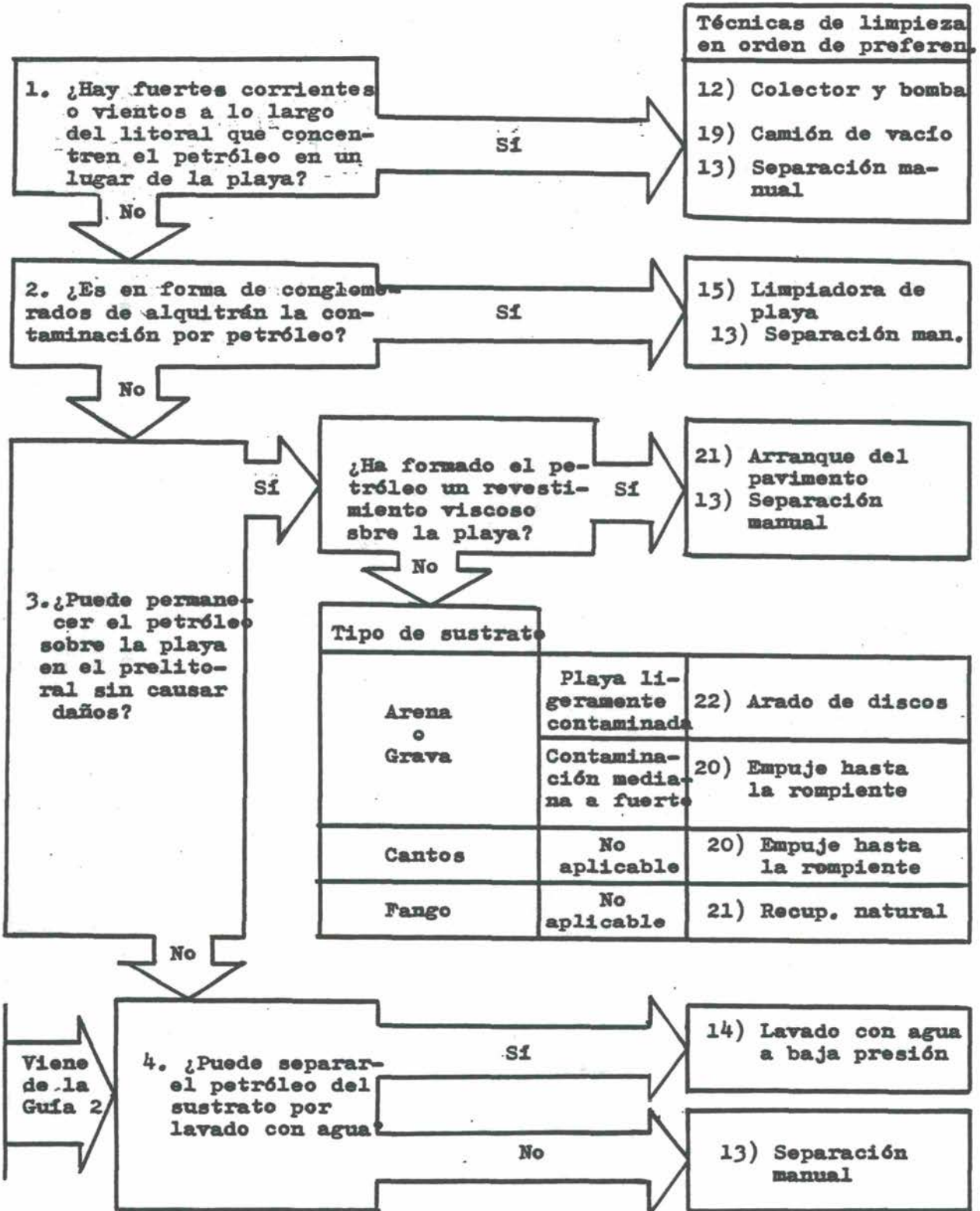


Figura 4.25 Guía para la adopción de decisiones de limpieza nº2.

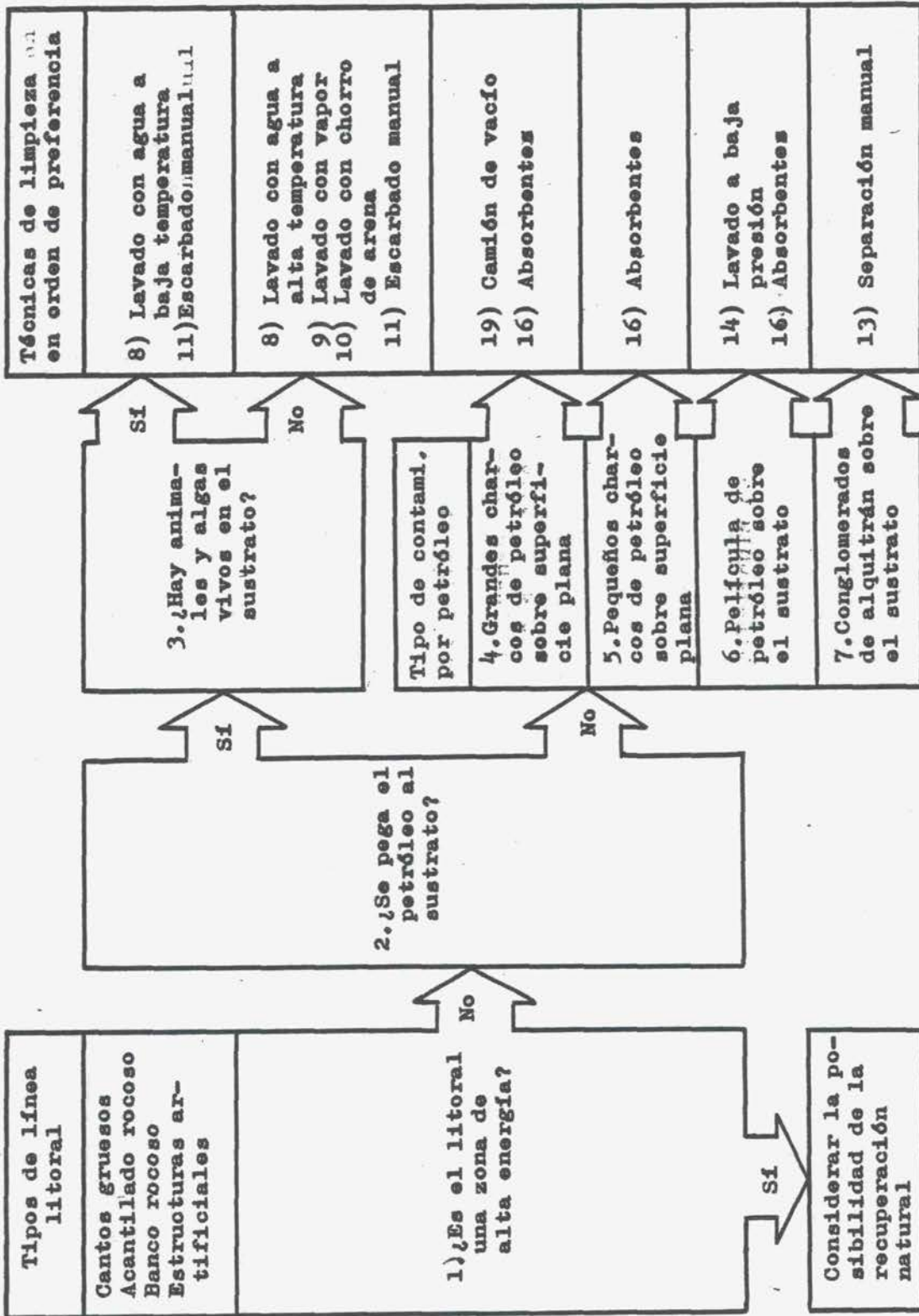


Figura 4.26 Guía para la adopción de decisiones de limpieza nº 3, aplicable a litorales de cantos gruesos, roca o estructuras artificiales.

4.6 Conglomerados de alquitrán y máquinas de limpieza de playas

- los conglomerados de alquitrán son corrientes en muchas playas de la región del Caribe (Fig. 4.27)
- se han proyectado y ensayado varias máquinas para eliminar los conglomerados de alquitrán de las playas de arena
- la limpiadora de playas Massey-Ferguson Brighton consiste en una criba cónica rotatoria, con cribas intercambiables de distintos tamaños de malla, remolcada por un tractor (Nightingale, 1973)
- la limpiadora de playas Beemer es un sistema remolcado por tractor que consiste en un transportador de barrotos con dos tamaños de criba de barras intercambiables (Nightingale, 1974)
- un tercer método, proyectado en el Warren Spring Laboratory del Reino Unido utiliza discos de dientes gruesos para recoger los conglomerados de alquitrán (Wardley-Smith, 1976,t.188)
- otros adelantos más recientes incluyen las pruebas realizadas con i) una rueda con espinas (sistema Caltrop); ii) una cadena sin fin y iii) un sistema de discos (Russell et al., 1979)
- una máquina utilizada para recoger conglomerados de alquitrán y desperdicios de las playas recreativas de Bermuda consiste en un sistema de cribas
- para limpiar manualmente pequeñas cantidades de conglomerados de alquitrán en cortas secciones de playa pueden ser adecuados los rastrillos de dientes finos



Figura 4.27 Líneas de conglomerados de alquitrán, Long Bay (Chancery Lane), Barbados.

4.7 Métodos de evacuación

- cerca del lugar en el que se realizan las operaciones de limpieza debe haber zonas de almacenamiento temporal
- los fosos revestidos son un método sencillo y poco costoso para almacenar líquidos; los fosos largos y estrechos son más fáciles de construir y más prácticos que los fosos anchos abiertos; si los fosos no son practicables, pueden construirse terraplenes o diques, que también deben estar revestidos
- los materiales sólidos pueden almacenarse sobre la superficie pero, a ser posible, ésta debe revestirse y rodearse con un dique bajo (Fig. 4.28)
- la separación del petróleo y el agua puede realizarse in situ con bidones o sumideros de unos 200 litros (Fig.4.29), para volúmenes relativamente pequeños de petróleo, a fin de reducir el volumen del material transportado para la separación final
- la evacuación permanente puede depender de:
 - a) a) las técnicas de recuperación del petróleo
 - . separación petróleo/agua
 - . separación de una emulsión
 - . lavado de sólidos
 - . tratamiento térmico
 - . tratamiento de refinería
 - b) la estabilización
 - . empleo para construcción de carreteras
 - . relleno de tierras o sepultamiento
 - c) la destrucción
 - . incineración in situ (véase Wayment, 1977) o después de un almacenamiento temporal
 - . degradación biológica (labranza o elaboración de abono)
- la eficacia de una operación de limpieza depende con frecuencia del transporte del petróleo o de los sedimentos y detritos contaminados a lugares de evacuación temporales o permanentes; esta actividad requiere disponer de equipo de transporte adecuado (barcazas, camiones cisterna, etc.) y aplicar un sistema logístico bien organizado

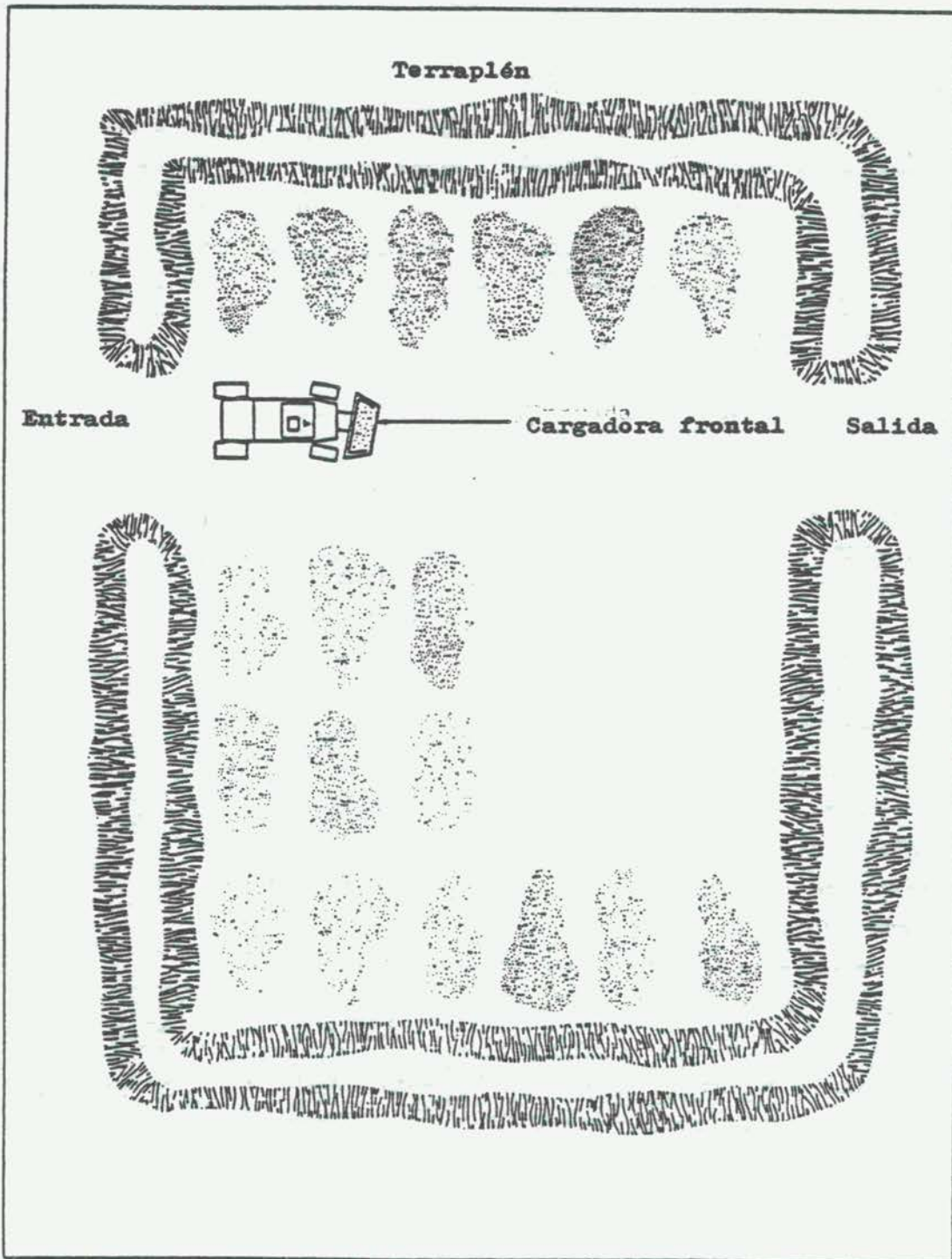
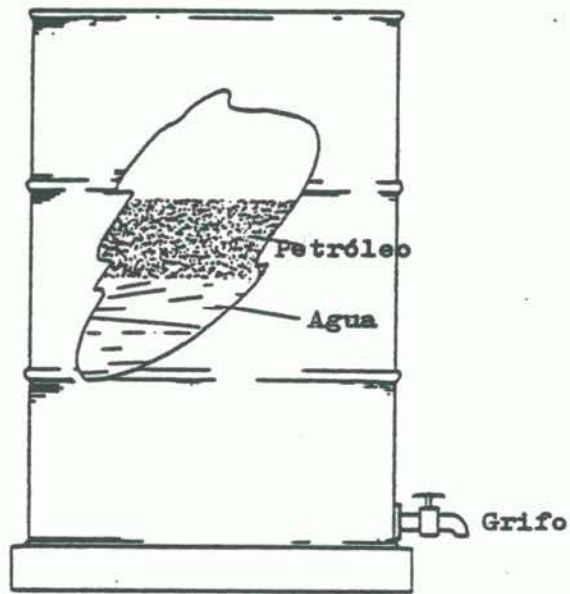
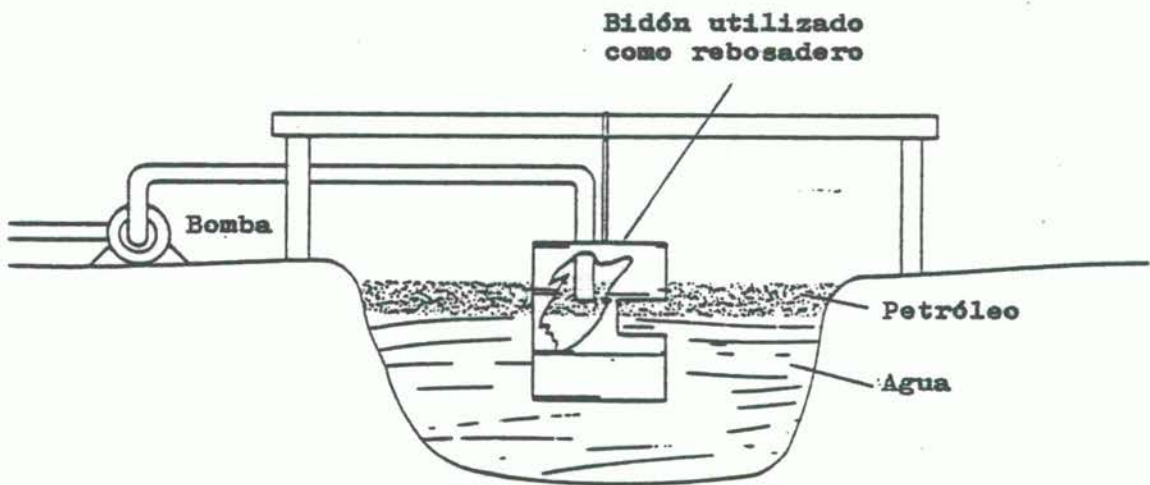


Figura 4.28 Configuración propuesta para un lugar de almacenamiento temporal de desechos



A. Bidón de 200 litros para la separación de agua y petróleo



B. Bidón de 200 litros y sumidero para la separación de agua y petróleo.

Figura 4.29 Técnicas de separación de petróleo y agua.

4.60

4.8 Daños que puede causar la limpieza

- la separación de sedimentos de la zona litoral reduce el volumen de material de la playa y, si la velocidad de reposición natural por transporte de sedimentos es lenta, puede producirse un retroceso de la playa (Owens and Drapeau, 1973)
- para evitar ese efecto hay que procurar separar la menor cantidad posible de sedimentos de la playa durante la operación de limpieza
- es necesario conocer la velocidad de reposición natural de los sedimentos para tomar decisiones sobre la separación de sedimentos cuando esta operación afecte a algo más que la capa superficial contaminada; este procedimiento suele requerir el asesoramiento de un geólogo o ingeniero costero
- la velocidad de reposición de sedimentos del tamaño de cantos rodados pequeños y medianos suele ser sumamente lenta, de modo que es muy poco probable que se produzca la recuperación natural de este tipo de playa si se retiran sedimentos
- el daño (erosión) por separación de sedimentos es una preocupación particular en las islas de la región estudiada, pues en casi todas las zonas son limitadas las fuentes de reposición de sedimentos
- en el plano local, la identificación de las direcciones del transporte de sedimentos y de los puntos terminales del transporte ("sumideros" o secciones de acumulación) contribuirá considerablemente a establecer las estrategias de limpieza; por ejemplo, el empleo de barreras de desviación para dirigir el petróleo hacia playas en las que la separación de sedimentos no pueda causar erosión (véase Fig. 4.9)
- la vegetación de la superficie (dunas, manglares y marismas) puede ser gravemente perturbada por el movimiento incontrolado de equipo o de personal
- si el acceso al litoral tiene que hacerse por zonas cubiertas de vegetación debe limitarse dicho acceso a un corto número de rutas y, a ser posible debe emplearse un recubrimiento superficial, por ejemplo de esteras, tanto para mejorar la tracción como para reducir la intensidad del daño
- en los ambientes de dunas y marismas, el daño es más grave cuando se perturban los sistemas radicales de las plantas
- puede encontrarse más información sobre la limpieza por diferentes técnicas de lucha en el caso a) de las playas y costas rocosas en Foget et al., 1979, y en el caso b) de los manglares y las marismas en Maiero et al., 1978

4.9 Accesibilidad y logística

- el movimiento de equipo, personal y petróleo o material contaminado constituye una importante restricción logística en casi todos los lugares
- en la selección de las técnicas de limpieza deben tenerse en cuenta el almacenamiento, el transporte y la evacuación final del material recogido; las operaciones de separación de material en gran escala tendrán probablemente que restringirse a los lugares adyacentes a las carreteras por las que sea posible el acceso de vehículos al litoral
- las categorías de accesibilidad enumeradas en la Tabla 4.3 describen los principales factores que deben tenerse en cuenta al planificar la logística de una operación de respuesta en un sitio dado
- en el caso del acceso por tierra hay que considerar la construcción de rutas de acceso para equipo pesado o para vehículos ligeros

TABLA 4.3 ACCESIBILIDAD DE LA LINEA LITORAL

Acceso por tierra

1. Carreteras o pistas que pueden sostener el peso de equipo pesado o camiones, con acceso directo a la zona litoral o a la playa
2. Pistas o caminos que ofrezcan acceso de vehículos ligeros a la zona litoral
3. Pistas o caminos que sólo ofrezcan acceso de peatones
4. Inaccesible por tierra

Acceso por agua

1. Acceso sin obstrucciones a la playa o la línea litoral para botes y barcazas
2. Acceso de aguas someras para pequeños botes solamente
3. Inaccesible por agua

Acceso por aire

1. Terreno llano disponible para el acceso de helicópteros
2. Inaccesible por aire

4.10 Requisitos operacionales

(NOTA: LA SEGURIDAD DEL PERSONAL ES UN REQUISITO PREVIO EN TODAS LAS OPERACIONES DE LUCHA CONTRA LOS DERRAMES)

a) Clima

- las altas temperaturas, los vientos de gran velocidad o las condiciones tormentosas imponen restricciones tanto en el equipo como en el personal

b) Accesibilidad

- la falta de zonas de estacionamiento adecuadas cerca de los sitios de operaciones puede imponer restricciones al despliegue de equipo o de personal
- las aguas prelitorales no cartografiadas pueden limitar el movimiento por mar
- los mapas o cartas anticuados de las zonas costeras pueden ser un inconveniente en las zonas de cambios rápidos de la línea litoral

c) Recursos

- la disponibilidad de material y de equipo puede limitar la escala de las operaciones de lucha
- los medios de transporte del equipo y del personal (tanto por tierra como por mar) pueden limitar el desplazamiento de recursos entre distintas zonas de operaciones y dentro de ellas

4.11 Estrategia de lucha contra los derrames

- la planificación de la lucha contra los derrames en caso de contingencia comprende:
 - . el reconocimiento de las posibles fuentes de contaminación
 - . la identificación del daño que puede producirse
 - . la identificación de los factores ambientales característicos de la zona, y
 - . la organización de un equipo de respuesta en lo que se refiere a coordinación, funciones y responsabilidad
- la aplicación de una estrategia de limpieza requiere inicialmente:
 - . el conocimiento de la posición, el movimiento, el volumen y el tipo del petróleo
 - . la evaluación del impacto potencial del petróleo (sobre las actividades humanas y los recursos biológicos), y
 - . una infraestructura de comunicaciones y apoyo logístico destinada a combatir los derrames de petróleo
- la definición inmediata de los sitios donde el petróleo podría causar un fuerte impacto permite movilizar los medios de protección; en la mayoría de los casos, estas decisiones no pueden tomarse hasta que ocurre el derrame y se han realizado operaciones de reconocimiento
- los estudios o inventarios anteriores al derrame pueden proporcionar valiosa información para el proceso de adopción de decisiones; por lo común, en el momento mismo del derrame no hay medios ni tiempo suficientes para realizar ese acopio de datos
- en la mayoría de los casos tiene poca utilidad limpiar una sección de la costa antes de que haya pasado todo riesgo de contaminación o recontaminación, pues en caso contrario podría tenerse que limpiar la misma sección de la costa más de una vez
- en las playas, es preferible separar el petróleo superficial o los sedimentos contaminados si existe la posibilidad de que el petróleo sea sepultado por los procesos normales de la playa o vuelva a flotar en el agua y contaminar las costas adyacentes
- la mayor parte del petróleo se recupera durante las primeras etapas de una operación de lucha (Fig. 4.30) y a medida que pasa el tiempo aumentan la dificultad y el coste (Fig. 4.31)
- la selección de técnicas apropiadas y la supervisión cuidadosa de la ejecución de una actividad de lucha son esenciales para evitar mayores daños de los que causaría el petróleo solo
- en las playas, el objetivo de la operación debe ser separar la menor cantidad posible de sedimentos no contaminados

4.66

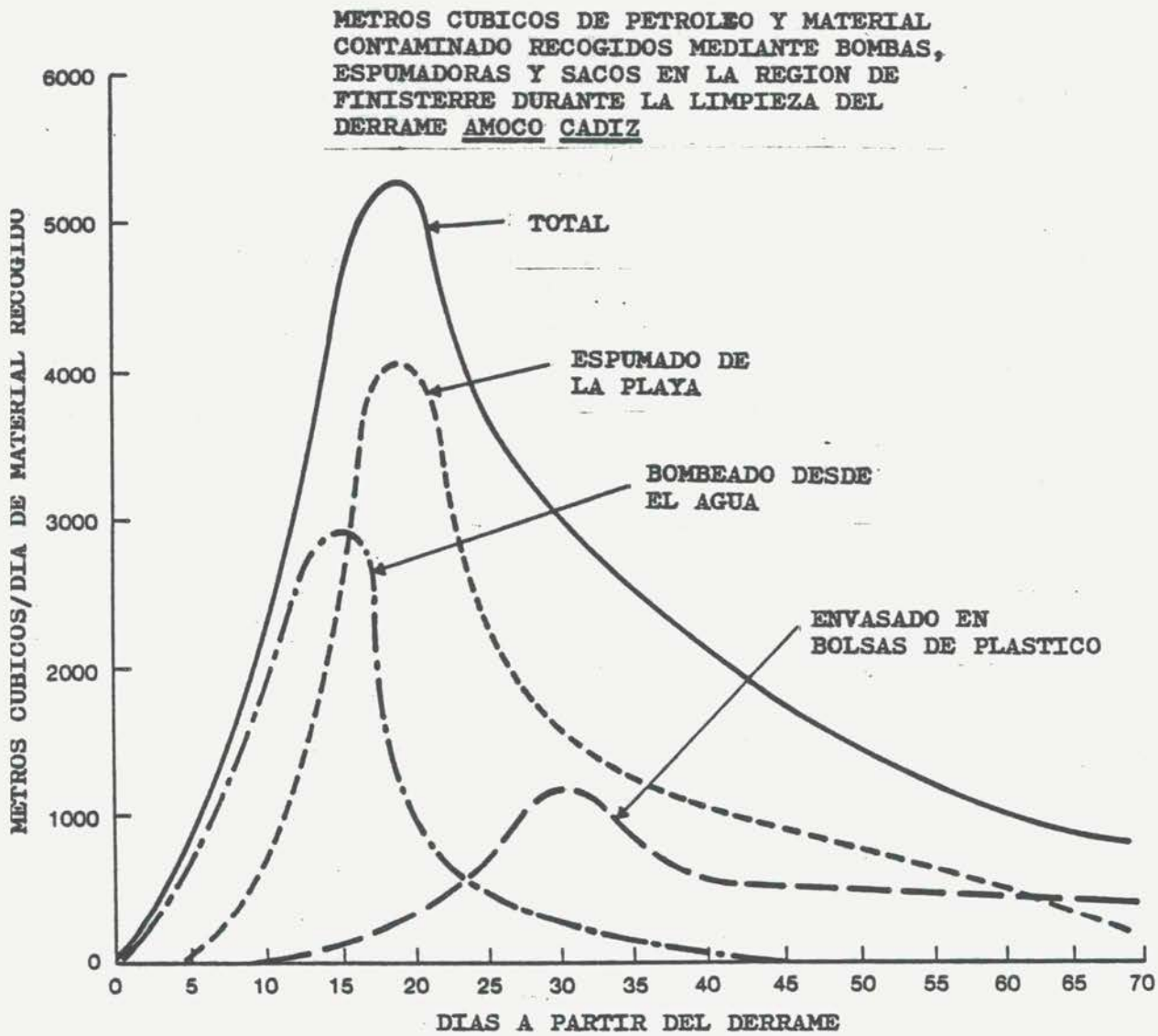


Figura 4.30 Limpieza del derrame AMOCO CADIZ (según Exxon, 1979).

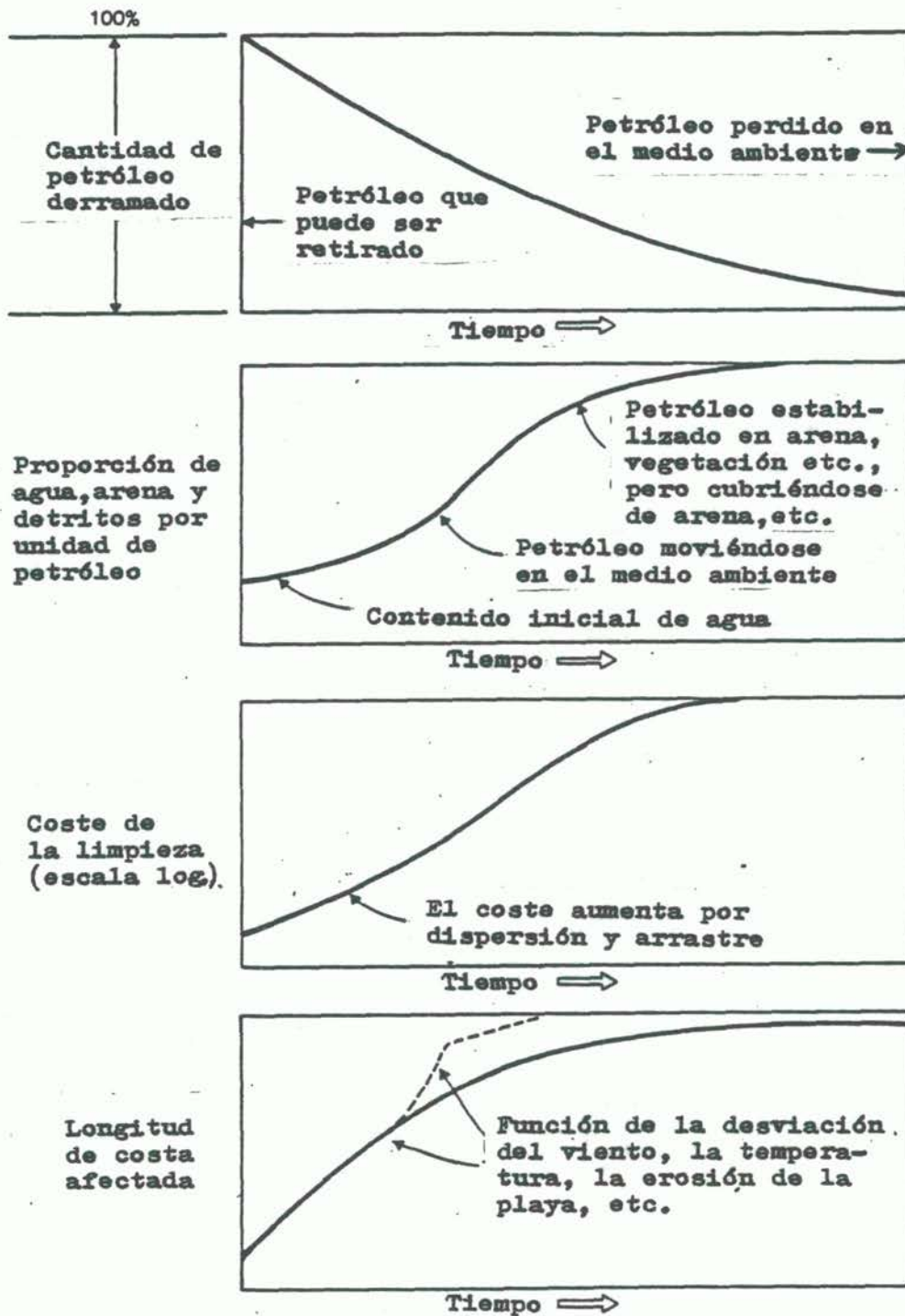


Figura 4.31 Efecto de una respuesta de limpieza diferida (según Exxon, 1979).

- hay que tener sumo cuidado en los ambientes de manglar y marisma, pues las operaciones de limpieza pueden causar un daño importante al hábitat, mientras que el petróleo solo puede tener menos impacto y el hábitat un alto potencial de recuperación
- en los ambientes de marisma y manglar debe evitarse lo más posible el tránsito por el hábitat
- el acceso a la zona contaminada desde el postlitoral debe controlarse para evitar daños a la vegetación (por ejemplo, en los ambientes de dunas)
- el sitio de evacuación o almacenamiento temporal debe estar cerca de la zona de limpieza y convenientemente construido para prevenir fugas o salpicaduras
- no es posible establecer una serie de reglas o respuestas prefijadas pues las decisiones sobre protección y limpieza que se tomen deberán ser adecuadas en el momento del derrame
- una operación de lucha contra un derrame requiere una serie de decisiones sucesivas para determinar la línea de acción más apropiada para una sección de la costa (Fig. 4.31)
- el objetivo de la planificación anterior al derrame es a) establecer una organización de lucha, b) situar medios de lucha, c) formar personal y d) obtener y clasificar datos que cambien poco a lo largo del tiempo

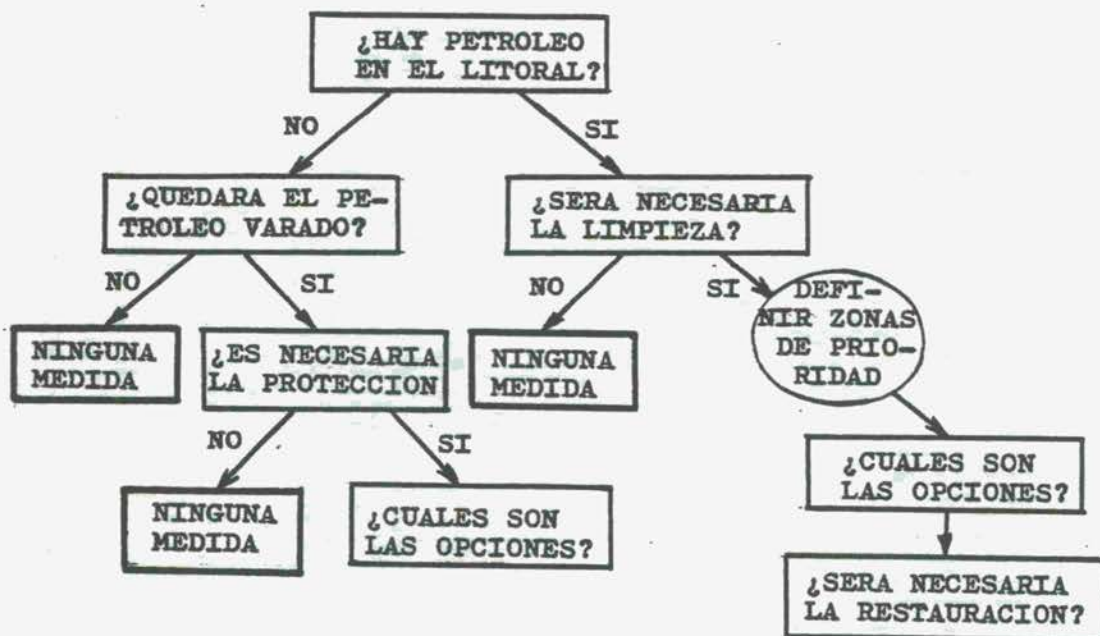


Figura 4.31 Arbol de decisiones sobre la estrategia de lucha contra un derrame.

EXCURSIONES Y CUESTIONARIOS

5. EXCURSIONES Y CUESTIONARIOS

Una parte integrante de esta reunión de trabajo consistió en examinar secciones representativas de líneas litorales que ilustraban rasgos o características descritas en las conferencias.

En cada localidad, el grupo examinó una serie de aspectos utilizando un cuestionario que se había preparado para adquirir un conocimiento del carácter físico (geológico y oceanográfico) del lugar, así como de los factores que determinan los requisitos y las prioridades de la respuesta. En los ejemplos aquí incluidos, el primer cuestionario (para Fitts Village Park) sólo trata de los parámetros físicos de la zona litoral, mientras que el segundo (Oistins) combina el carácter físico de la zona litoral y los factores relacionados con el impacto de un derrame y la limpieza de la línea costera.

Se pueden preparar otros tipos de cuestionarios, sea para seminarios de formación sea para incidentes de derrame reales, así como para ambientes costeros específicos o para secciones específicas de la costa. Owens (1979a, 1979b) ha presentado una serie de cuestionarios para las regiones de los Grandes Lagos y la Isla Príncipe Eduardo del Canadá respectivamente, y cuestionarios similares de aplicación más general se encuentran en Foget et al. 1979.

RESUMEN DE EXCURSIONES

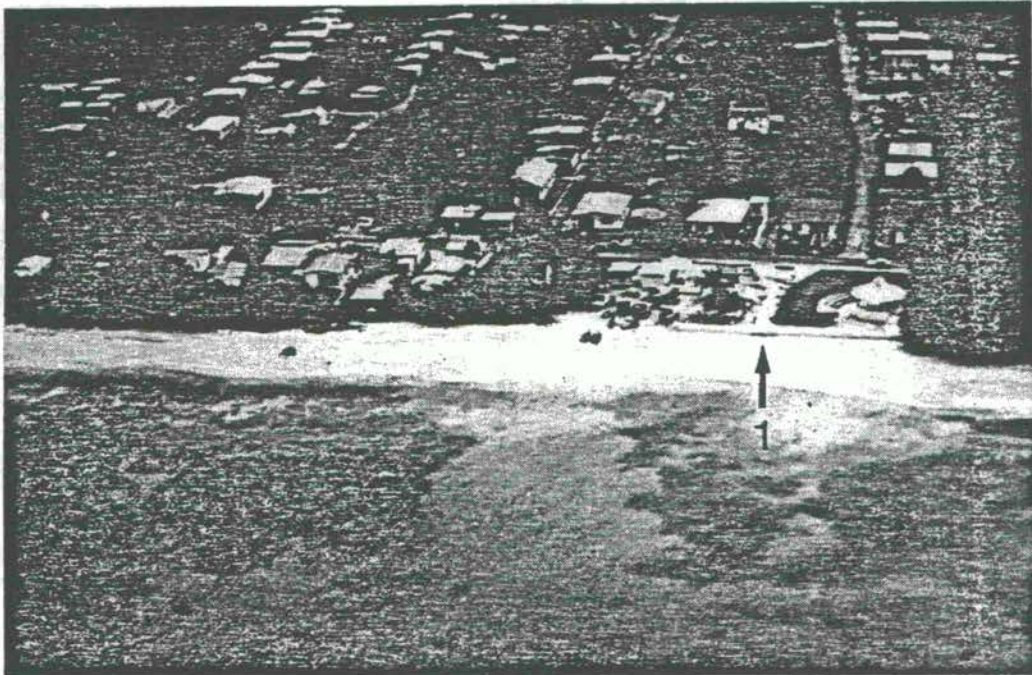
Parada Miércoles, 2 de febrero

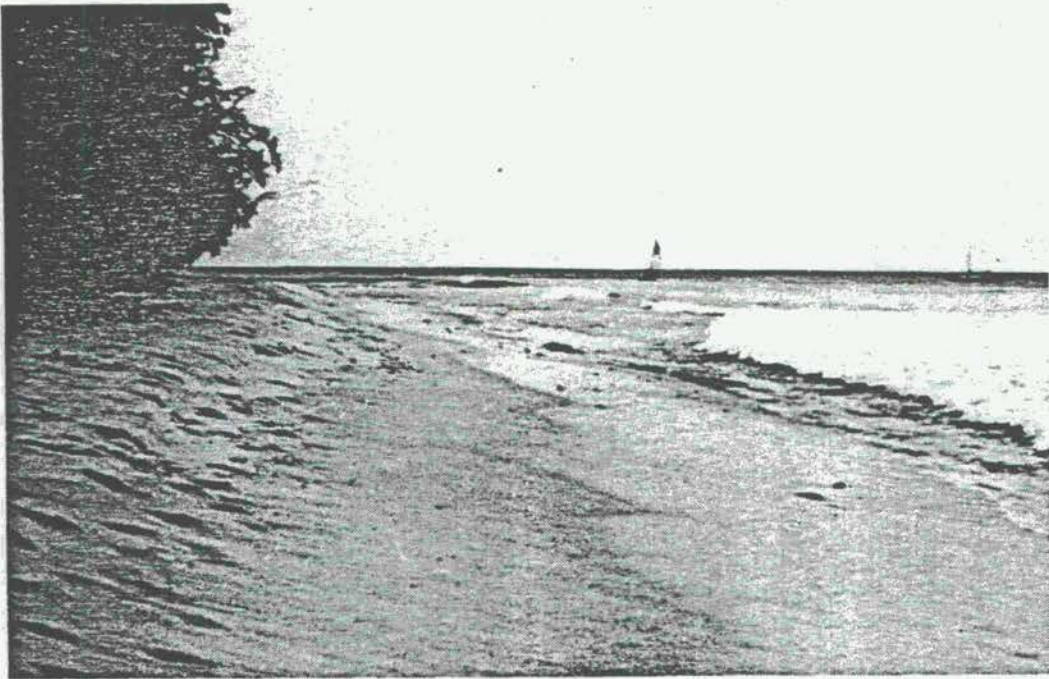
1. Fitts Village Park
2. Barbados Beach Village
3. Lakes Beach
4. Cattle Wash
5. Hillcrest

Jueves, 3 de febrero

6. Rockley Beach
7. Oistins
8. Long Bay (Chancery Lane)
9. Long Bay (Sam Lord's Castle)
10. Ragged Point

PARADA † - Fitts Village Park





PARADA 1 - Fitts Village Park

A. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera (MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MMMA)	_____	_____	_____
Detritos: _____	situación: _____	cobertura _____	%
Otros rasgos: _____			

B. EXPOSICIÓN Y ENERGIA DE LAS OLAS

Carácter del prelitoral: somero: _____ arrecifes _____ profundo _____

Perfil costero: dentado: _____ irregular _____ recto _____

Fetch máximo: 10 km _____ 10-100 _____ 100-1.000 _____ 1.000 _____

Amplitud de las mareas: muertas _____ vivas _____

Exposición (a los vientos prevalecientes/dominantes):

protegida _____ parcialmente protegida _____ abierta _____

Altura estimada de la rompiente: _____ cm

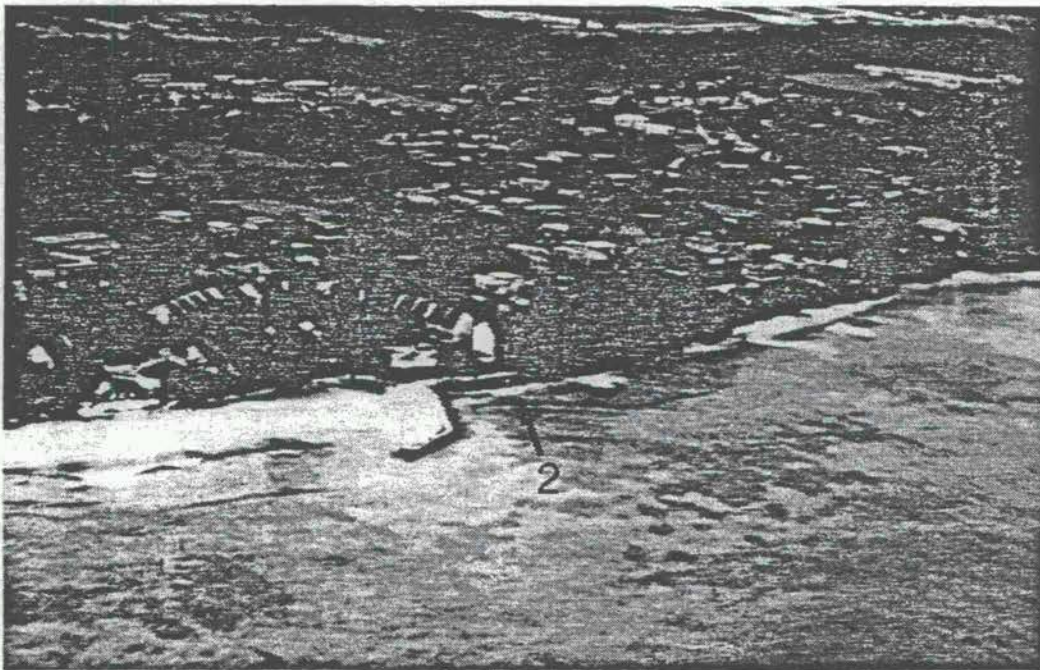
Tipo de rompiente: ascendente _____ gradual _____ descendente _____

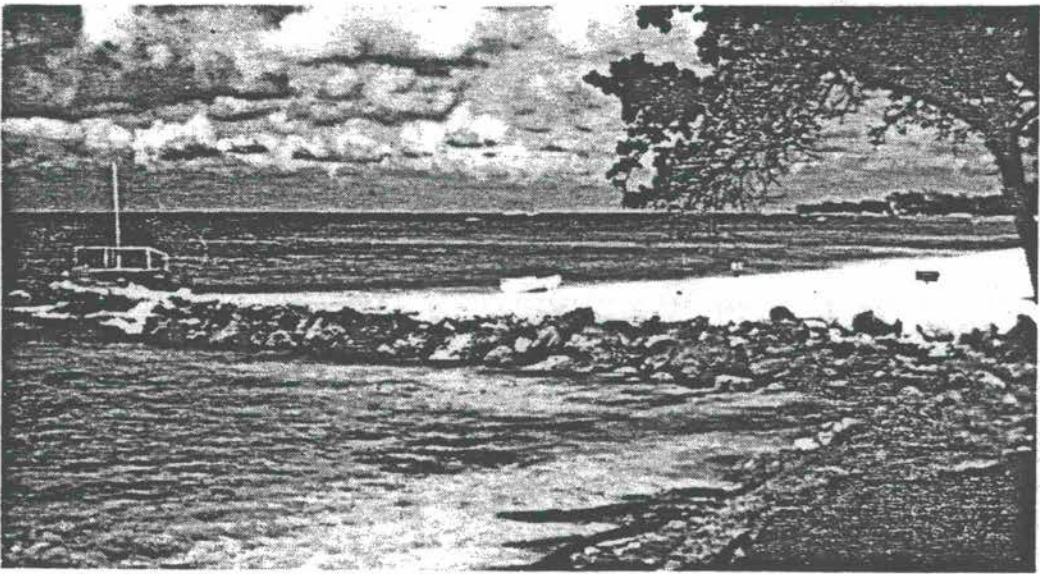
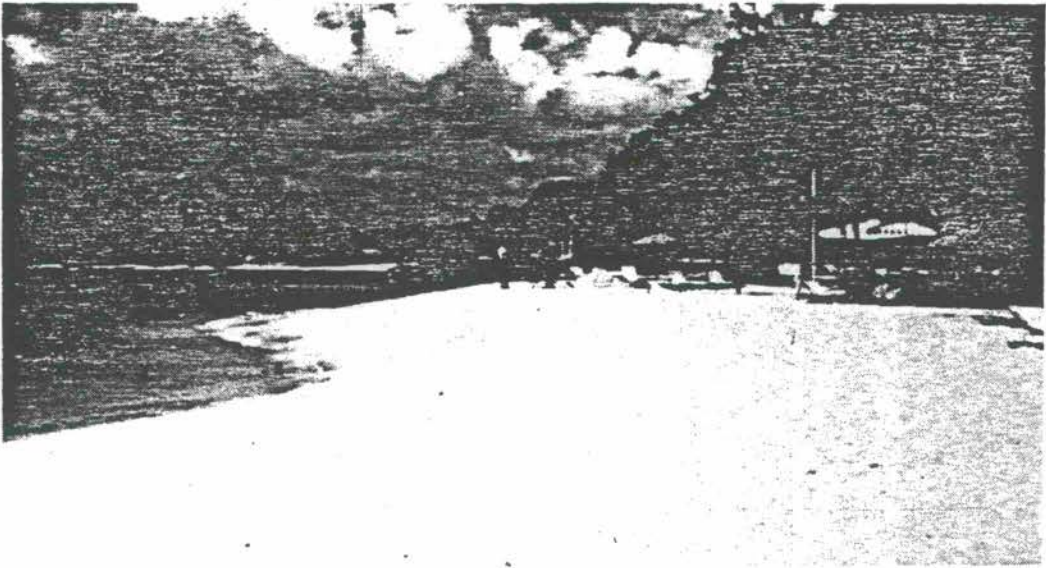
Angulo de rompiente: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Peatones	tierra:	SI/NO	
	mar:	SI/NO	
Vehículos ligeros.....	tierra:	existente _____	necesario _____
	mar:	SI/NO	
Vehículos pesados.....	tierra:	existente _____	necesario _____
	mar:	SI/NO	

PARADA 2 - Barbados Beach Village Resort





PARADA 2 - Barbados Beach Village Resort

A. CARACTER DE LA ZONA LITORAL (sustrato y morfología)

i) Al norte del espigón

Zona intermareal: anchura: ___ m pendiente: ___ tipo de sustrato: ___
Lisera: anchura: ___ m pendiente: ___ tipo de sustrato: ___

ii) Espigón

Longitud: ___ m altura (+ nivel del agua): ___ m
Materiales: _____
Forma: _____

ii) Al sur del espigón

Zona intermareal: anchura: ___ m pendiente: ___ tipo de sustrato: ___

B. EXPOSICIÓN Y ENERGIA DE LAS OLAS

Carácter del prelitoral: somero: ___ arrecifes ___ profundo ___
Perfil costero: dentado: ___ irregular ___ recto ___
Fetch máximo: 10 km ___ 10-100 ___ 100-1.000 ___ 1.000 ___
Amplitud de las mareas: muertas ___ vivas ___
Exposición (a los vientos prevalecientes/dominantes):
protegida ___ parcialmente protegida ___ abierta ___
Altura estimada de la rompiente: ___ cm
Tipo de rompiente: ascendente ___ gradual ___ descendente ___
Angulo de rompiente: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

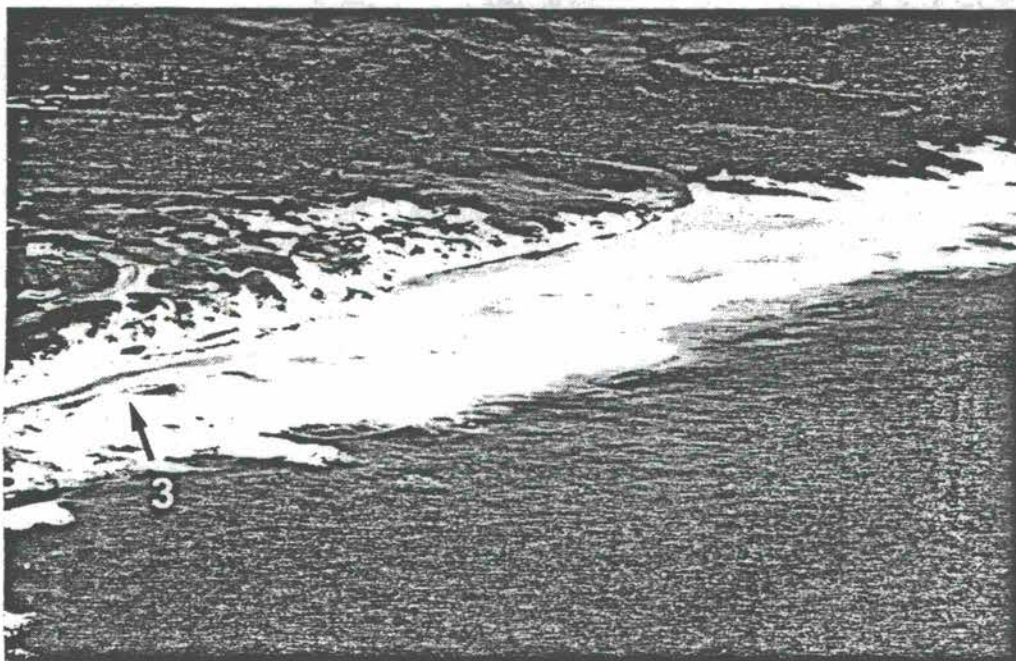
a) Al norte del espigón

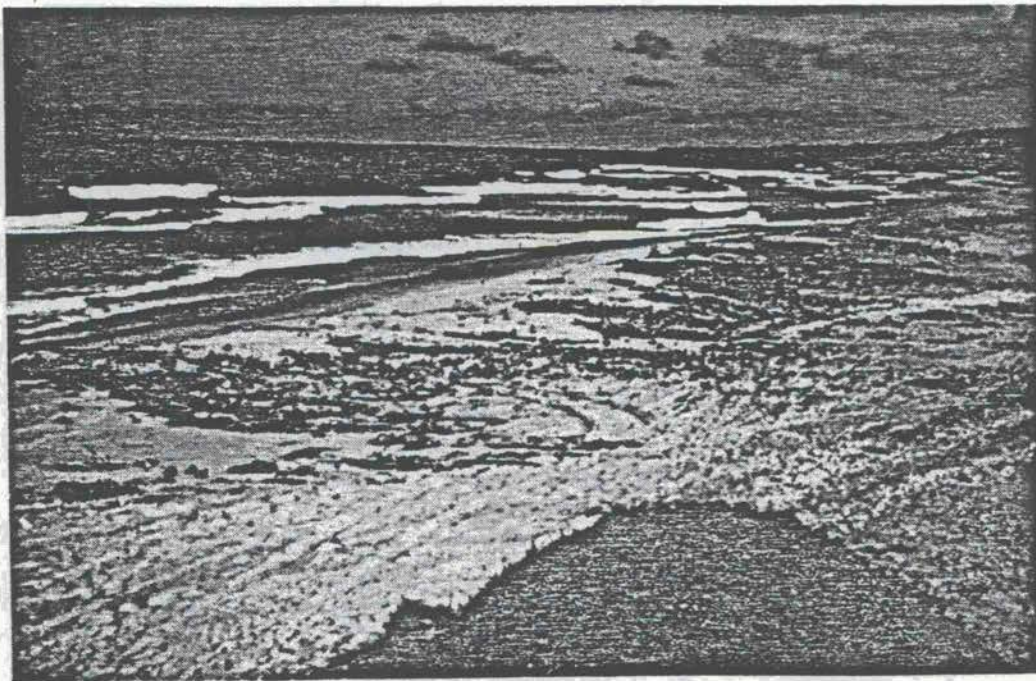
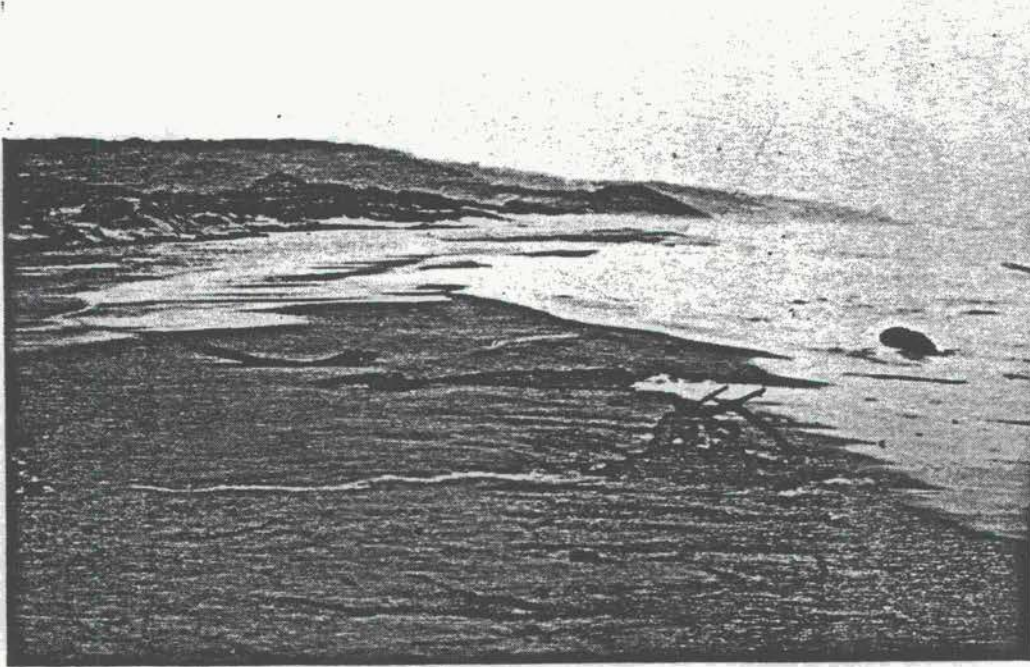
Peatones..... tierra: SI/NO
mar: SI/NO
Vehículos ligeros..... tierra: existente ___ necesario ___
mar: SI/NO
Vehículos pesados..... tierra: existente ___ necesario ___
SI/NO

b) Al sur del espigón

Peatones..... tierra: SI/NO
mar: SI/NO
Vehículos ligeros..... tierra existente ___ necesario ___
mar: SI/NO
Vehículos pesados..... tierra: existente ___ necesario ___
mar: SI/NO

PARADA 3 - Lakes Beach





PARADA 3 - Lakes Beach

A. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera (MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MMMA)	_____	_____	_____

Detritos: _____ situación: _____ cobertura _____ %

Otros rasgos: _____

B. EXPOSICIÓN Y ENERGIA DE LAS OLAS

Carácter del prelitoral: somero: _____ arrecifes _____ profundo _____

Perfil costero: dentado: _____ irregular _____ recto _____

Fetch máximo: 10 km _____ 10-100 _____ 100-1.000 _____ 1.000 _____

Amplitud de las mareas: muertas _____ vivas _____

Exposición (a los vientos prevalecientes/dominantes):

protegida _____ parcialmente protegida _____ abierta _____

Altura estimada de la rompiente: _____ cm

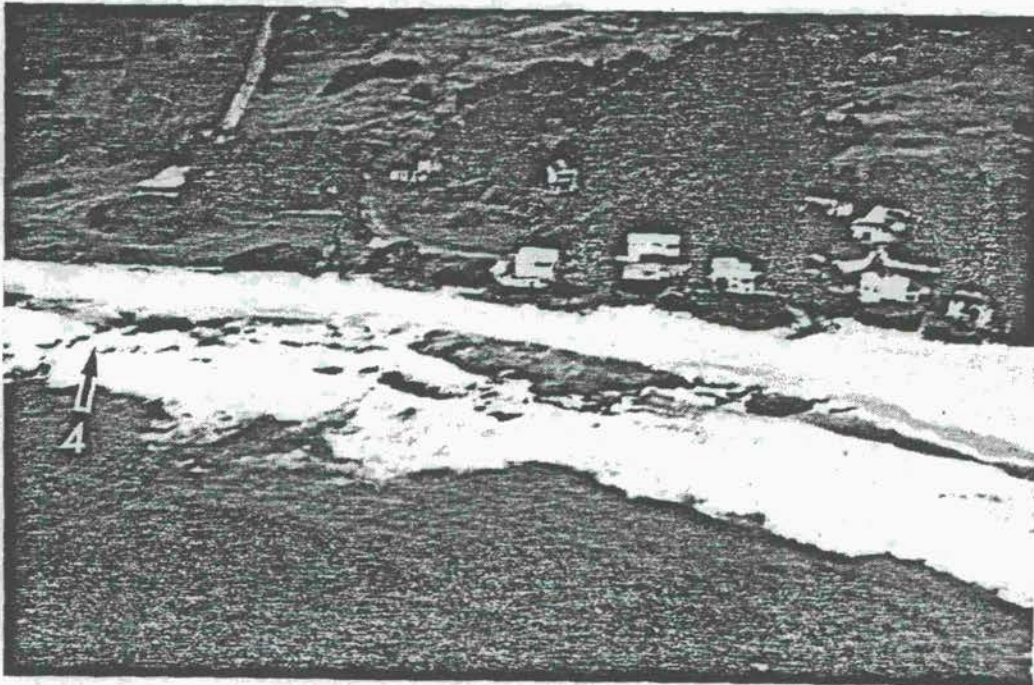
Tipo de rompiente: ascendente _____ gradual _____ descendente _____

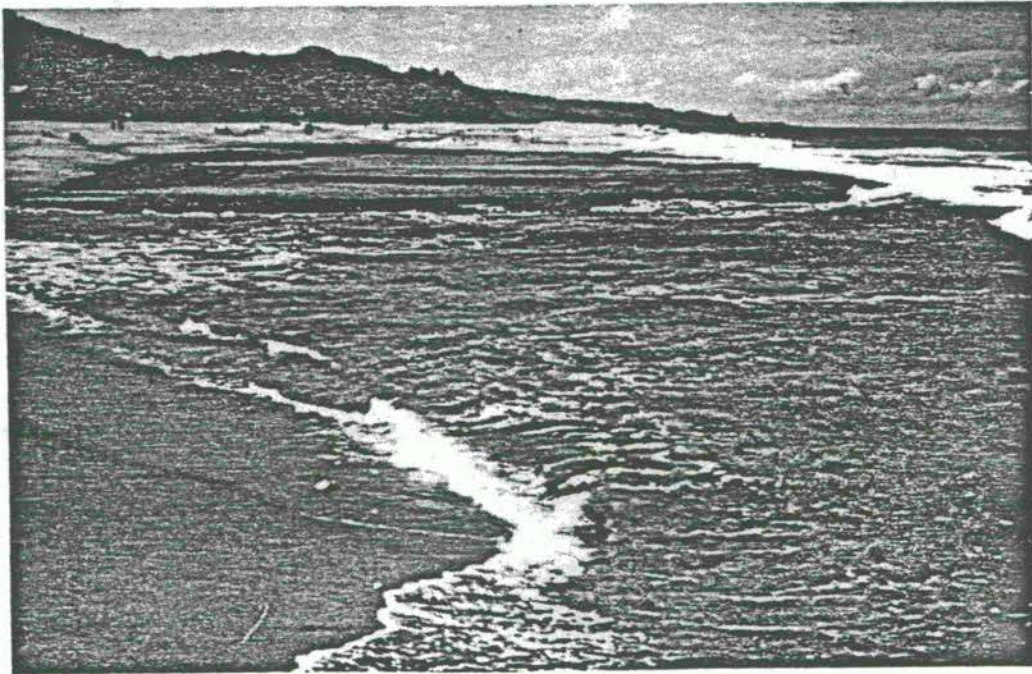
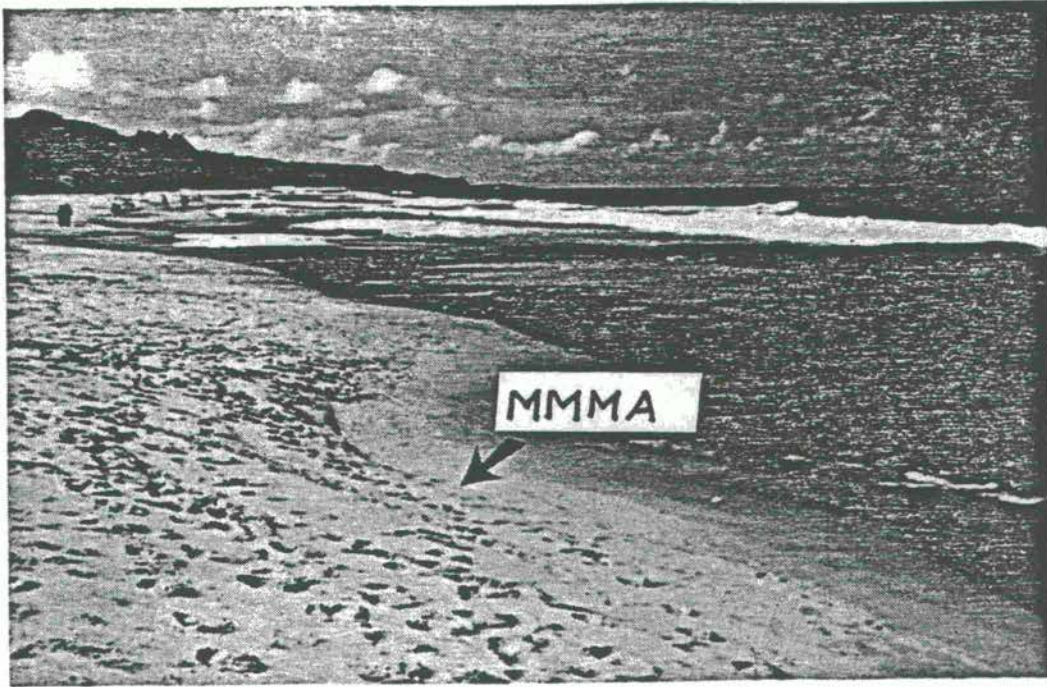
Angulo de rompiente: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Peatones	tierra:	SI/NO	
	mar:	SI/NO	
Vehículos ligeros.....	tierra:	existente _____	necesario _____
	mar:	SI/NO	
Vehículos pesados.....	tierra:	existente _____	necesario _____
	mar:	SI/NO	

PARADA 4 - Cattle Wash





PARADA 4 - Cattle Wash

A. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera (MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MMMA)	_____	_____	_____
Detritos: _____	situación: _____	cobertura _____	%
Otros rasgos: _____			

B. EXPOSICIÓN Y ENERGIA DE LAS OLAS

Carácter del prelitoral: somero: _____ arrecifes _____ profundo _____

Perfil costero: dentado: _____ irregular _____ recto _____

Fetch máximo: 10 km _____ 10-100 _____ 100-1.000 _____ 1.000 _____

Amplitud de las mareas: muertas _____ vivas _____

Exposición (a los vientos prevalecientes/dominantes):
protegida _____ parcialmente protegida _____ abierta _____

Altura estimada de la rompiente: _____ cm

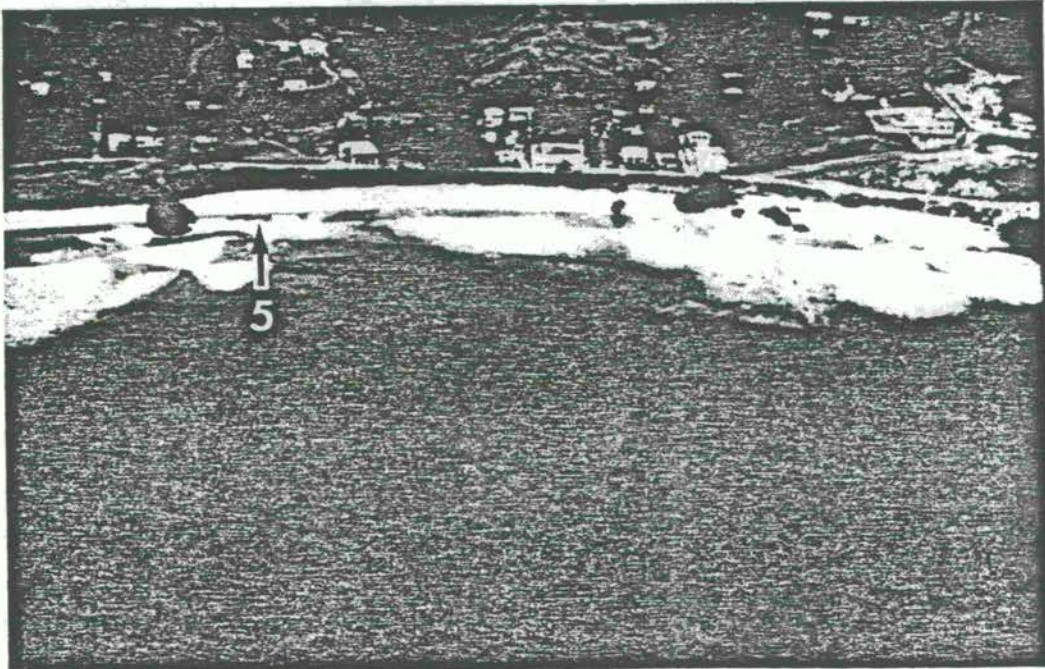
Tipo de rompiente: ascendente _____ gradual _____ descendente _____

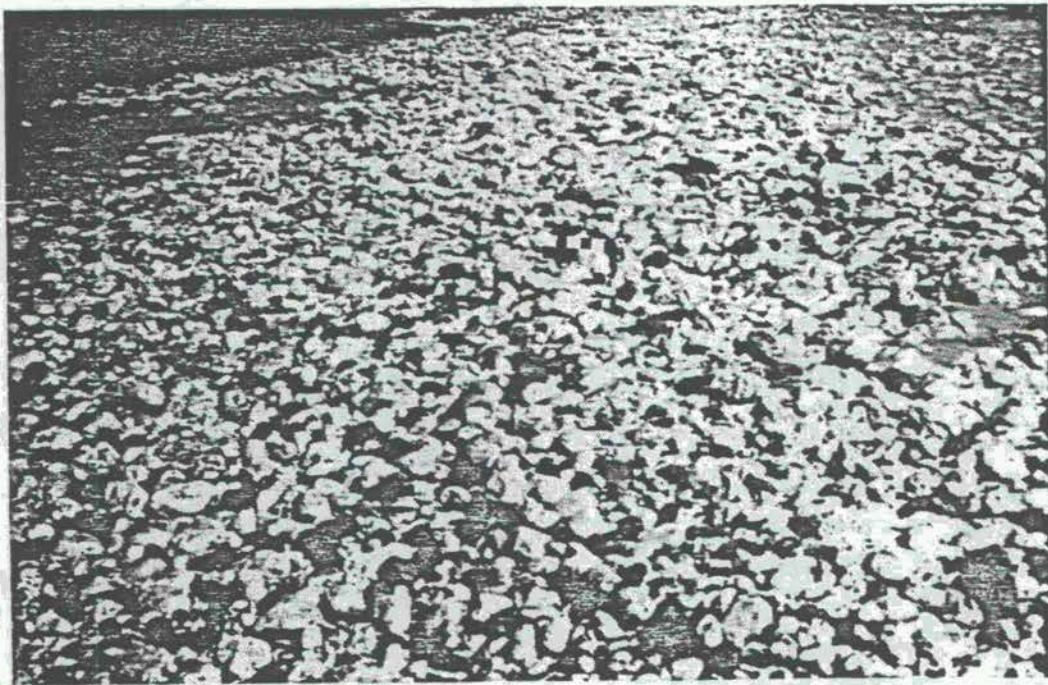
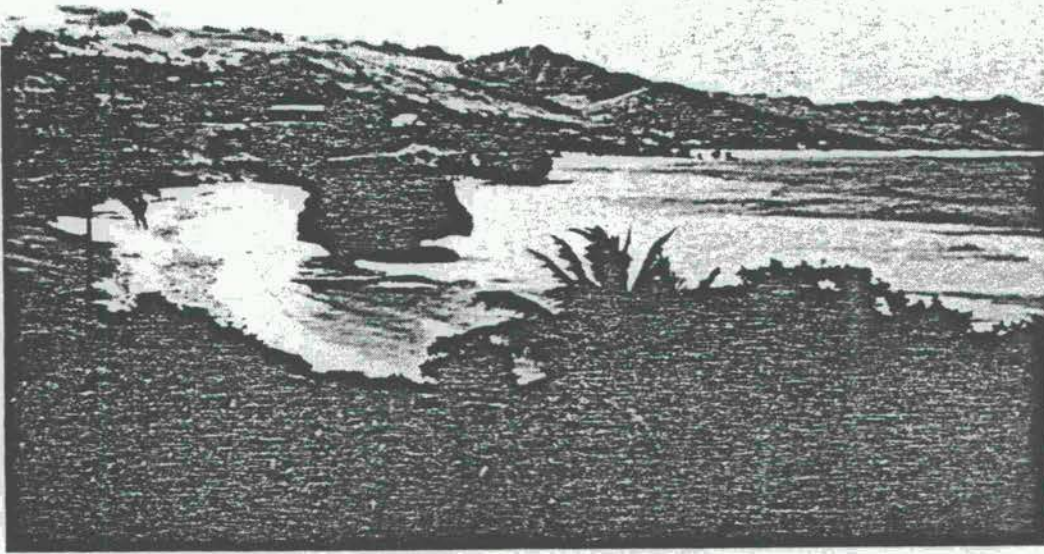
Angulo de rompiente: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Peatones	tierra:	SI/NO	
	mar:	SI/NO	
Vehículos ligeros.....	tierra:	existente _____	necesario _____
	mar:	SI/NO	
Vehículos pesados.....	tierra:	existente _____	necesario _____
	mar:	SI/NO	

PARADA 5 - Hillcrest





PARADA 5 - Hillcrest

A. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera (MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MMMA)	_____	_____	_____
Detritos: _____ situación: _____ cobertura _____ %			
Otros rasgos: _____			

B. EXPOSICIÓN Y ENERGIA DE LAS OLAS

Carácter del prelitoral: somero: _____ arrecifes: _____ profundo _____

Perfil costero: dentado: _____ irregular _____ recto _____

Fetch máximo: 10 km _____ 10-100 _____ 100-1.000 _____ 1.000 _____

Amplitud de las mareas: muertas _____ vivas _____

Exposición (a los vientos prevalecientes/dominantes):
 protegida _____ parcialmente protegida _____ abierta _____

Altura estimada de la rompiente: _____ cm

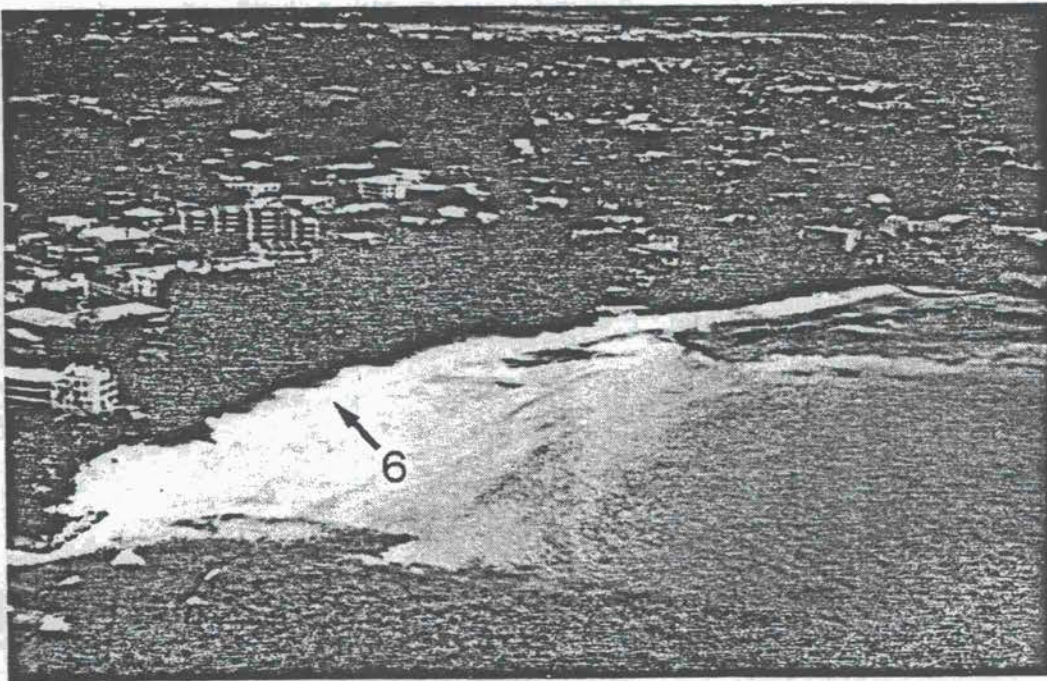
Tipo de rompiente: ascendente _____ gradual _____ descendente _____

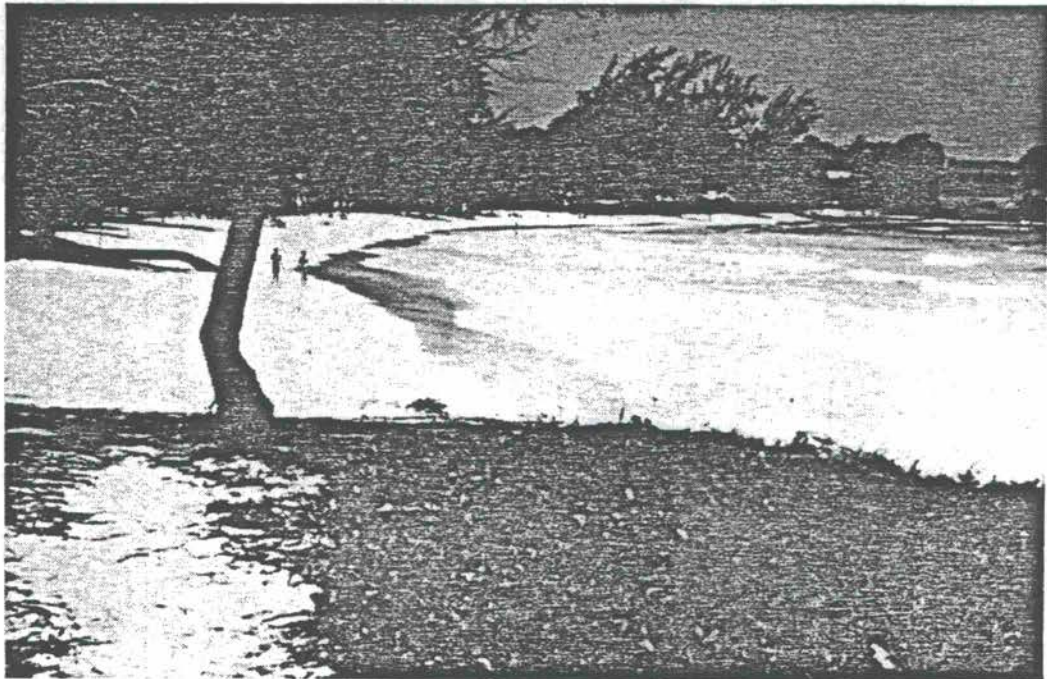
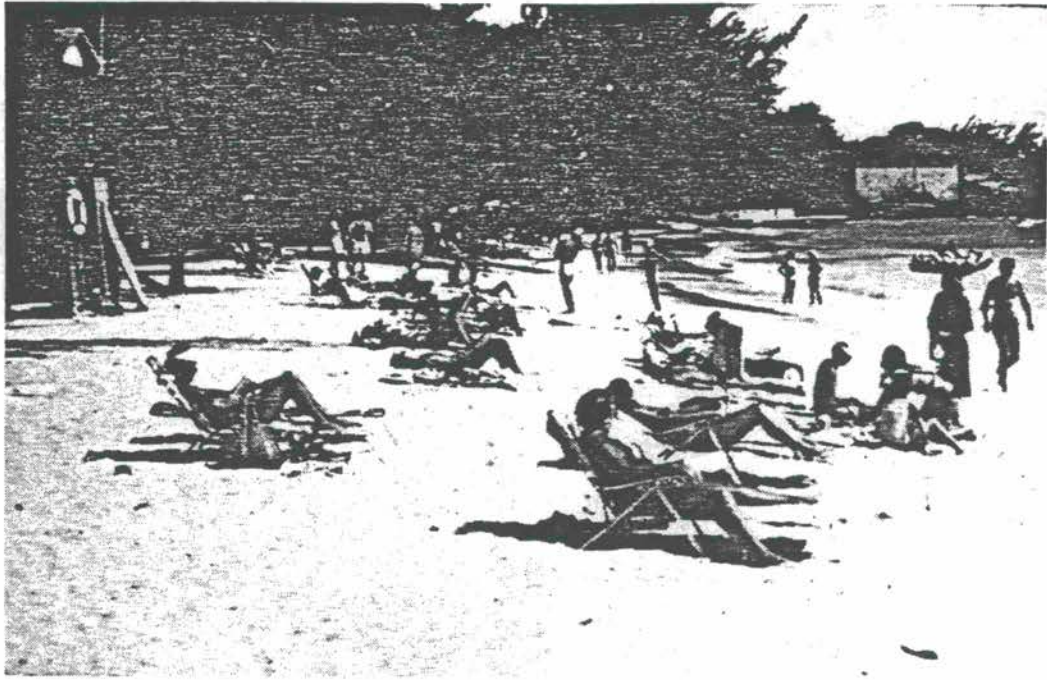
Angulo de rompiente: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Peatones	tierra:	SI/NO	
	mar:	SI/NO	
Vehículos ligeros.....	tierra:	existente _____ necesario _____	
	mar:	SI/NO	
Vehículos pesados.....	tierra:	existente _____ necesario _____	
	mar:	SI/NO	

PARADA 6 - Rockley Beach





PARADA 6 - Rockley Beach

1. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera(MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MSMA)	_____	_____	_____
Detritos: _____	situación _____	cobertura _____	% _____
Otros rasgos _____			

2. EXPOSICION Y ENERGIA DE LAS OLAS

Perfil costero: _____ carácter del prelitoral: _____
 Fetch: _____ exposición: _____

3. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Peatones: _____
 Vehículos ligeros: _____
 Vehículos pesados: _____

4. USO DE LA ZONA LITORAL/IMPACTO DEL DERRAME

Uso recreativo de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Uso comercial de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Impacto potencial del petróleo sobre la comunidad biológica:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

5. LIMPIEZA DE LA LINEA LITORAL

Persistencia esperada del petróleo:
 Días ___ Meses ___ Años ___ Décadas _____

¿Sería la presencia continuada del petróleo indeseable para:

- las actividades recreativas..... SI/NO
- las actividades comerciales..... SI/NO
- el valor estético...:..... SI/NO
- los procesos biológicos..... SI/NO?

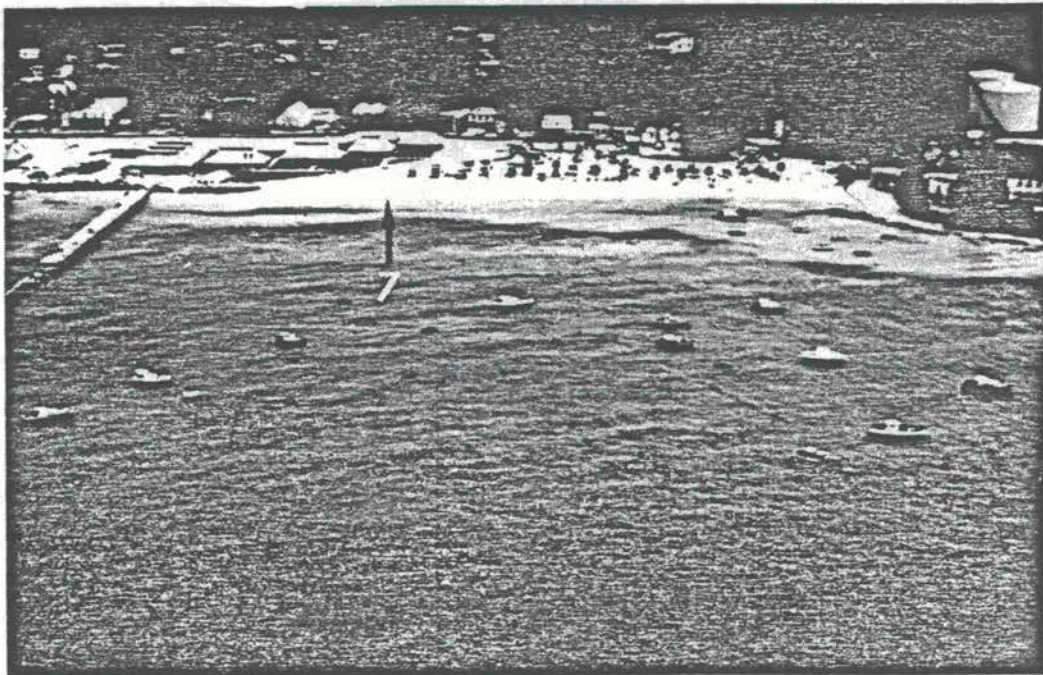
¿Sería eficaz la limpieza?

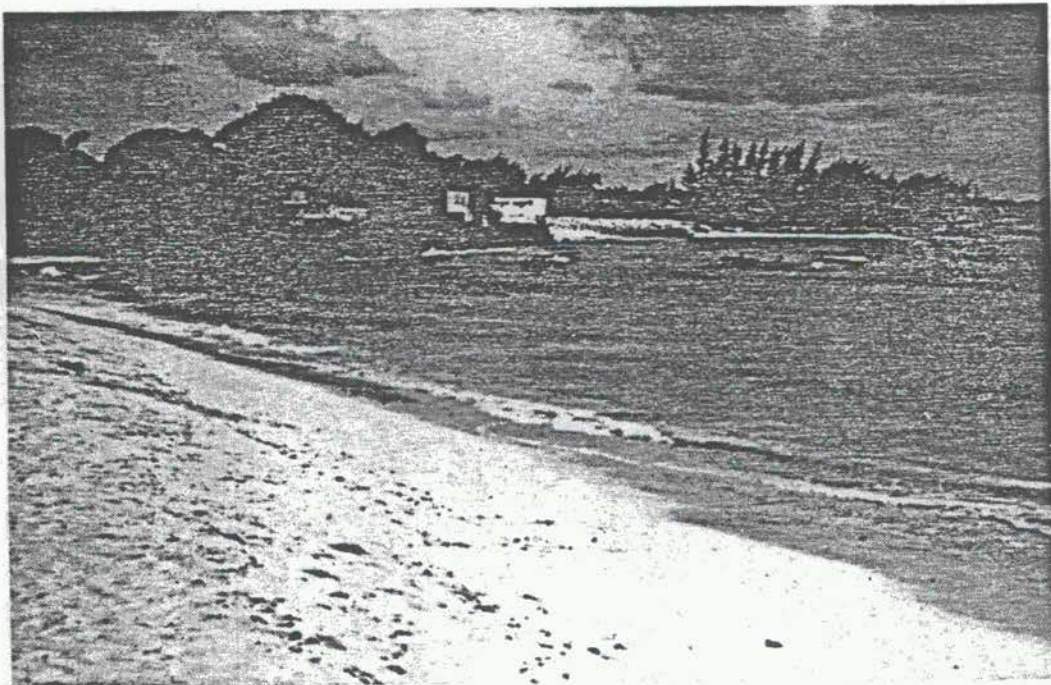
Sí ___ Parcialmente ___ No ___

Efectos geológicos de la limpieza:

Efectos biológicos de la limpieza

PARADA 7 - Oistins





PARADA 7 - Oistins

A. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera (MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MSMA)	_____	_____	_____
Detritos: _____	situación _____	cobertura _____	% _____
Otros rasgos _____			

B. EXPOSICION Y ENERGIA DE LAS OLAS

Perfil costero: _____ carácter del prelitoral: _____
 Fetch: _____ exposición: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Peatones: _____
 Vehículos ligeros: _____
 Vehículos pesados: _____

D. USO DE LA ZONA LITORAL/IMPACTO DEL DERRAME

Uso recreativo de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Uso comercial de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Impacto potencial del petróleo sobre la comunidad biológica:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

E. LIMPIEZA DE LA LINEA LITORAL

Persistencia esperada del petróleo:
 Días ___ Meses ___ Años ___ Décadas _____

¿Sería la presencia continuada del petróleo indeseable para:

- las actividades recreativas..... SI/NO
- las actividades comerciales..... SI/NO
- el valor estético..... SI/NO
- los procesos biológicos..... SI/NO?

¿Sería eficaz la limpieza?

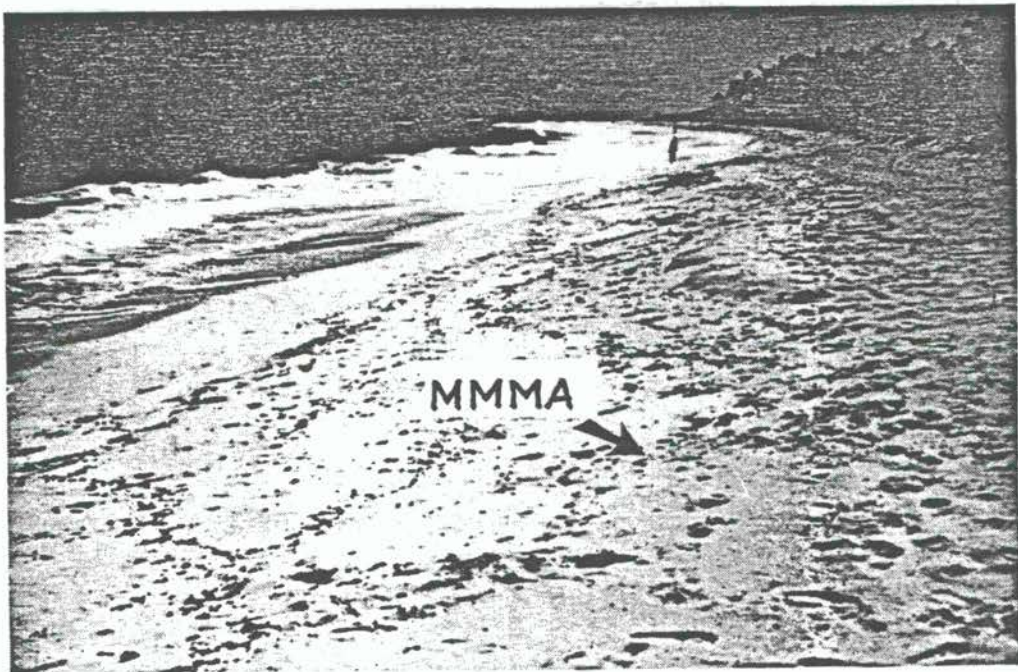
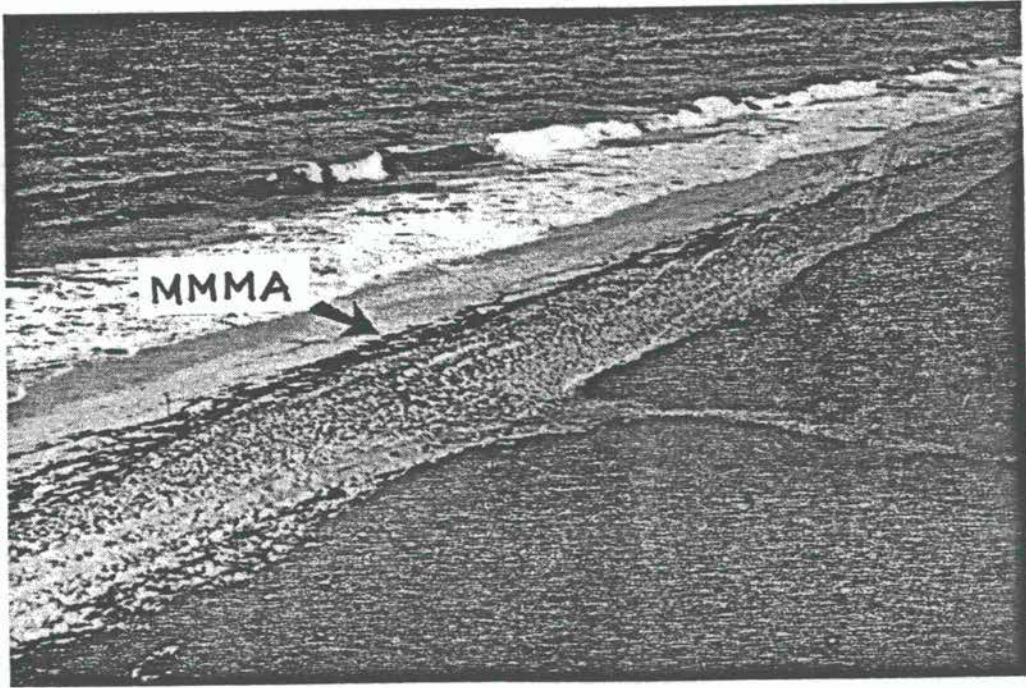
Sí ___ Parcialmente ___ No ___

Efectos geológicos de la limpieza:

Efectos biológicos de la limpieza

PARADA 8 - Long Bay (Chancery Lane)





PARADA 8 - Long Bay (Chancery Lane)

A. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera (MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MSMA)	_____	_____	_____
Detritos: _____	situación _____	_____	cobertura _____ %
Otros rasgos _____			

B. EXPOSICION Y ENERGIA DE LAS OLAS

Perfil costero: _____ carácter del prelitoral: _____
 Fetch: _____ exposición: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Peatones: _____
 Vehículos ligeros: _____
 Vehículos pesados: _____

D. USO DE LA ZONA LITORAL/IMPACTO DEL DERRAME

Uso recreativo de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Uso comercial de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Impacto potencial del petróleo sobre la comunidad biológica:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

E. LIMPIEZA DE LA LINEA LITORAL

Persistencia esperada del petróleo:
 Días ___ Meses ___ Años ___ Décadas _____

¿Sería la presencia continuada del petróleo indeseable para:

- las actividades recreativas..... SI/NO
- las actividades comerciales..... SI/NO
- el valor estético..... SI/NO
- los procesos biológicos..... SI/NO?

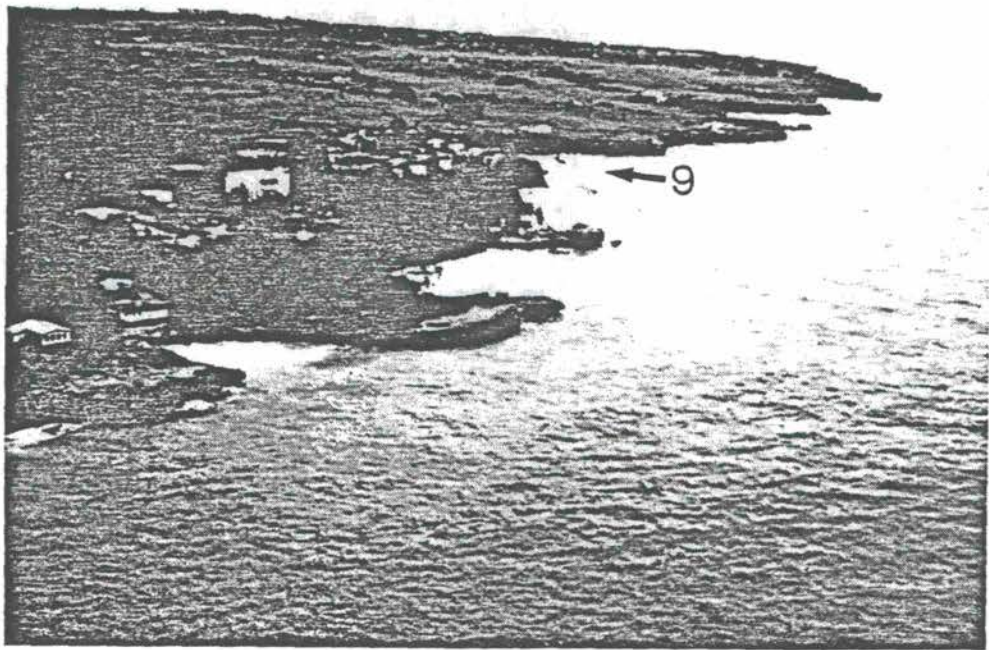
¿Sería eficaz la limpieza?

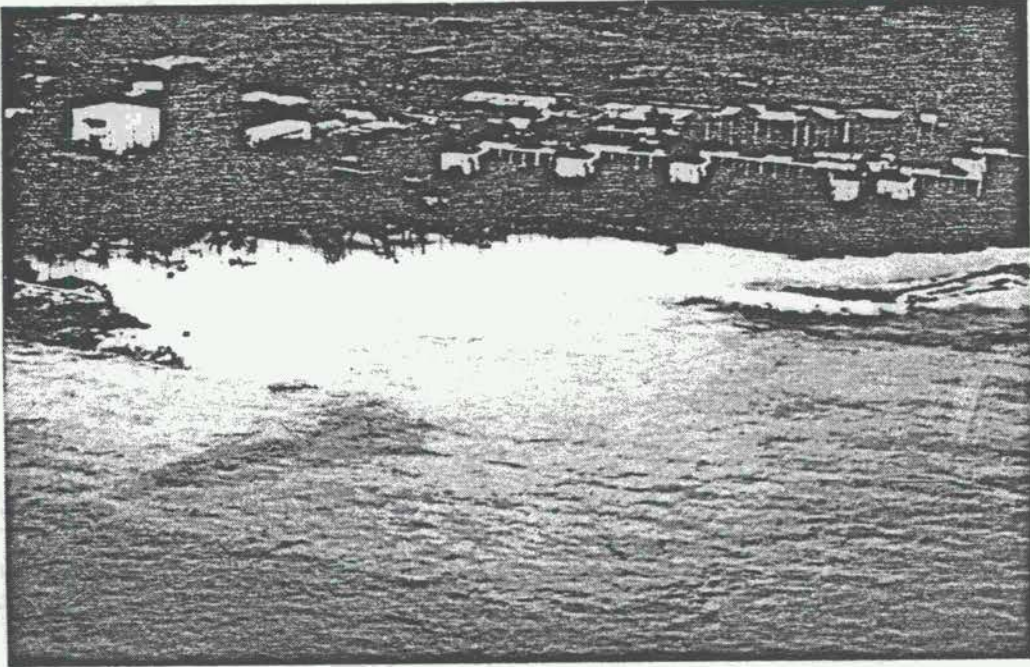
Sí ___ Parcialmente ___ No ___

Efectos geológicos de la limpieza:

Efectos biológicos de la limpieza

PARADA 9 - Long Bay (Sam Lord's Castle)





PARADA 9 - Long Bay (Sam Lord's Castle)

A. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera (MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MSMA)	_____	_____	_____
Detritos: _____	situación _____	cobertura _____	% _____
Otros rasgos _____			

B. EXPOSICION Y ENERGIA DE LAS OLAS

Perfil costero: _____ carácter del prelitoral: _____
 Fetch: _____ exposición: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Peatones: _____
 Vehículos ligeros: _____
 Vehículos pesados: _____

D. USO DE LA ZONA LITORAL/IMPACTO DEL DERRAME

Uso recreativo de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Uso comercial de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Impacto potencial del petróleo sobre la comunidad biológica:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

E. LIMPIEZA DE LA LINEA LITORAL

Persistencia esperada del petróleo:
 Días ___ Meses ___ Años ___ Décadas _____

¿Sería la presencia continuada del petróleo indeseable para:

- las actividades recreativas..... SI/NO
- las actividades comerciales..... SI/NO
- el valor estético..... SI/NO
- los procesos biológicos..... SI/NO?

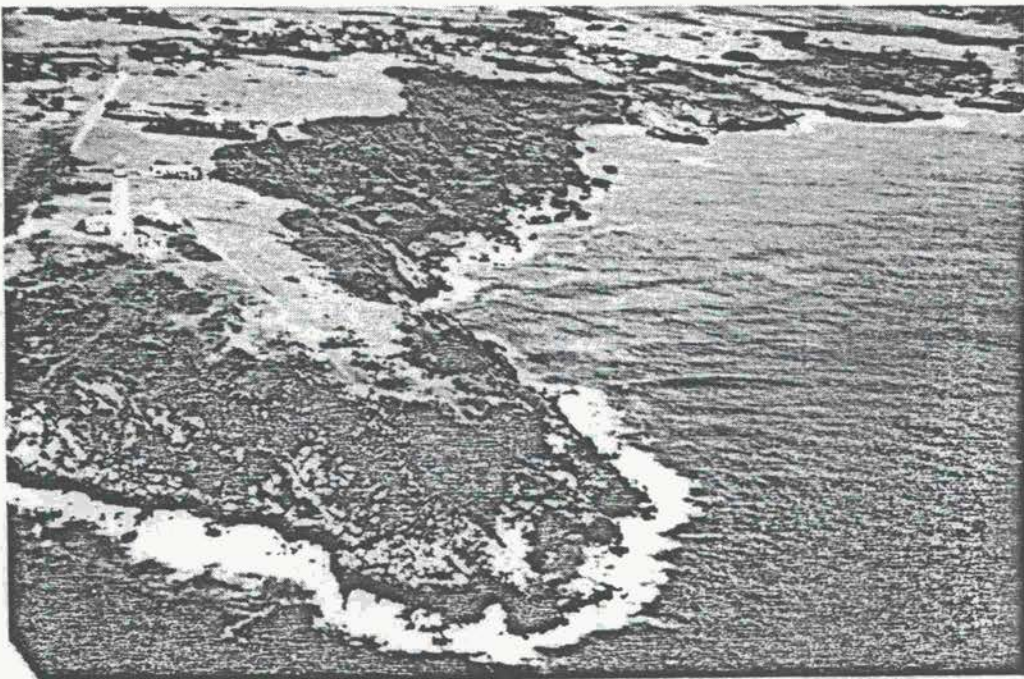
¿Sería eficaz la limpieza?

Sí ___ Parcialmente ___ No ___

Efectos geológicos de la limpieza:

Efectos biológicos de la limpieza

PARADA 10 - Ragged Point





PARADA 10 - Ragged Point

A. CARACTER DE LA PLAYA (sustrato y morfología)

	Anchura	Pendiente	Tipo de sustrato
Zona intermareal	_____ m	_____	_____
Lisera (MMMA a MSMA)	_____ m	_____	_____
Postlitoral (+ MSMA)	_____	_____	_____
Detritos: _____	situación _____	cobertura _____	%
Otros rasgos	_____		

B. EXPOSICION Y ENERGIA DE LAS OLAS

Perfil costero: _____ carácter del prelitoral: _____
 Fetch: _____ exposición: _____

C. ACCESO A LA LINEA LITORAL Y TRANSITABILIDAD

Featones: _____
 Vehículos ligeros: _____
 Vehículos pesados: _____

D. USO DE LA ZONA LITORAL/IMPACTO DEL DERRAME

Uso recreativo de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Uso comercial de la zona litoral:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

Impacto potencial del petróleo sobre la comunidad biológica:
 Ninguno ___ Pequeño ___ Moderado ___ Grande ___ Muy grande ___

E. LIMPIEZA DE LA LINEA LITORAL

Persistencia esperada del petróleo:
 Días ___ Meses ___ Años ___ Décadas _____

¿Sería la presencia continuada del petróleo indeseable para:

- las actividades recreativas..... SI/NO
- las actividades comerciales..... SI/NO
- el valor estético..... SI/NO
- los procesos biológicos..... SI/NO?

¿Sería eficaz la limpieza?

Sí ___ Parcialmente ___ No ___

Efectos geológicos de la limpieza:

Efectos biológicos de la limpieza

CUESTIONARIO SINOPTICO

Ordenar cada localidad (números 6-10) atendiendo a los siguientes factores:

	Alto			Bajo
Niveles de energía intermareal:	_____	_____	_____	_____
Uso recreativo del litoral:	_____	_____	_____	_____
Uso comercial del litoral:	_____	_____	_____	_____
Vulnerabilidad biológica:	_____	_____	_____	_____
Dificultad de la limpieza:	_____	_____	_____	_____
A igualdad de contaminación, ¿ qué orden asignaría a la limpieza si dispusiera de un solo equipo? (primero → último)				

REFERENCIAS Y GLOSARIO

6.0 REFERENCIAS Y GLOSARIO

6.1 Referencias citadas en las notas

- Adams, R.D., 1968. The leeward reefs of St. Vincent, West Indies. *Jour. Geol.*, (76): 587-595.
- Bird, J.B., Richards, A., and Wong, P.P., 1979. Coastal subsystems of western Barbados, West Indies. *Geografiska Annaler*, 61A (3-4), p. 221-236.
- Butler, J.N., Morris, B.F., and Sass, J., 1973. Pelagic tar from Bermuda and the Sargasso Sea; Bermuda Biological Station for Research, St. George's West, Bermuda, Spec. Pub. No. 10.
- Cambers, G., 1979a. The Barbados coast - A geological/oceanographic planning assessment. Unpub. rept., 120 pp.
- _____, 1979b. Oil pollution on the beaches and nearshore areas of Barbados. Unpub. rept. to Min. of Housing and Social Security, Barbados, 102 pp.
- _____, 1980. A study of the coastal erosion at Crane Beach, St. Philip, Barbados. Unpub. rept. to Min. of Housing, Lands, and the Envir., Barbados, 91 pp.
- CONCAWE, 1980. Disposal techniques for spilled oil. Oil Spill Cleanup Tech. Special Task Force No. 2, Den Haag, 52 pp.
- _____, 1981. A field guide to coastal oil spill control and cleanup techniques; oil spill cleanup technology special task force No. 1, Den Haag, 112 pp.
- Davis, R.A., Jr. and Fox, W.T., 1971. Beach and nearshore dynamics in eastern Lake Michigan; Williams College, Massachusetts, Tech. Rept. No. 4, ONR Contract 388-092, 145 pp.
- Donn, W.L. and McGuinness, W.T., 1959. Barbados storm swell. *Jour. Geophysical Res.* 64, p. 2341-2349.
- Exxon, 1979. Oil spill cleanup manual - vol. 2, Response Guidelines. Unpub. Rept., Exxon Corp.
- Foget, C.R., Schrier, E., Cramer, M., and Castle, R.W., 1979. Manual of practice for protection and cleanup of shorelines: Volume I - Decision Guide, Volume II - Implementation Guide; Rept. to U.S. Envir. Protection Agency by Woodward-Clyde Consultants, EPA-600/7-79-187(a and b), 283 pp.

- Hann, R.W., Jr. and James, D., 1979. The status of oil pollution and oil pollution control in the Wider Caribbean area. Unpub. rept. for IMO-UNEP.
UNEP.
- Hernandez-Avila, M.L. and Roberts, H.H., 1974. Form-process relationships on island coasts. Tech. rept. 166, Coastal Studies Inst., Louisiana State Univ., 76pp.
- Hernandez-Avila, M.L., Roberts, H.H., and Rouse, L.J., 1977. Hurricane-generated waves and coastal boulder rampant formation. Proc. 3rd Int. Coral Reef Symposium, Univ. of Miami, (2): 71-78.
- Hunt, C.B., 1967. Natural regions of the United States and Canada. W.H. Freeman and Co., San Francisco, CA., 725 pp.
- Hsu, S.A., 1970. Coastal air circulation: observations and empirical model: Monthly Weather Review, (98): 487.
- IMO, 1980. Manual on oil pollution - section IV (revised): practical information on means of dealing with oil spillages. Inter-Governmental Maritime Consultative Organization, London, U.K. 143 pp.
- IMO, 1982. IMO/UNEP guidelines on oil spill dispersant application and environmental considerations. International Maritime Organization, London, U.K., 43 pp.
- Komar, P.D., 1976. Beach processes and sedimentation, Prentice-Hall, N.J., 429 pp.
- MacIntyre, I.G., 1967. Submerged coral reefs, west coast of Barbados, West Indies. Can. Jour. Earth Sci., 4, p. 461-474.
- Maiero, D.J., Castle, R.W., and Crain, O.L., 1978. Protection, cleanup and restoration of salt marshes endangered by oil spills - a procedural manual; Rept. to U.S. Envir. Protection Agency by URS Co., 152 pp.
- McLean, R.F., 1964. Mechanical and biological erosion of beachrock in Barbados, West Indies. Unpub. Ph.D. thesis, McGill Univ., Montreal, 266 pp.
- Murray, S.P., 1972. Turbulent diffusion of oil in the ocean. Limnology and Oceanography, 17(5): 651-660.
- _____, 1975. Wind and current effects on large-scale oil slicks. Proc. Seventh Offshore Tech. Conf., Houston, Texas, Paper no. 2389, 11 pp.
- Murray, S.P., Roberts, H.H., Conlon, D.M., and Rudder, G.M., 1977. Nearshore current fields around coral islands: control on sediment accumulation and reef growth. Proc. 3rd Int. Coral Reef Symposium, Univ. of Miami, (2): 53-60.

- Murray, S.P., 1982. The effects and weather systems, currents, and coastal processes on major oil spills at sea. In G. Kullenberg (ed.), "Pollutant Transfer and Transport in the Sea", CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, p. 169-227.
- Nightingale, J., 1973. Beach cleaning equipment: M.F. Brighton (Australia) Beach Cleaner. Oil Pollution Rept. L.R. 185 (OP), Warren Spring Lab., Stevenage, U.K., 8 pp.
- _____, 1974. Beach cleaning equipment: the Beemer Beach Cleaner. Oil Pollution Rept. L.R. 198 (OP), Warren Spring Lab., Stevenage, U.K., 12 pp.
- Owens, E.H., 1977. Coastal environments of Canada: the impact and cleanup of oil spills. Envir. Can., Envir. Protection Ser., Ottawa, Econ. and Tech. Review Rept., EPS-3-EC-77-13, 413 pp.
- _____, 1978. Mechanical dispersal of oil stranded in the littoral zone. Jour. Fish. Res. Bd., Canada, 35(5): 563-572.
- Owens, E.H., 1979a. Great Lakes: Coastal environments and the cleanup of oil spills: Environment Canada, Environmental Impact Control Directorate, Ottawa, Economic and Technical Review Report, EPS, 3-EC-79-2, 252 pp.
- Owens, E.H., 1979b. Prince Edward Island: Coastal environments and the cleanup of oil spills; Environment Canada, Environmental Impact Control Directorate, Ottawa, Ontario, Economic and Technical Review Report EPS, 3-EC-79-5, 167 pp.
- Owens, E.H. and Drapeau, G., 1973. Changes in beach profiles at Chedabucto Bay, Nova Scotia, following large-scale removal of sediments. Can. Jour. Earth Sci., 10(8): 1226-1232.
- Owens, E.H., Rashid, M.A., 1976. Coastal environments and oil spill residues in Chedabucto Bay, Nova Scotia. Can. Jour. Earth Sci., 13(7): 908-928.
- Richards, A. and Bird, J.B., 1970. Beach studies on the west coast of Barbados 1967-1969. Dept. of Geography, McGill Univ., Montreal, Unpub. rept. to Gov't of Barbados, 83 pp.
- Rigby, J.K. and Roberts, H.H., 1976. Grand Cayman Island: geology, sediments and marine communities. Geol. Studies, Spec. Pub. 4, Brigham Young Univ., Geol. Series, p. 1-96.
- Roberts, H.H., 1974. Variability of reefs with regard to change in wave power around an island. Proc. 2nd Int. Coral Reef Symposium, Brisbane, p. 497-512.
- Roberts, H.H., Murray, S.P., and Suhayda, J.N., 1975. Physical processes in a fringing reef system. Jour. Marine Res., 33(2): 233-260.

- Roberts, H.H. and Sneider, R.M., 1982. Reefs and associated sediments of Grand Cayman Island, B.W.I.: recent carbonate sedimentation. Field Trip Guidebook, 1982 Geol. Soc. Amer. Annual Meeting, 51 pp.
- Russell, L.T., Mackay, G.D.M., Carson, W., and Skinner, D., 1979. The removal of spilled oil from recreational beaches. Proc. Second Arctic Marine Oil Spill Program Tech. Seminar, Edmonton, Alta, Envir. Can., Envir. Protection Ser., Ottawa, p. 277-286.
- Strahler, A.N., 1965. Introduction to physical geography, J. Wiley and Sons Inc., New York, 455 pp.
- Wardley-Smith, J. (ed), 1976. The control of oil pollution. Graham and Trotman Ltd., London, 251 pp.
- Wayment, E.C., 1977. Portable beach incinerator. Rept. LR250(OP), Warren Spring Laboratory, Stevenage, U.K., 7 pp.
- Wheeler, R.B., 1978. The fate of petroleum in the marine environment. Special Rept., Exxon Production Res. Co., Houston, Texas, 32 pp.
- Whitehead, H., 1976. An A-Z of offshore oil and gas; Gulf Pub. Co., Houston, TX, 339 pp.
- Wong, P.P., 1971. Beach changes and sand movement in low energy environments, west coast Barbados. Dept. of Geography, McGill Univ., Montreal, unpub. rept., 108 pp.

6.2 Referencias seleccionadas: impacto de los derrames sobre los corales y los manglares

- Baker, J.M., 1982. Mangrove swamps and the oil industry. *Oil and Petroleum Poll.*, 1(1), 5-22.
- Baker, J.M., Suryowinoto, I.M., Brooks, P., and Rowland, S., 1981. Tropical marine ecosystems and the oil industry; with a description of a post-oil spill survey in Indonesian mangroves. In *Pet. and the Marine Envir. - Petromar 80*, Graham and Trotman, Ltd., London, p. 679-703.
- Chan, E.I., 1977. Oil pollution and tropical littoral communities: biological effects of the 1975 Florida Keys oil spill. In *Proc. 1977 Oil Spill Conf.*, Amer. Pet. Inst., Washington, D.C., Pub. No. 4284, p. 539-542.
- Diaz-Piferrer, M., 1962. The effects of an oil spill on the shore of Guanica, Puerto Rico. In *Proc. Fourth Meeting, Ass. Is. Mar. Labs, Curacao*. Univ. of Puerto Rico, Mayaguez, p. 12-13.
- Getter, C.D., Scott, G.I., and Michel, J., 1981. The effects of oil spills on mangrove forests: a comparison of five oil spill sites in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. In *Proc. 1981 Oil Spill Conf.*, Amer. Pet. Inst., Washington, D.C., Pub. No. 4334, p. 535-540.
- Gilfillan, E.S., Page, D.S., Gerber, R.P., Hansen, S., Cooley, J., and Hothan, J., 1981. Fate of the Zoe Colocotroni oil spill and its effects on infaunal communities associated with mangroves. In *Proc. of the 1981 Oil Spill Conf.*, Amer. Pet. Inst., Washington, D.C., Pub. No. 4334, p. 353-360.
- Jernelov, A. and Linden, O., 1980. The effects of oil pollution on mangroves and fisheries in Ecuador-Columbia. *Second Int. Symposia on the Biology and Management of Mangroves and Tropical Shallow Water Communities*, Port Moresby, Papua, New Guinea, 31 pp.
- Lewis, R.R., 1980. Impact of oil spills on mangrove forests. *Second Int. Symposia on the Biology and Management of Mangroves and Tropical Shallow Water Communities*. Port Moresby, Papua, New Guinea, 36 pp.
- Lewis, R.R. and Haines, K.C., 1980. Large scale mangrove restoration on St Croix, U.S. Virgin Islands, II, Second Year. In *Proc. of the Seventh Annual Conf. on Restoration and Creation of Wetlands*, Hillsborough Comm. College, Tampa, Florida, 294 pp.
- Loya, Y. and Rinkevich, B., 1980. Effects of oil pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Series* 3(2): 167-180.
- Ray, J.P., 1981. The effects of petroleum hydrocarbons on corals. In *Pet. and the Mar. Envir. - Petromar 80*. Graham and Trotman, Ltd., London, U.K., p. 705-726.

6.6

6.3 Glosario

ABANICO DE DESBORDAMIENTO: Pequeño abanico de sedimentos formado en el postlitoral o en una laguna por olas que desbordan una playa de barrera (a través de canales de desbordamiento) durante los periodos de tormenta o de marea alta.

ALTURA SIGNIFICATIVA DE LAS OLAS: Altura media del tercio más alto de las olas.

AMPLITUD DE LAS MAREAS: Diferencia de altura entre las marcas de la marea alta y la marea baja.

ANTELITORAL: Parte de la zona litoral comprendida entre las marcas de la marea alta y la marea baja (véase Fig. 6.1).

ASFALTO: Designa las fracciones pesadas del petróleo que tienen un alto punto de ebullición (véase Tabla 6.1).

CRESTA DE LA LISERA: Límite de la lisera que mira al mar (Fig. 6.1).

CRESTA DE TORMENTA: Cresta formada en el postlitoral por encima de la marca de la marea alta a causa de la acción de las olas durante las tormentas. La cresta sólo cambia por olas de tormenta ulteriores (Fig. 6.1)

CHAPOTEIO DE LAS OLAS: Avance del agua sobre la superficie de la playa después de la ruptura de las olas.

EMULSION: Mezcla de dos líquidos que no son solubles entre sí. En este informe, la palabra designa una suspensión de agua en petróleo o una suspensión de petróleo en agua.

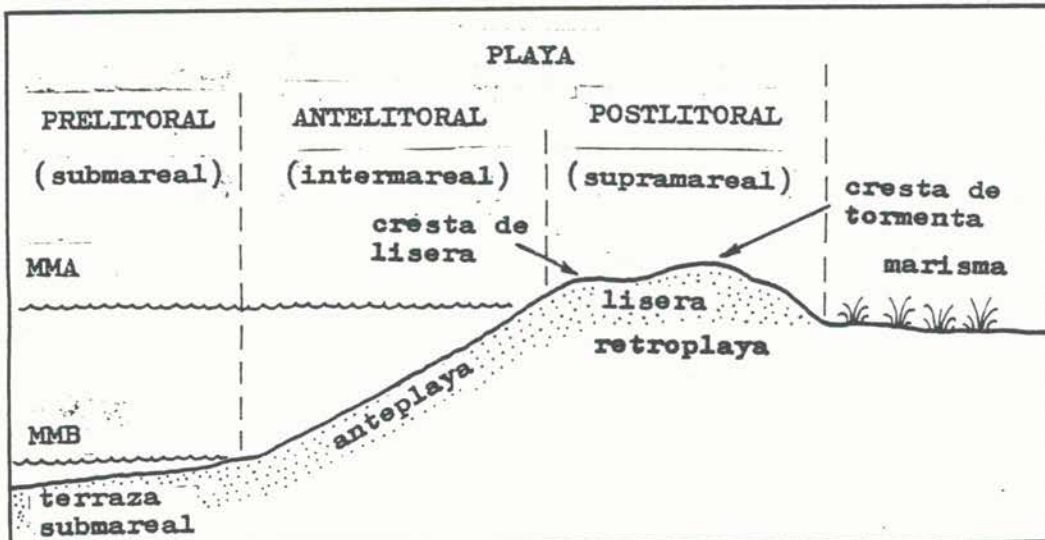


Fig. 6.1 Rasgos y subdivisiones de una playa.

TABLA 6.1 CLASIFICACION Y COMPONENTES DEL PETROLEO BRUTO (según Whitehead, 1976)

P.de ebul., °C	-200	-10	0	30	150	200	250	350	380	520	1000+	
Clasif. general	← Gases → Light Fraction → Middle Fraction → Heavy Fraction → Residue → ← Gases → wet → Gasolines → Fuel Oils → Asphaltenes → ← Gases → dry → light → heavy → Gas Oils → Lubricating Oils → ← LPG → Naphthas → Kerosines →											
Principales componentes	← C ₁ → C ₄ → C ₅ → Pentane Plus → C ₈ → C ₁₄ → C ₁₆ → Solid → C ₆₀											
Nº de átomos de carbono	Paraffinic-Paraffinic Paraffinic-Naphthenic Naphthenic-Paraffinic Naphthenic-Naphthenic											
Ind. de corrección US Bureau of Mines	Paraffinic (Light) Mixed (Aromatic) Naphthenic (Heavy) Asphaltic											
Clasif. básica	38° - 47° 37° - 30° 25° - 15°											
Escala de gravedad típica de la API	0.835 - 0.800 0.840 - 0.876 0.900 - 0.970											
Peso específico												

Note: The classifications shown in this table are intended to be representative, and no precise demarcations are implied.

Equivalencias: light=liger(a), middle=media, heavy=pesado(a), dry=seco, wet=húmedo., LPG=Gas de Petróleo Licuado, API=American Institute of Petroleum.

ESCOTADURA DE OLEAJE: Socavamiento en la base de un arrecife costero erosionado a la altura del límite superior de la acción de las olas.

ESTUARIO: tramo inferior de un río que sufre la acción de las mareas o en el que se mezclan el agua dulce y el agua salada.

FETCH: Superficie del agua sobre la cual las olas son generadas por el viento.

FRACCIÓN LIGERA: Hidrocarburos del petróleo cuyo punto de ebullición es inferior a 150°C (Tabla 6.1).

FRACCIÓN PESADA: Hidrocarburos del petróleo cuyo punto de ebullición es muy alto (>350°C)(Tabla 6.1).

LISERA: Zócalo casi horizontal situado detrás de la anteplaya y del límite normal de acción de las olas (Fig.6.1).

MARCA DE LA MAREA ALTA: El límite superior del nivel de la marea. La marca media de la marea alta es el promedio del límite superior de las mareas durante un periodo de tiempo. La marca superior de las mareas vivas es la máxima altura de dichas mareas. La marca superior de las mareas muertas es el límite máximo de dichas mareas. Abreviatura: MMA.

MARCA DE LA MAREA BAJA: El límite inferior del nivel de la marea. La marca media de la marea baja es el promedio del límite inferior de las mareas durante un periodo de tiempo. La marca inferior de las mareas vivas es la mínima altura de dichas mareas. La marca inferior de las mareas muertas es el límite mínimo de dichas mareas. Abreviatura: MMB.

MARCA INFERIOR DE LAS MAREAS MUERTAS (MIMM): Véase marca de la marea baja.

MARCA INFERIOR DE LAS MAREAS VIVAS (MIMV): Véase marca de la marea baja.

MARCA MEDIA DE LA MAREA ALTA(MMMA): Véase marca de la marea alta.

MARCA MEDIA DE LA MAREA BAJA(MMMB): Véase marca de la marea baja.

MARCA SUPERIOR DE LAS MAREAS MUERTAS (MSMM): Véase marca de la marea alta.

MARCA SUPERIOR DE LAS MAREAS VIVAS (MSMV): Véase marca de la marea alta.

MAREAS DIURNAS: Ciclo de mareas formado por una marea alta y una marea baja cada día.

MAREAS MUERTAS: Son las que ocurren cuando la atracción gravitatoria del sol forma un ángulo recto con la de la luna y, por lo tanto, se opone a ella. La amplitud de la marea se reduce durante las mareas muertas, que ocurren dos veces al mes, durante el primero y el último cuarto de la luna.

MAREAS SEMIDIURNAS: Ciclo de mareas con dos mareas altas y dos mareas bajas cada día.

MAREAS DE TORMENTA: Durante las tormentas, el nivel del agua puede sobrepasar la marca normal de la marea alta debido a que el agua es empujada contra la costa por los vientos del mar.

MAREAS VIVAS: Son las que ocurren cuando la atracción gravitatoria del sol está en la misma dirección que la de la luna y, por lo tanto, la refuerza. Las pleamares son más altas y las bajamares más bajas de lo habitual. Las mareas vivas ocurren dos veces al mes, durante la luna nueva y la luna llena. Las mayores mareas vivas ocurren dos veces al año durante los equinoccios de primavera y otoño, cuando el sol está en la vertical del ecuador.

MARISMA: (Pantano salino) Zona plana cubierta de vegetación situada en la marca de la marea alta o por encima de ella y que es inundada por las mareas vivas o las mareas de tormenta.

PETROLEO: Mineral líquido compuesto de hidrocarburos con pequeñas cantidades de otras sustancias, que es insoluble en el agua y menos denso que ella. Las propiedades físicas y químicas de los petróleos naturales (brutos) varía considerablemente (Tabla 6.1).

PETROLEO BRUTO: Petróleo sin destilar o refinar que se encuentra en la naturaleza (Tabla 6.1).

PLAYA: Ambiente formado por sedimentos sin consolidar en la zona costera, entre la marca de la marea baja y el límite superior de la actividad de las olas de tormenta (Fig. 6.1). El límite superior suele estar marcado por vegetación, dunas o un acantilado.

POSTLITORAL: Parte de la playa que está situada por encima de la marca de la marea alta y que se extiende tierra adentro hasta el límite de la actividad de las olas de tormenta (Fig. 6.1).

PUNTO DE FLUIDEZ: Temperatura mínima a la que fluye un petróleo (en los petróleos brutos puede variar entre -26°C y $+50^{\circ}\text{C}$)

ROCAS SEDIMENTARIAS: Rocas formadas por sedimentos depositados en capas por el viento, los ríos, el hielo, el mar o los procesos biológicos.

SUSTRATO: Materiales que forman la zona litoral.

TRANSITABILIDAD: Capacidad de carga de una superficie para el paso de personas o vehículos, La transitabilidad de un mismo material puede variar considerablemente según que aquél esté húmedo o seco.

TRANSPORTE LITORAL: Transporte de sedimentos en la zona intermareal (forma parte del transporte a lo largo del litoral).

TRANSPORTE A LO LARGO DEL LITORAL: Movimiento lateral de materiales a lo largo de una sección de la costa en las zonas intermareal o submareal por los procesos marinos.

VIENTOS DOMINANTES: Son los que presentan las máximas velocidades durante cierto periodo de tiempo (por lo común un año). La dirección de los vientos dominantes puede ser distinta de la de los vientos prevalecientes.

VIENTOS PREVALECIENTES: Son los que ocurren con mayor frecuencia.

VISCOSIDAD: Resistencia que opone un fluido al movimiento o el flujo relativo en el interior de su masa.

VOLUMEN: La unidad normal de volumen para el petróleo suele ser el Barril U.S. Sin embargo, a continuación se indican otras unidades corrientemente utilizadas y sus factores de conversión:

Barriles

1 Barril (U.S.)	= 42 galones U.S.
	= 35 galones imperiales
	= 159 litros
	= 0,159 metros cúbicos
1 barril (U.K.)	= 36 galones imperiales
	= 163,7 litros
	= 0,16 metros cúbicos

Galones

1 galón U.S.	= 3,785 litros
	= 0,024 barriles U.S.
	= 0,833 galones imperiales
1 galón imperial	= 4,546 litros
	= 0,038 barriles U.S.
	= 1,201 galones U.S.

Toneladas

1 tonelada métrica	= 1.000 kg
1 tonelada larga	= 1.016 kg
1 tonelada corta	= 907,2 kg

Las conversiones volumen-peso requieren conocer la densidad o (peso específico) del petróleo. En estas conversiones se utiliza un peso específico de 1 (= una densidad de 1,0 kg/litro). El peso específico de los petróleos está comprendido entre 0,80 y casi 1,0.

ZONA INTERMAREAL: Véase antelitoral.

ZONA PRELITORAL: Parte de la línea litoral situada mar adentro de la marca de la marea baja y dentro de la zona de los procesos producidos por las olas