
Capítulo 3 Perfil Ambiental Costero

3.1 Perfil Ambiental Costero en México

3.1.1 Condiciones Ambientales Naturales

(1) Topografía

A lo largo de 11,593 km de las Costas Mexicanas, 1,567,300 ha están cubiertas por estuarios donde se mezcla agua de mar con agua de los ríos, de los cuales 892,800 ha se encuentran en las costas del Pacífico y 674,500 ha en el Golfo de México. México cuenta con 130 lagunas a lo largo de su línea costera y con un gran número de ríos que descargan al Océano Pacífico, el Golfo de México, el Mar Caribe y lagunas interiores (ver Figura 3.1).

(2) Clima

La temperatura anual en México varía entre los 10 y los 25°C dependiendo de la región. Del total del área superficial del país, el 52% es árida o semiárida, 13% es tropical seca, 20% es moderada y 15% es tropical húmeda. El promedio anual de lluvia en México es 777 mm, lo que equivale a 1,522 km³ de masa de agua (SEMARNAP, Estadísticas del Medio Ambiente en México, 1997), y el volumen varía con la localización geográfica en un rango entre 100 hasta 4000 mm (ver Figura 3.2). La región norte recibe solamente el 3% del total de la precipitación mientras que ocupa el 30% del territorio Mexicano. La región sudeste, la cual representa el 20% de la superficie nacional tiene el 50% del total de la precipitación en México. En lo que se refiere al régimen de vientos, los vientos alisios provenientes del Golfo de México generan lluvias que se distribuyen por todo el territorio nacional. El lado norte del país está localizado bajo las cadenas extra tropicales de alta presión. El patrón de vientos contribuye a la formación de clima árido acompañado por grandes oscilaciones térmicas en el norte y un régimen de temperaturas húmedas y estables en el sur.

(3) Oceanografía e Hidrología

La extensión del Golfo de México es de alrededor de 1,768,000 km² con más de 300 millones de km³ de volumen de agua y su parte más profunda sobrepasa los 3,400 m. La mayor parte de las mareas del Golfo de México son diurnas con algunas mareas mixtas en la parte norte del Golfo (Texas-Luisiana-Florida). El nivel del mar más alto (de 189 a 213 cm) fue registrado en Coatzacoalcos y Veracruz. La corriente de lazo en la parte este del golfo y el movimiento anticiclónico a través de la frontera oeste caracteriza la circulación del Golfo de

México. La corriente del Golfo originada en el Océano Atlántico regula la temperatura a lo largo de la costa. Las costas del Caribe Mexicano presentan mareas mixtas, pero no existe información referente al nivel del mar y sus cambios. En el Golfo de California, el patrón anual de mareas es difícil de determinar ya que la marea está fuertemente influenciada por la descarga de los ríos durante la época de lluvias. Derivada de las corrientes japonesas la corriente de California regula la temperatura del noroeste de México. La lluvia también influye especialmente durante el invierno en la costa oeste de Baja California. La energía mareal se disipa principalmente en el Golfo de California, el cual es uno de los puntos de energía marea más importante del noreste del Océano Pacífico. Cercano a la entrada del Golfo de California, las olas internas presentan una longitud de aproximadamente 1,000 km en un periodo de 6.6 días y una velocidad de propagación de 1.75 m/s (Oceanografía de mares mexicanos, 1991).

El área costera mexicana está dividida en tres regiones: la región costera del Océano Pacífico, la del Golfo de México, y la región costera de la Península de Yucatán. Las dos regiones costeras tienen sistemas de escurrimiento superficiales, el cual divide la región en 11 y 9 cuencas respectivamente. La región costera de la Península de Yucatán difícilmente cuenta con un sistema de ríos y el agua fluye como agua subterránea en una plataforma de estrato calcáreo.

(4) Ecosistemas Costeros.

México es notorio por su gran biodiversidad, la cual proviene de su localización en la zona transicional de la región biogeográfica Neotropical y del ártico. Se puede observar un amplio rango de especies de flora y fauna en los diferentes cuerpos de agua del Territorio Mexicano. Los bosques de manglares comprenden una superficie de alrededor de 600,000 ha (Contreras, Ecosistemas costeros mexicanos, 1993), proporcionando hábitat a organismos acuáticos en cada taxón. Es bien sabido que las lagunas costeras, pantanos, bosques de manglares, lechos de pastos y arrecifes están estrechamente intercomunicados, creando un gran ciclo de flujo de energía. Los nutrientes disueltos de un pantano fluyen a un lecho de pastos, favoreciendo su productividad primaria. Los manglares y lechos macrofíticos son una fuente de alimento para la fauna coralina, así como también hábitat para diferentes clases de organismos marinos. Esto no califica únicamente la importancia ecológica de los sistemas costeros sino también la económica. (Botello et al. Ecología, Recursos Costeros y Contaminación en el Golfo de México, 1996). Los arrecifes coralinos a lo largo del Golfo de México y del Mar Caribe son unos de los más desarrollados en el mundo. Debido a las funciones físicas y biológicas de los

arrecifes coralinos, se han creado ambientes costeros tranquilos y hábitats ricos en flora y fauna. (Botello et al. Ecología, Recursos Costeros y Contaminación en el Golfo de México, 1996). Las islas son otra extensión del territorio nacional; se cuentan 371 distribuidas a lo largo de las costas mexicanas. Debido a su ecosistema cerrado, los atributos biológicos son únicos para cada isla. Particularmente las islas del Golfo de California que cuentan con un ambiente tan estable que abriga especies muy diversas muchas de ellas endémicas y poco comunes.

Por otra parte, el incremento de las actividades humanas ha causado un gran impacto al ecosistema natural en este país. Estudios de Sistema de Información Geográfico recientes, revelaron que el 72% del territorio nacional está cubierto de bosques con vegetación en diferentes categorías, pero solamente el 55% del territorio son bosques y selvas intactas que no presentan perturbaciones humanas significantes. (SARH, Inventario Nacional Forestal Periódico 1994). Sin embargo la falta de información con relación a la situación de la fauna y flora local, está restringiendo el desarrollo de programas de conservación en la nación.

(5) Zonas de Conservación Costeras

La legislación del manejo y conservación del ambiente natural en México está basada en el concepto del uso y desarrollo sustentable, de acuerdo a la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (*LGEEPA*). Con el fin de complementar el marco legal, la legislación Federal publicó las *Normas Oficiales Mexicanas (NOM)*. Un total de 111 áreas protegidas cubren una superficie de aproximadamente 11,796,969 ha (equivalente al 6% del territorio nacional) con el soporte legislativo de la *LGEEPA* (ver Figura 3.3). Entre estas, existen 21 reservas de la biosfera¹ que representan el 68.8% de la superficie protegida. Además bajo la administración Federal hay, 63 parques nacionales², 9 áreas de protección de flora y fauna³, 7 áreas de recursos naturales protegidas⁴, y 3 monumentos naturales⁵.

La importancia ambiental de las Areas Naturales Protegidas en México también ha sido reconocida internacionalmente. Por ejemplo, las reservas de la biosfera de Sian Ka'an en Quintana Roo y El Vizcaíno en Baja California Sur han sido registradas como Reservas Naturales de la Humanidad en México (CONABIO, La Diversidad Biológica de México: Estado de País, 1998).

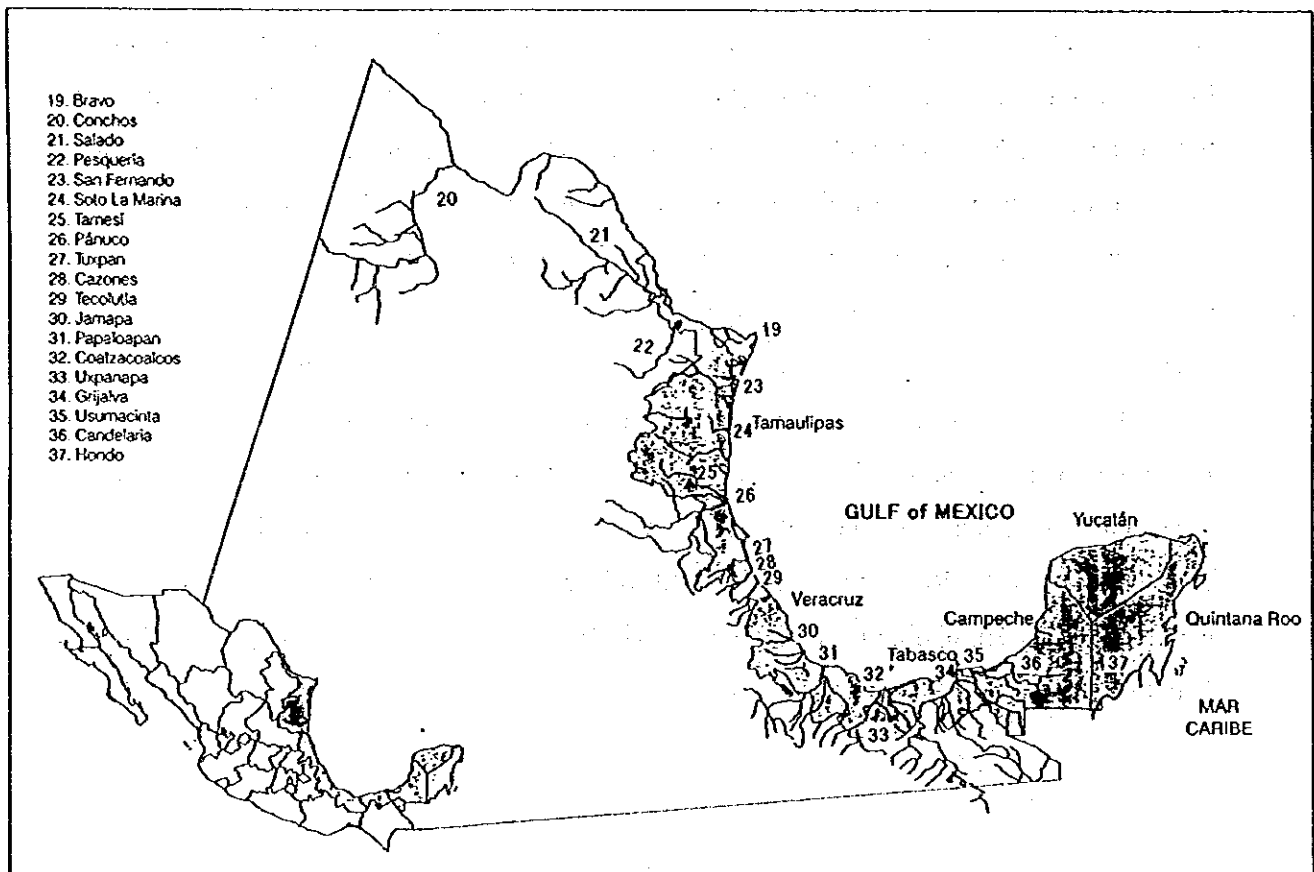
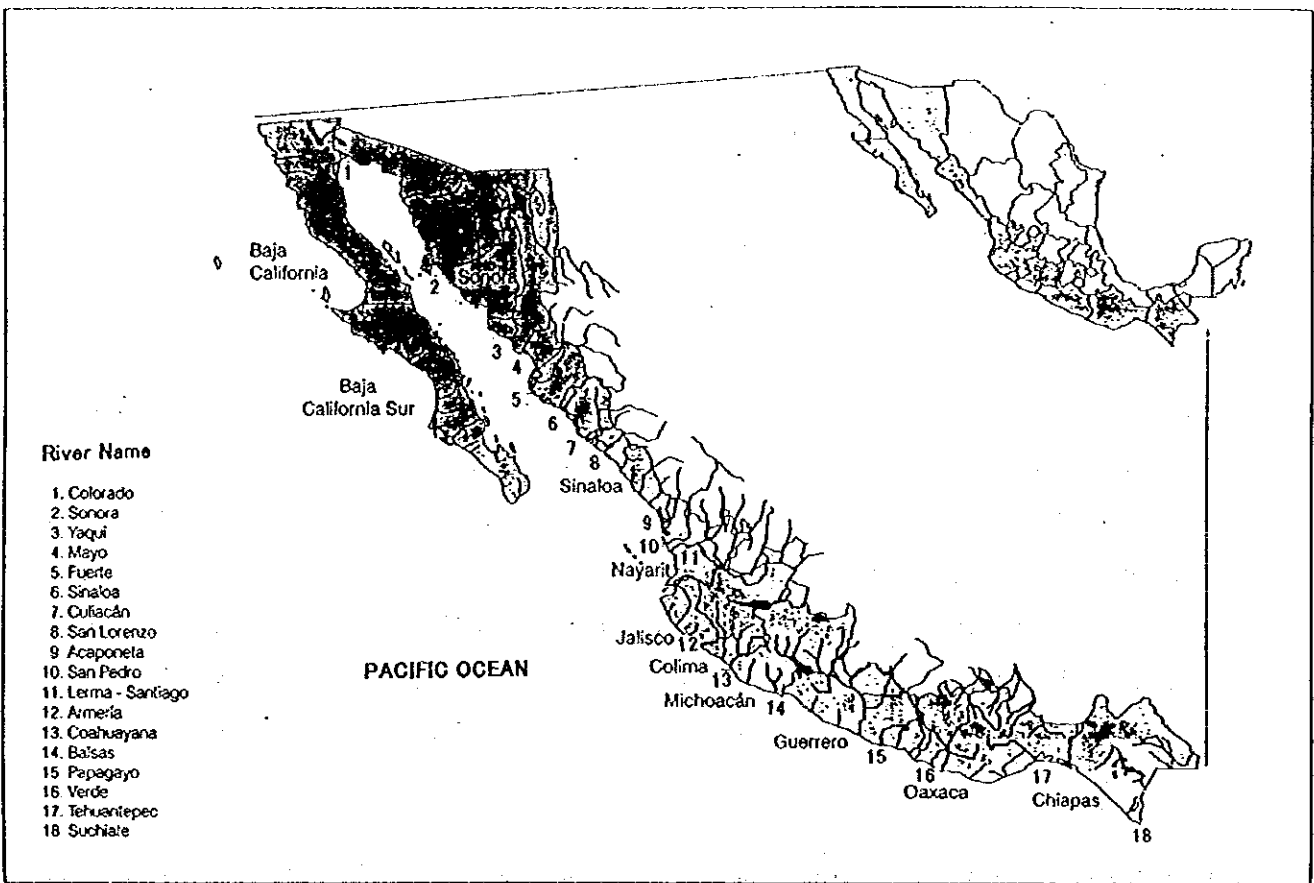


Figura 3.1 Ríos en las Zonas Costeras de México

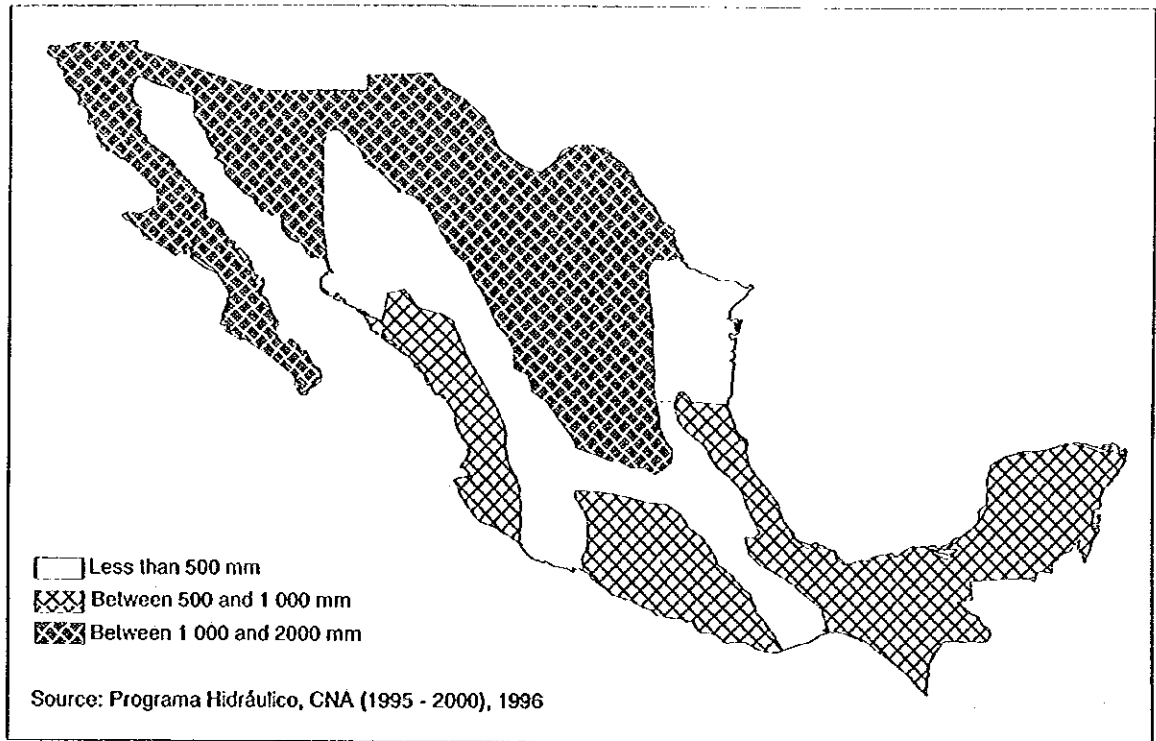


Figura 3.2 Promedio Anual de Lluvia en México

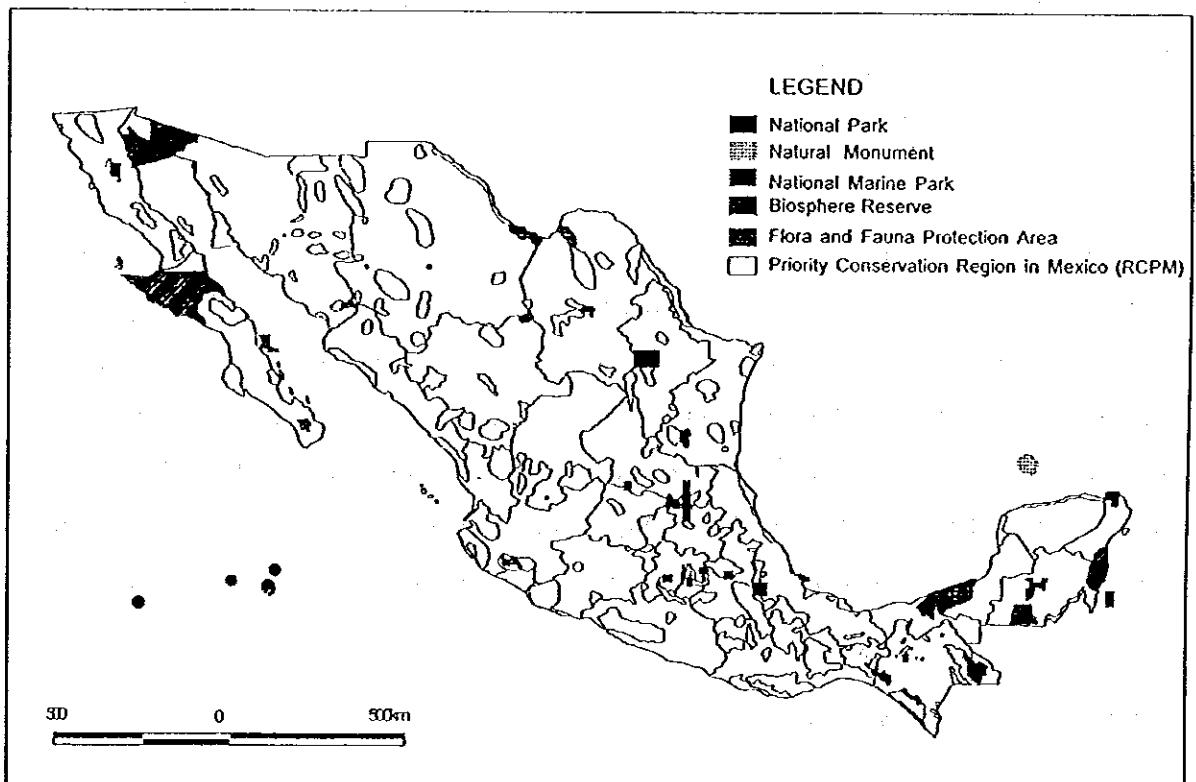


Figura 3.3 Areas Naturales Protegidas y Zonas de Conservación Prioritarias en México

3.1.2 Recursos Naturales Ambientales

(1) Recursos Pesqueros

Existe una gran variedad de especies comerciales en México. Durante 1980, la captura más grande de especies marinas fueron la sardina y el atún. También se capturaron pequeñas especies pelágicas, como camarones en la región del Pacífico. México cuenca con Zonas Económicas Exclusivas (EEZ) tanto en el océano Pacífico como en el Golfo de México.

En 1996, el valor total de la pesca registrado fue de 7,629.8 millones de pesos, la que represento un incremento del 22.8% sobre 1995. Las principales especies de la producción pesquera fueron el atún, el camarón, la carpa y la sardina.

Los principales estados pesqueros son Sonora y Sinaloa en la Costa del Pacífico, Veracruz en el Golfo de México y Baja California y Baja California Sur en la Costa del Pacífico.

En términos de acuicultura, la producción pesquera en México ha excedido las 170,000 ton, de las cuales aproximadamente 150,000 ton fueron producidas utilizando métodos semi-intensivos y 20,000 métodos intensivos. Se llevo a cabo acuicultura intensiva en agua salobre en más de 16,000 ha, de las cuales el 98% estaban dedicado al cultivo de camarón. El cultivo de Ostión se ha practicado principalmente en la costa del Golfo de México, especialmente en los estados de Veracruz y Tabasco.

(2) Recursos Minerales

México es rico en recursos minerales y el país líder en producción de petróleo en América Central. La economía del país todavía depende básicamente de la industria del petróleo, la cual se ha desarrollado a lo largo del Golfo de México, principalmente en las ciudades de Tampico, Coatzacoalcos, Poza Rica y Ciudad del Carmen (ver Figura 3.4). México también es el productor más grande a escala mundial de plata, metales no ferrosos y de azufre. Ya que la producción de estos productos involucra la descarga de contaminantes peligrosos al ambiente terrestre y costero, se deben tomar medidas apropiadas para prevenir la contaminación del agua.

3.1.3 Condiciones Socioeconómicas

(1) Distribución de la Población.

En 1995, la población de México en todo el territorio nacional alcanzó los 91,158,290

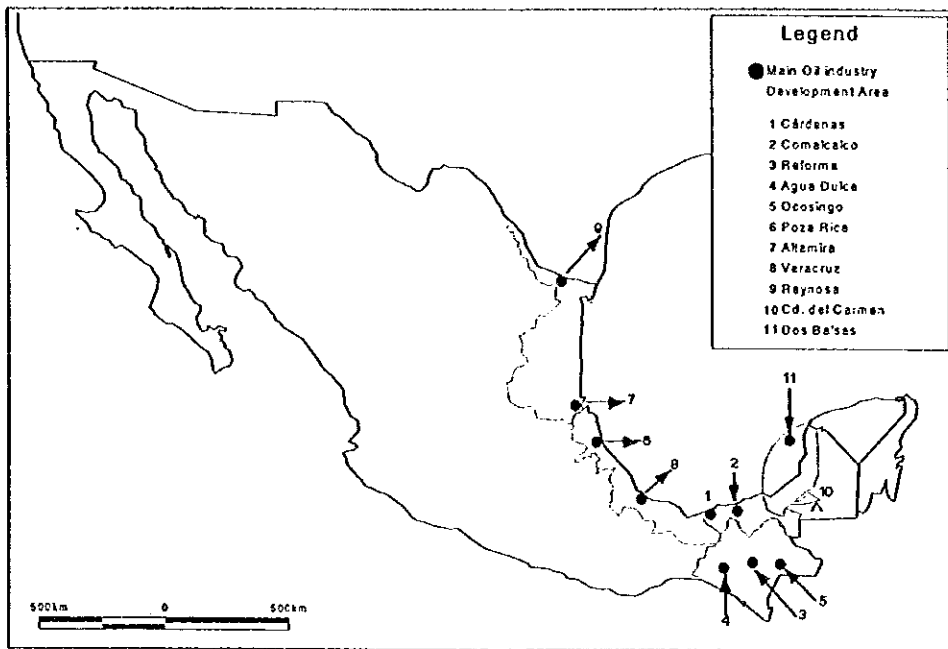
habitantes. La mayor distribución de población se encuentra alrededor de las principales ciudades en el Distrito Federal, el Estado de México, y el estado de Puebla. También se encuentra concentrada en los estados más desarrollados económicamente hablando, tales como Jalisco, Nuevo León y áreas con desarrollo industrial como el estado de Veracruz. La población no se encuentra distribuida homogéneamente en todos los estados. El Distrito Federal, el Estado de México, Veracruz, Jalisco y Puebla representan todos juntos el 10.7% del territorio nacional, mientras que tienen el 41.2% del total de la población.

En 1995, la densidad de la población en México fue de 46 personas por km² el cual es casi dos veces la que había en 1970. El Distrito Federal tiene la mayor densidad con más de 5,663 personas por km², seguido por los estados de México, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Guanajuato y Aguascalientes. Baja California Sur, se encuentra lejos de estos estados con gran población, tiene la más baja densidad con solamente 5 personas por km². De acuerdo a una estimación reciente de *CONAPO*, la densidad de la población en el ámbito nacional se incrementará de 46 a 57 personas por km² en el 2010 (ver Figura 3.5). Se espera que entidades tales como el Estado de México, Tlaxcala, Morelos y Aguascalientes estén densamente pobladas en un futuro cercano.

(2) Zonas de Principal Actividad Económica

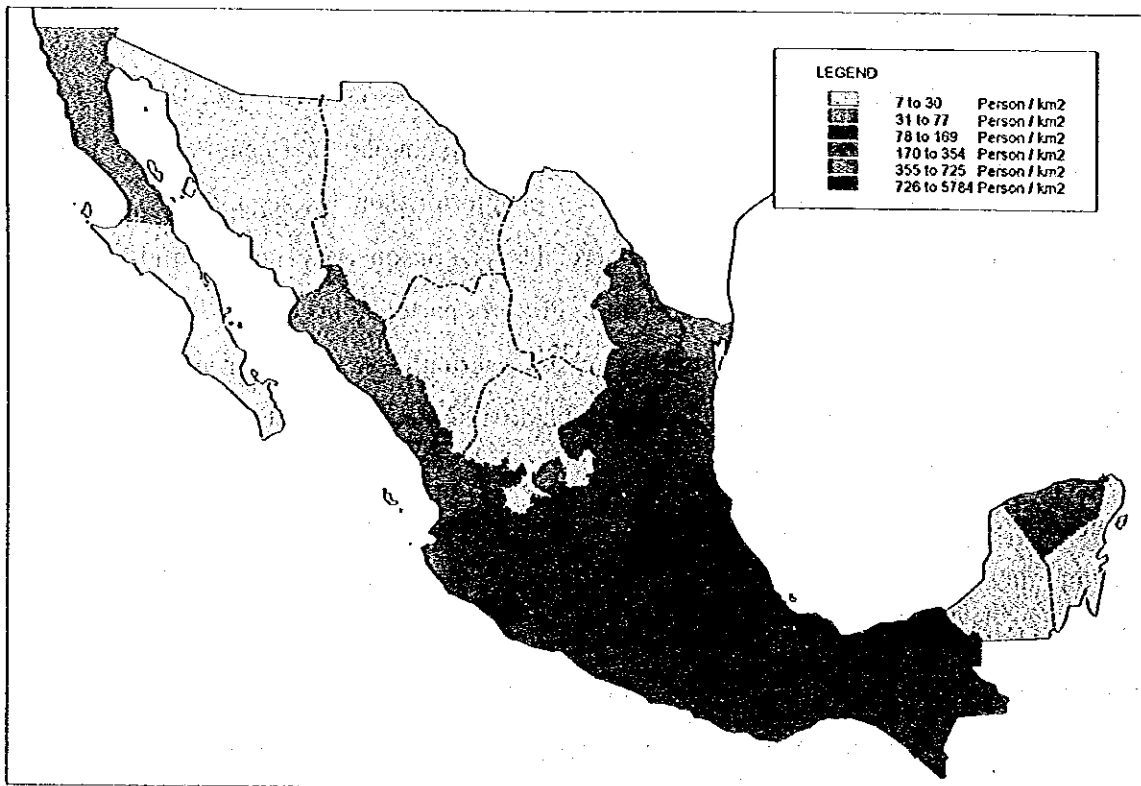
México está compuesto por 31 estados, incluyendo 17 estados costeros, y el Distrito Federal (Ciudad de México). La Cd. de México es el centro económico, financiero, comercial y cultural del país. Monterrey y Guadalajara en el interior, son las segundas ciudades más importantes como centros industriales y comerciales. La pesquería y agricultura también son actividades importantes en el Golfo Mexicano. Por otra parte, en las costas del Pacífico están emergiendo industrias importantes como el turismo, agricultura, y pesquerías. En la Región de la Península de Yucatán, Cancún es reconocido internacionalmente como una zona de turismo desarrollada recientemente.

Se puede describir a la economía mexicana moderna como la relación entre el PIB y la estructura de empleo. Los sectores de servicio y agricultura, que emplean a más del 50% de la fuerza laboral del país, generan solamente menos del 25% del PIB. En contraste, los servicios financieros, el comercio y la manufactura, que emplean alrededor del 25% de la fuerza laboral, son responsables de más del 50% del PIB. La tabla 3.1 muestra el PIB con base en los precios de los principales sectores económicos de México desde 1995 hasta 1997. Las Actividades económicas en México han estado estancadas en los últimos tres años.



SOURCE: Pemex, Anuario Estadístico 1996, México, 1997.

Figura 3.4 Principales áreas de Desarrollo de la Industria del Petróleo en México



Source: CONAPO, 1997

Figura 3.5 Proyección de la Densidad de la Población de México en 2010

Tabla 3.1 PIB de los principales Sectores Económicos (1993 precio base) 1995-1997

Unidad: Millones de Pesos Mexicanos

Principales Sectores Económicos	1995	1996	1997
Agricultura, Ganado, Tala de Bosques y Pesquería	74,005	76,646	77,744
Minería	16,223	17,538	18,286
Industria Manufacturera	217,581	241,385	264,955
Construcción	45,958	50,448	55,575
Electricidad, Gas y Agua	19,613	20,551	21,742
Comercio, Restaurantes y Hoteles	226,959	237,854	261,434
Transporte, Almacenaje y Comunicaciones	111,081	120,000	131,358
Servicios Financieros, Seguros, Bienes y Raíces y Arrendamiento	192,528	193,626	204,484
Servicios sociales, personales y comunitarios	261,055	263,651	272,905
Servicios bancarios	- 33,415	- 31,696	- 35,103
Total (PIB en valores básicos)	1,131,599	1,190,007	1,273,383

Fuente: INEGI, Sistema Nacional de Conteos, 1998

(3) Industrias

a) Industria

En México la industrialización y la urbanización se encuentran más desarrolladas en la Ciudad de México, el Estado de México, el estado de Jalisco, y el estado de Nuevo León, que representan el 50% del PIB y el 39% del empleo total del país. Entre estos estados, solo el estado de Jalisco tiene zona costera.

Bajo la estrategia nacional para la industrialización que está dirigida a crear oportunidades de trabajo, se ha promovido a la industria maquiladora desde 1980. La instalación estratégica de la infraestructura importante en los estados de la frontera norte de México facilitó la reducción de los costos de transportación de partes y se estableció una comunicación más estrecha con los Estados Unidos. Como resultado, casi el 80% de la industria maquiladora de México se encuentran localizadas entre los 5 estados de la frontera norte desde 1996. Estos estados fronterizos y la proporción de industrias maquiladoras son: Baja California (32.9%), Tamaulipas (12.7%), Sonora (8.0%), Chihuahua (15.4%), y Coahuila (8.8%). Tres de estos estados cuentan con una línea costera enorme.

Las actividades de manufactura están concentradas en el Distrito Federal (10.6% del total de la industria manufacturera) y en los siguientes 7 estados: Puebla (9.1%), Estado de México (8.5%), Jalisco (6.8%), Veracruz (5.6%), Guanajuato (5.4%), y Yucatán (5.0%). Alrededor del 56% del total de la industria manufacturera del país está localizada en estos estados, 4 de los cuales cuentan con zona costera.

b) Agricultura y Ganadería

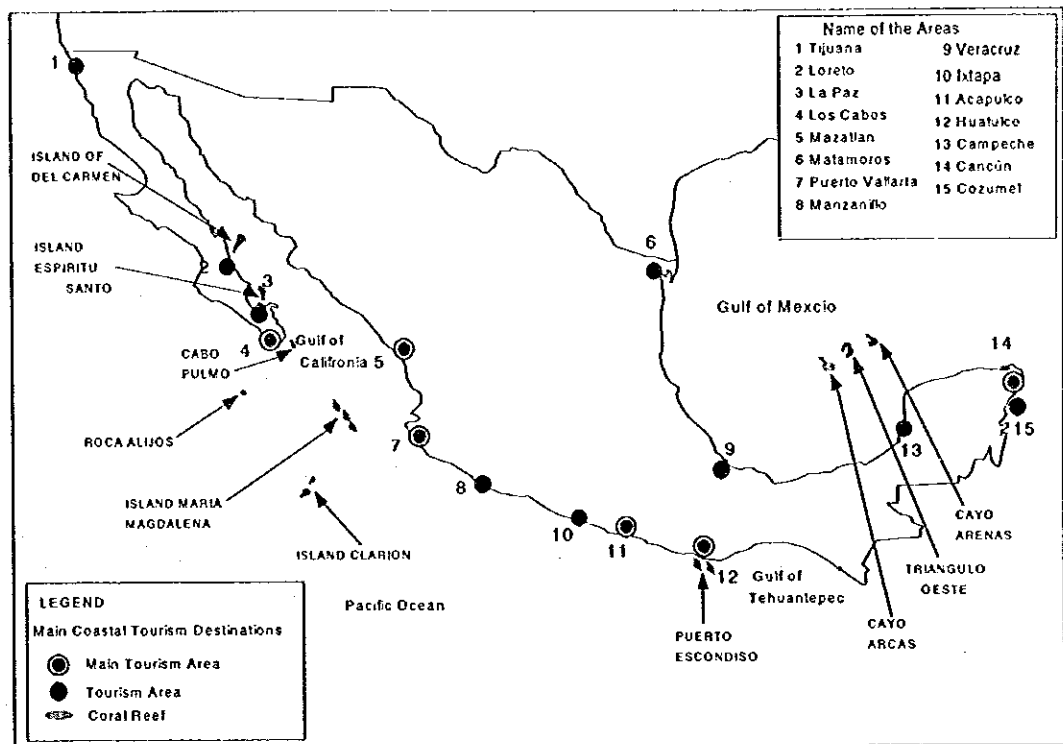
Para 1995, el total de 18.7 millones ha de tierras cultivadas, equivalentes al 51% del

total del territorio cultivado en el país están comprendido en los estados de Chiapas, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz, y Zacatecas. Tamaulipas, Veracruz, Chiapas, y Jalisco cuentan con una gran zona costera a lo largo de su territorio estatal. Los cultivos más importantes en términos de hectáreas cultivadas (48.6% del total nacional) y del valor de producción (28% del total nacional) fueron cereales. También los principales frutos en México fueron el aguacate, el limón, el mango, la naranja y el plátano.

La vasta extensión de pastura árida en el territorio Mexicano es apropiada para las actividades de ganadería. Del total de la superficie de México, 107.8 millones ha están destinadas a granjas de productos lácteos, lo que representa el 55.2% del territorio. Alrededor del 65% de las granjas ganaderas están dedicadas a la producción de ganado. El estado de Chihuahua tiene el mayor territorio de crianza de ganado en el país, con 17.8 millones de ha dedicadas a la crianza de ganado y granjas de aves. En los estados costeros, la producción de ganado en Sonora, Baja California y Tamaulipas es muy importante.

c) Turismo

México está considerado como uno de los países turísticos más grandes debido a su ubicación geográfica, abundantes recursos naturales y sitios históricos. La Figura 3.6 muestra las principales áreas de destinos turísticos en las costas Mexicanas. Estas áreas cuentan con facilidades para el turismo internacional.

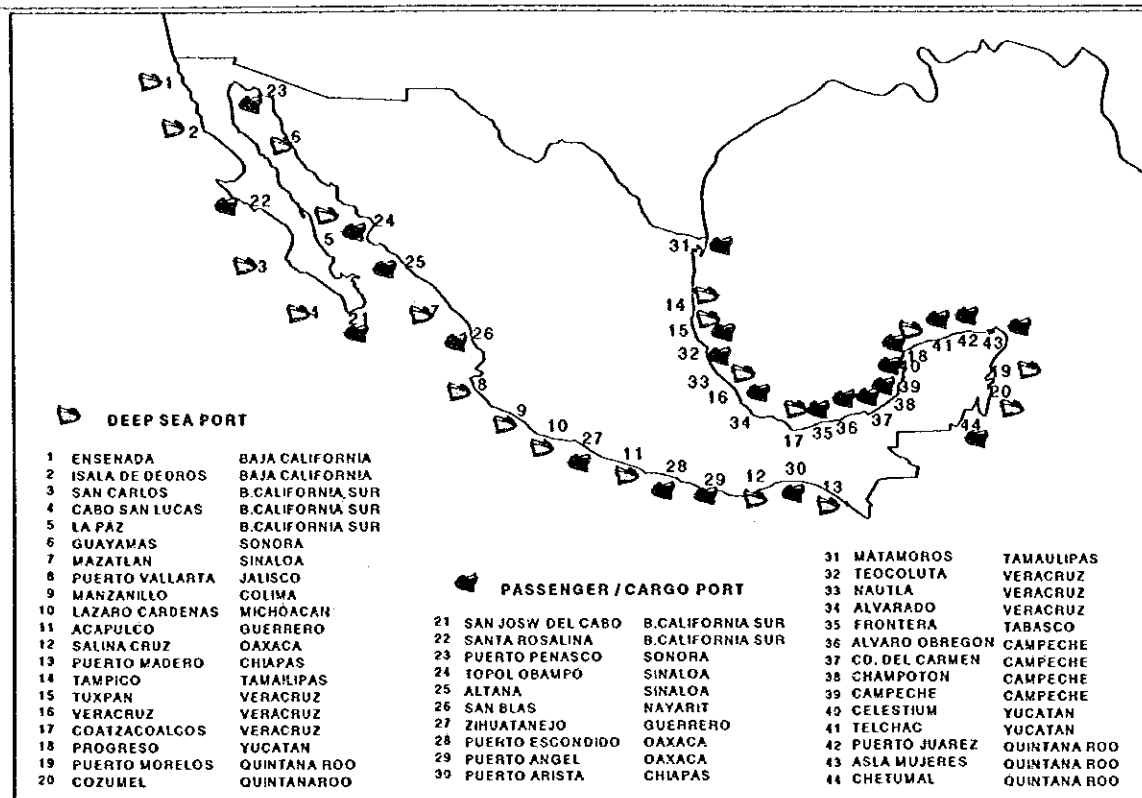


Fuente: JICA Equipo de estudio de JICA para el proyecto del Desarrollo del Turismo Nacional en México
 CONABIO La Diversidad Biológica de México: Estudio País, 1998

Figure 3.6 Destinos Turísticos Costeros y Arrecifes Coralinos en México

(4) Infraestructura Costera

Los 11,500 Km de longitud de la zona costera ha causado el desarrollo de una enorme red de puertos en México. Para 1996, se habían establecido 76 puertos marítimos en el país, incluyendo puertos de altura, puertos comerciales, estaciones para ferris y puertos pesqueros (ver Figura 3.7). Los puertos comerciales de Manzanillo y Lázaro Cárdenas en la costa del Pacífico, y el de Altamira y Veracruz en el Golfo de México destacan ya que manejan el 60% del total de cargos marítimos. Estos puertos son importantes debido a su cercanía a grandes centros urbanos e industriales. En lo que respecta a la flota marítima, para 1994, México contaba con tres embarcaciones para el transporte de productos químicos y ocho tanques.



Source: JICA Study Team for National Tourism Development Project in México

Fuente: JICA Equipo de estudio de JICA para el proyecto del Desarrollo del Turismo Nacional en México

Figure 3.7 Distribución de Puertos Marítimos en México

3.1.4 Problemas Ambientales Costeros en México

(1) Marea Roja

La marea roja es un fenómeno natural que se presenta en costas templadas y tropicales alrededor del mundo. Es una surgencia temporal de especies de fitoplancton que producen un pigmento rojo en el proceso de la fotosíntesis. Entre los cientos de especies diferentes que se conoce que causan las mareas rojas, existen algunas responsables de producir sustancias tóxicas. Las toxinas pueden producir serios problemas al cuerpo humano, ya sea a través del contacto primario o del consumo de especies contaminadas. En la costa de México, el incidente más antiguo de marea roja fue registrado en el Estado de Veracruz en 1979. Hasta ahora, la marea roja ha causado un impacto serio en la pesquería y el turismo de las áreas costeras, particularmente en el estado de Guerrero, fuera de Acapulco. La Secretaría de Salud lleva a cabo el monitoreo de la densidad de plancton tóxico cuando se reporta la marea roja, pero no existe un sistema de monitoreo regular de mareas rojas en el país.

(2) Problemas de Petróleo

El litoral del Golfo de México cuenta con una gran cantidad de campos petroleros tanto en tierra como en mar abierto. En el área del Golfo de México frecuentemente hay presencia de contaminación por hidrocarburos. El derrame de petróleo y las aguas residuales del lavado de los tanques también son responsables de la presencia de brea y alquitrán en los litorales de las playas mexicanas. Lo que es más, la transportación marítima proveniente de Centro y Sudamérica contribuyen a extender la contaminación inclusive hasta las aguas que no cuentan con campos petroleros, tales como el Caribe Mexicano. Como una evidencia del impacto de la contaminación de petróleo en los organismos, se demostró que la almeja (*Mytilus californianus*) en la costa noroeste de la Península de Baja California tenía 385.3 ppm de hidrocarburo de petróleo en el cuerpo. También se han reportado niveles altos de contaminación por hidrocarburos en el agua y sedimentos de algunas áreas del Golfo de México y de la Península de Yucatán.

(3) Metales Pesados

Se han reportado altos niveles de contaminación por metales pesados en el agua y sedimentos del sur del Golfo de México. El agua y los sedimentos contienen altos niveles de mercurio en los estuarios del río Coatzacoalcos, y altos niveles de concentración de plomo en algunas zonas costeras de los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche. Algunos datos disponibles que se refieren a la concentración de metales pesados en la costa del Océano Pacífico hace alusión a los niveles de contaminación en el área.

(4) Problemas de Plaguicidas

En México la aplicación de plaguicidas para la agricultura y con propósitos sanitarios, se ha practicado desde 1946. El flujo del agua y el viento acarrear los plaguicidas desde el sitio donde se aplicaron hacia la zona costera. Los niveles de contaminación de los plaguicidas organoclorados en la zona costera de México son particularmente altos en los estados de Tabasco y Campeche.

(5) Eutroficación

La eutroficación está definida como el proceso de fertilización de un cuerpo de agua debido al incremento de la carga de nutrientes (Horne & Goldman, Limnology, 1983). Cuando los nutrientes (principalmente el nitrógeno y el fósforo) son agregados en exceso dentro de un cuerpo de agua provenientes del uso para la agricultura o de las aguas residuales municipales, puede afectar directamente el crecimiento de las plantas, así como también deteriorar el

equilibrio ecológico de los cuerpos de agua. Se ha mostrado que la laguna Ensenada en el estado de Sinaloa, la laguna Nuxco en Guerrero, el estuario Tuxpan, las lagunas de Tampamachoco, Alvarado, Mandinga y Ostión en Veracruz, y la laguna de Celestun en Yucatán presentan altos niveles de ortofosfatos.

3.2 Perfil Ambiental Costero en la Zona de Tampico

3.2.1 Condiciones Ambientales Naturales

(1) Topografía

El área de Tampico esta localizada en el centro de una gran planicie limitada por montañas al norte, oeste y sur. En el lado este se encuentra el Golfo de México, donde la línea costera se extiende de norte a sur. La parte baja de Tampico retiene agua en lagunas de agua dulce y salobre, arrecifes y lagunas mareales dispersas en el área. La laguna salobre más grande en el área de Tampico es la laguna de Pueblo Viejo, la cual tiene un área de alrededor de 100 km². Muchas lagunas de agua dulce localizadas al noroeste de la Cd. de Tampico están protegidas de la intrusión salina mediante diques construidos corriente abajo.

(2) Clima

La temperatura anual en Tampico es de 24.8°C, el promedio mensual más alto es de 28.8°C en junio y agosto, y el más bajo es de 18.7°C en enero. La temperatura más alta es de 41.0°C en junio y agosto y la más baja de -1.5°C entre 1979 y 1998. El promedio anual de la velocidad del viento es de 3.4 m/s, la media mensual más alta es de 4.2 m/s en marzo, y la más baja es de 2.8 m/s en septiembre. La dirección dominante del viento de noviembre a febrero es norte, y la de marzo a octubre es este.

El promedio anual de lluvia en Tampico es 1,117.9mm, y el promedio mensual fluctúa en el rango de 15.7 mm (marzo) a 269.6 mm (septiembre). El promedio de evaporación anual en Tampico es de 1456.8 mm. La evaporación promedio mensual en la época de lluvia es mayor que la de estiaje. La lluvia se incrementa fuertemente en junio (176.8 mm) y muestra su valor más alto en septiembre (269.6 mm). Por el contrario, el cambio de la evaporación mensual es moderado. La evaporación mensual incrementa gradualmente de primavera a verano y decrece de otoño a invierno. Podemos decir de manera general que la diferencia entre el promedio mensual de lluvia y el promedio mensual de evaporación tiene significado hidrológico para los lagos, donde la tasa de entrada y salida es relativamente pequeña. En el área de Tampico, la diferencia negativa entre el promedio mensual de lluvia y la evaporación

es mayor en abril o mayo antes de la época de lluvia, y la diferencia positiva alcanza el máximo en septiembre en la época de lluvias. El valor anual de lluvia ha fluctuado enormemente en los últimos 20 años. En el área de Tampico, el valor anual máximo de precipitación fue de 1,632 mm en 1993, y el mínimo anual de precipitación registrado fue de 602 mm en 1982.

(3) Oceanografía

A lo largo de la costa del Golfo de México, la plataforma continental se desarrolla estrechamente en el sur y se amplía hacia el norte. La costa del Área de Tampico tiene una plataforma continental relativamente estrecha, aunque está a 50 Km fuera de la línea de costa donde la profundidad del agua excede los 100 m. La pendiente del lecho marino en el área de la sección costera de Tampico está relativamente escarpada cerca de la costa, seguido por una pendiente descendente progresiva en mar abierto. La pendiente del lecho marino es particularmente pronunciada en el fondo a profundidad mayor de 200 m. Es de los 150 a 200 Km fuera de la línea de costa donde el lecho marino alcanza una profundidad de 2,000 m.

La textura del lecho marino a lo largo de la costa de Tampico es principalmente arenosa. Los arrecifes y las lagunas mareales que se forman a lo largo de la costa, representan la dominancia del tipo de litoral. El rango de mareas es relativamente pequeño. El máximo y el mínimo pronosticados para 1999 fueron 64 y 30 cm respectivamente. El nivel de referencia para la marea es el nivel medio del mar más bajo (NMMB). La marea diurna domina comparando con la marea semidiurna. El rango mareal en el lado norte es mayor que el del lado sur, en el área marina de interés

De acuerdo a "Los Datos de la Oceanografía Física" publicada por el Instituto de Geografía, las corrientes del Golfo de México en una escala sinóptica son en el sentido de las manecillas del reloj. Existe un cinturón de flujo de energía durante todo el año. Este flujo entra a la parte este del Golfo desde el Mar Caribe a través de la Península de Yucatán, se dobla hacia este y desemboca en el Océano Atlántico a través de la Península de Florida, generando la corriente del Golfo. En la parte oeste del Golfo existe otra circulación con sentido de las manecillas del reloj pero con menos energía, por lo que la corriente de la costa oeste fluye hacia el norte. La corriente de la costa de Tampico también es hacia el norte, y esta dirección es relativamente estable tanto en verano como en invierno. La velocidad de esta corriente hacia el norte es del orden de 20 cm/s en la estación de verano y de 10 cm/s durante invierno. Sin embargo, estas corrientes solamente representan una escala sinóptica de más de 50 a 100 km fuera de la línea de costa, esto es suponiendo que el régimen cerca de la costa es diferente

del de mar adentro. De hecho, la dirección dominante de las corrientes cercanas a la costa es hacia el sur. La dirección de la corriente litoral cercana a la costa de Tampico indica que esta corriente es hacia el sur. En la boca del río Pánuco se construyeron largos rompeolas de 2 km de longitud. La línea de costa al lado norte del rompeolas está considerablemente más hacia afuera que la línea de costa al sur del rompeolas. Esto sugiere que el arrastre de litoral a largo plazo se realiza hacia el sur. De acuerdo al estudio de salinidad realizado durante el monitoreo piloto por el Equipo de Estudio de JICA y de CNA, la pluma de agua dulce del Río Pánuco desembocando en el mar mostró un pequeño movimiento del flujo en el mar hacia el sur. El reporte del Instituto Nacional de Ecología mostró que la altura media de la ola en el área de Tampico cae entre los 0.6 y 0.8 m, y el periodo de oleaje medio es entre 6 y 7 segundos. En las ocasiones que hay huracanes, olas de 5 a 6 m de altitud con periodos de 11 a 13 segundos atacan el área de Tampico. (Diseño Ejecutivo del Emisor Submarino para la Disposición Final de las Aguas Residuales del Puerto Industrial del Altamira, Tamps., 1992)

(4) Condición Hidrológica

Existen tres vertientes principales alrededor de Tampico, como se muestra en la Figura 3.8; el área portuaria industrial de Altamira, la Laguna del Conejo y la laguna de Marismas, el área del Río Pánuco está formada por los tres siguientes componentes, los cuales están identificados como 1) la parte río arriba del río Pánuco, 2) el río Tamesí y sus alrededores de lagunas de agua dulce, y 3) el estuario del río Pánuco, incluyendo la laguna de la costa, la laguna de Pueblo Viejo, y el canal del Chijol.

El área del puerto industrial de Altamira (alrededor de 66 km^2) solo tiene un afluente natural llamado Garrapatas, el cual fluye en el Golfo de México. Esta área está a menos de 30 m sobre el nivel del mar. El volumen de descarga y la calidad del agua de este afluente no está reportado.

La laguna del Conejo y la laguna de Marismas están localizadas al sur del Puerto Industrial de Altamira. El área tiene varias lagunas pequeñas, pero no tiene afluentes naturales que fluyan hacia esta área. La superficie de la laguna del Conejo es de 1.6 km^2 y el área de la cuenca es de 5.8 km^2 . La laguna de Marismas tiene un área de 39.6 km^2 con un volumen excedente de $9,500,000 \text{ m}^3$. La laguna está dividida en tres partes por un camino industrial y el puerto de Altamira, por lo tanto se ha reducido el área de superficie. Aunque está separado por un banco de arena sin un canal de agua conectado al Golfo de México, la Laguna de las Marismas tiene un cuerpo de agua salobre. Solamente la salida de la Laguna del Conejo provee de agua a las Marismas.

El total del área de la cuenca del río Pánuco es de $77,206 \text{ km}^2$, con un promedio de

precipitación anual de 953 mm. El volumen total de agua recibido en la cuenca es de 73,549 millones de m³/año, el 80 % del cual proviene de la precipitación. La descarga de agua media anual de aguas arriba del Pánuco es de 421 m³/s en la estación hidrológica de Las Adjuntas. La descarga mínima mensual es de 120.41 m³/s en mayo y el máximo es de 1095 m³/s en septiembre. En la parte correspondiente al río Tamesí y al sistema lagunar de agua dulce, el volumen de agua acumulado es de 438,000,000 m³. El agua dulce de las lagunas abastece a las ciudades de Tampico, Madero, Altamira, Pánuco y González para el uso de la industria, domésticos y agricultura. El río Pánuco intercambia agua con la laguna de la Costa, la laguna de Pueblo Viejo, la laguna del Carpintero, y el canal del Chijol dependiendo del flujo mareal.

(5) Ecosistemas Costeros

En el área costera del Golfo de México, se ha incrementado un problema de contaminación de agua, el cual se anticipa va a ejercer una influencia perjudicial sobre el ecosistema local (Botello et al. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México, 1996). Se supone que el impacto de la contaminación es especialmente intenso en el área de Tampico, donde la industria petroquímica se ha desarrollado. Sin embargo, actualmente, la información biológica más básica como la composición y distribución de especies es muy limitada en esta zona, sin mencionar la información acerca del impacto de la contaminación del agua en la ecología local. Esto hace prácticamente imposible discutir la relación entre la calidad del agua y el ecosistema de la zona. Considerando esto, el Equipo de Estudio de JICA, en cooperación con la Universidad del Noreste (Tampico, Tamaulipas), llevó a cabo una investigación biológica en la zona de Tampico. Esta investigación incluye la observación de campo y la revisión bibliográfica en zooplancton, fitoplancton, bentos, necton (peces), aves acuáticas, y plantas acuáticas en la zona. El área de estudio fue elegida de acuerdo al área de interés del monitoreo piloto realizado por el Equipo de JICA y de la CNA. Se espera que la investigación arroje como resultado el conocimiento de la situación de la flora y fauna. Puede dar las bases para evaluar el ambiente biológico de la región en el contexto del impacto de la calidad del agua en los ecosistemas locales. Lo siguiente es el resumen de resultados de la investigación durante 1999 en época de lluvias. La vegetación natural en la zona de Tampico está caracterizada por una selva baja caducifolia, manglares, y marismas cubiertas principalmente por plantas vasculares. Sin embargo, la mayor parte del área presenta vegetación secundaria la cual es perturbada o está fuertemente influenciada por las actividades humanas. Las especies introducidas tales como *Mimosa pigra* y *Acrostichum aureum* son indicadores de la perturbación de la vegetación local.. La principal comunidad de

plantas acuáticas está constituida por especies de manglares, especialmente en la laguna de Pueblo Viejo. En el estuario del río Pánuco, difícilmente se observan más plantas superiores que las algas macroscópicas. En este estudio, identificamos 110 plantas superiores, pero no encontramos ninguna de las registradas como especies protegidas en la NOM-59¹.

En lo que respecta a la flora y fauna del plancton, copepoda fue la clase más diversa y abundante del zooplancton, y la Chrysophyta la del fitoplancton. En la laguna de Pueblo Viejo, se observaron especies de fitoplancton que son indicadoras de condiciones eutróficas, en densidad relativamente alta. Se colectaron muestras de sedimento para análisis de bentos, y se encontró que había más especies de la variedad de los poliquetos en las muestras de fondo que estaban cerca de las descargas de aguas residuales en el área costera frente a la Playa Miramar. Esto podría indicar la necesidad de estudios posteriores con respecto a la fauna bentónica que relacione la calidad del agua y del sedimento en esta región.

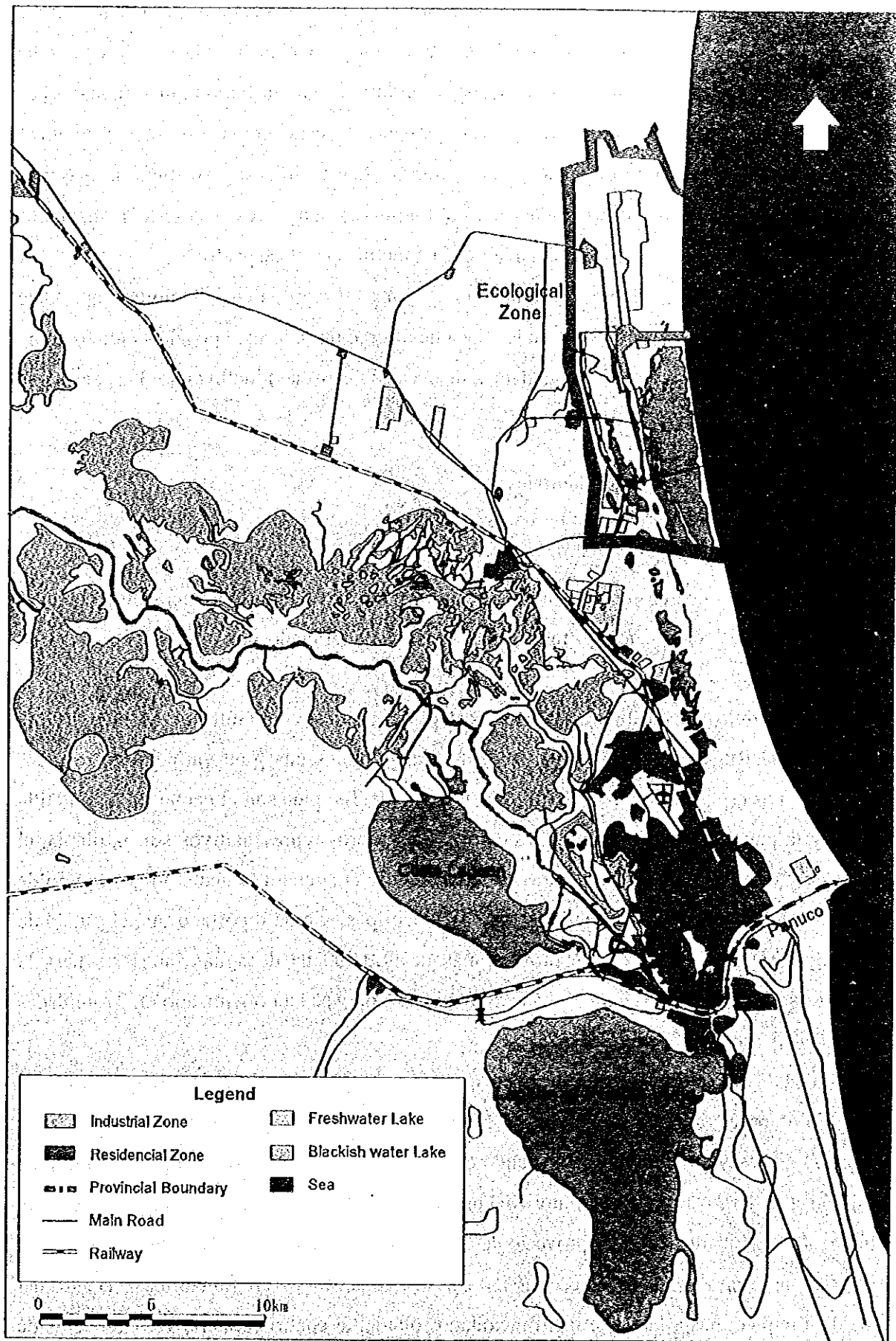


Figura 3.8 Vertientes alrededor de la Zona de Tampico

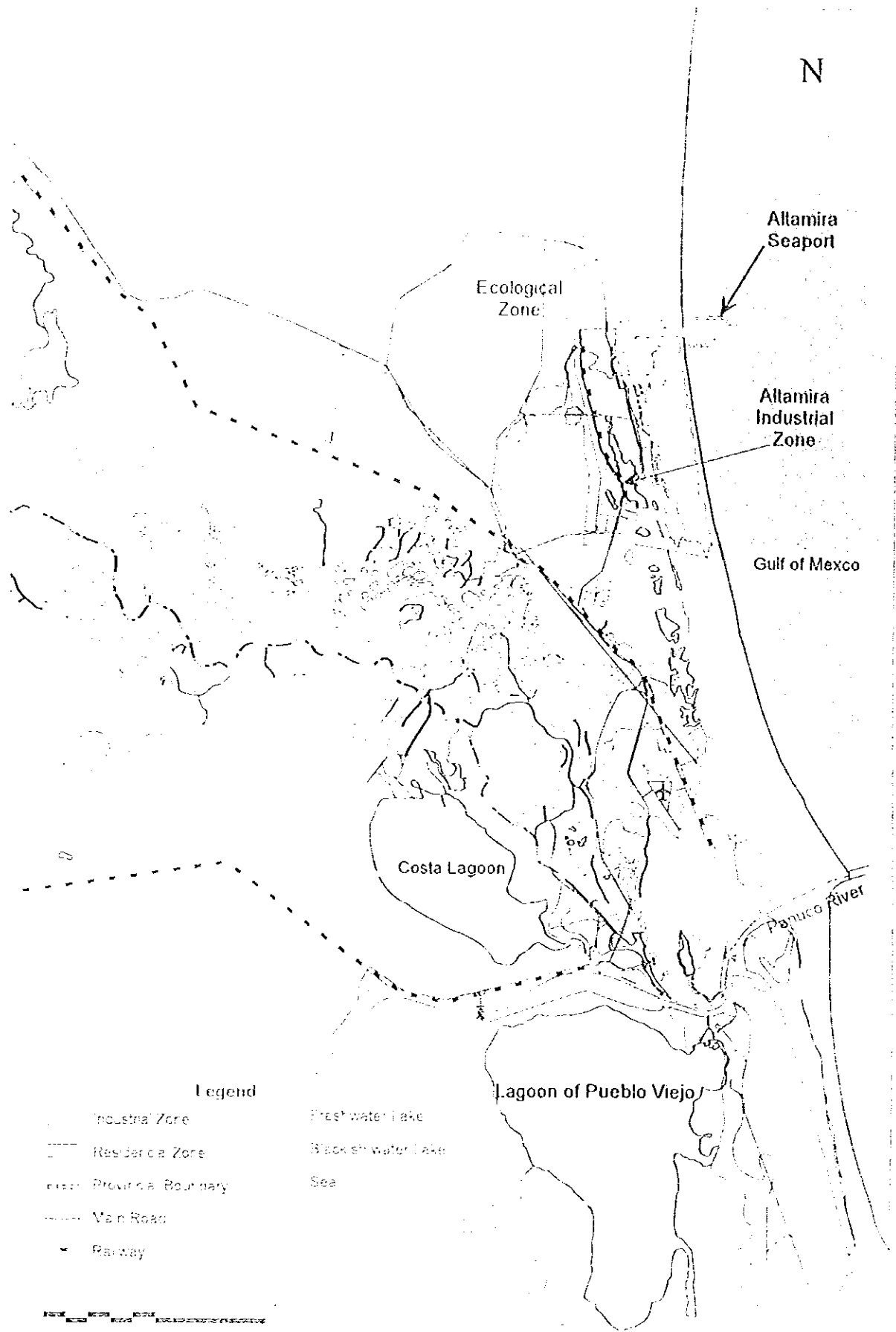


Figura 3.8 Vertientes alrededor de la Zona de Tampico

De la investigación del necton se identificaron un total de 166 especies y 52 géneros en los cuerpos de agua de la Zona de Tampico. Este estudio en particular, fue el primero que se ha hecho para integrar el conocimiento de las especies de peces en la Laguna del Conejo. Los resultados demostraron que la mayoría de los organismos en esta laguna son especies exóticas introducidas, principalmente de Africa. Se comprobó que la zona costera tiene la más rica diversidad de especies de peces en la zona de Tampico, aunque es necesario realizar una investigación a mayor escala y más detallada para concluir en este aspecto.

Las lagunas costeras y los estuarios de la zona de Tampico representan un hábitat importante para las aves acuáticas. Aunque no fue la época de migración de aves, la cual es entre octubre y marzo, se observó diversidad y abundancia de aves (28 especies) incluyendo 3 especies que están registradas en la NOM-59.

3.2.2 Recursos Ambientales Naturales

(1) Recursos pesqueros

Debido a su larga línea costera a lo largo del Golfo y una rica y enorme extensión de lagunas costeras interiores, el estado de Tamaulipas ha sido beneficiado con una gran riqueza en recursos costeros.

El área de Tampico se localiza en la zona costera del noroeste del Golfo de México y en la parte baja del Río Pánuco, donde se encuentran disponibles una gran variedad de recursos pesqueros. Las especies comerciales típicas en la Cd. de Tampico son el camarón, la muletilla blanca y la jaiba. En Cd. Madero, los productos pesqueros representativos son la tilapia, el camarón, y el ostión. Una gran laguna de agua salobre (Laguna de Pueblo Viejo) es uno de los principales sitios productores de ostión en Tamaulipas. Se ha reportado que el estado de Tamaulipas tiene el potencial de proveer más de 380,000 ha de aguas interiores para la acuicultura. En los últimos años se han explotado 854 ha y se han organizado en 21 unidades de producción con 5 áreas de 855 m².

Actualmente, la zona de Tampico no cuenta con una área de conservación marina, tal como un santuario de peces, un área de protección ecológica o un parque marino. No existe una zona exclusiva de pesca en Tampico, aun cuando existen ocho zonas exclusivas para la captura del camarón a lo largo de la costa entre Matamoros y La Pesca en la parte norte del estado. Solamente se ha identificado un proyecto de conservación de lagunas como una zona de pesca exclusiva, así como una zona de ecoturismo en la Laguna Madre, en Tamaulipas. Dentro del área de Tampico, hasta la fecha han funcionado solamente cuatro cooperativas pesqueras de ostión en la Laguna de Pueblo Viejo.

En lo que respecta a las zonas pesqueras marítimas, la pesquería municipal, la pesquería comercial y la pesca deportiva, estas se realizan dentro de las 200 millas de la zona de pesca. No existe una zona de pesca exclusiva en la costa cercana a Tampico. Se puede realizar la pesca marina bajo el principio de acceso abierto.

(2) Recursos Minerales

Las industrias relacionadas al petróleo se encuentran localizadas principalmente en el corredor industrial Tampico-Madero-Altamira, cercano a la costa (ver Figura 3.9). Sin embargo, existen sólo unos cuantos pozos de extracción de petróleo en la zona de Tampico.

(3) Infraestructura Costera

a) Puerto Industrial y Comercial

La zona de Tampico tiene dos puertos de altura a lo largo de sus 42 km de costa. Uno es el Puerto Industrial de Altamira, el cual tiene 6 terminales. Dos de ellas sirven para todos los usos, con una capacidad total para 10,000 contenedores en un espacio de 15,000 m². El puerto también cuenta con una reserva territorial de más de 3,000 ha. diseñado para el establecimiento de industria química, petroquímica, acero y metal-mecánica. La figura 3.10 muestra las áreas de desarrollo del Puerto Industrial de Altamira.

El otro es el Puerto Comercial de Tampico, el cual mueve anualmente más de 8 millones de toneladas de carga. Sus principales destinos son puertos del este de los Estados Unidos, Europa y Centro y Sudamérica.

b) Canal intracostero propuesto

Con el fin de satisfacer el incremento en el flujo de mercancía a costos de transportación más bajos, el estado de Tamaulipas propuso la construcción de un Canal Intracostero para unir las ciudades de Tampico y Matamoros, y extenderse hasta el puerto de Brownsville, el cual es el inicio del sistema de vías acuáticas de 45,000 km de los Estados Unidos.

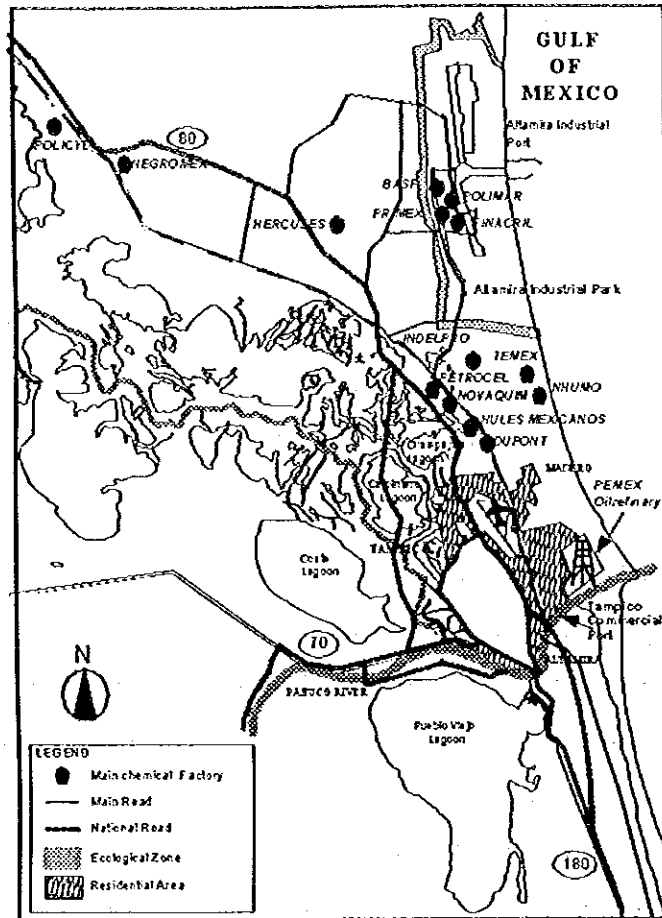


Figure 3.9 Distribución de la Industria del Petróleo en la Zona de Tampico

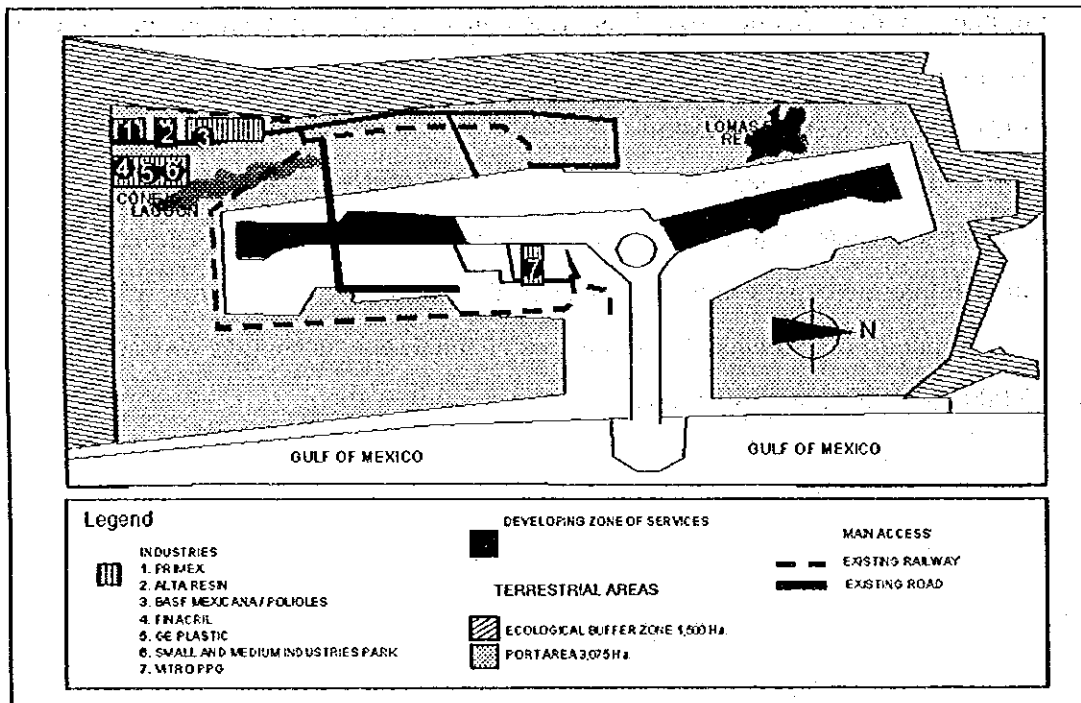


Figure 3.10 Zona de desarrollo del Puerto Industrial de Altamira

3.2.3 Condiciones Socioeconómicas

La zona de Tampico esta localizada en el sur de Tamaulipas y al norte del estado de Veracruz. La zona incluye las zonas administrativas de Tampico, Madero y Altamira así como los municipios de Pánuco, Pueblo Viejo y Tampico Alto en el estado de Veracruz.

(1) Distribución de la Población

En 1995 el total de la población en Tamaulipas era de aproximadamente 2.5 millones. El estado de Tamaulipas consta de 43 ciudades/municipios. La población del estado está concentrada en 11 ciudades/municipios, incluyendo la Cd. de Tampico, Madero y Altamira. La población de la zona de Tampico representa el 28.47% del total del estado. La tabla 3.2 muestra la población de cada ciudad/municipio en la zona.

Tabla 3.2 Población de las Ciudades y Municipios de la Zona de Tampico

Ciudad y Municipio	Población en 1995	Relación del Total en el Estado (%)	Tasa de crecimiento anual 1990-1995 (%)
Cd. de Tampico	278,933	11.04	0.45
Cd. Madero	171,091	6.77	1.30
Cd. de Altamira	113,810	4.50	6.62
Mpio. de Pánuco	93,414	3.70	2.60
Mpio. de Pueblo Viejo	48,054	1.90	3.60
Mpio. de Tampico Alto	14,009	0.55	-
Total de la zona de Tampico	719,311	28.47	-

Fuente: INEGI, XI Censo General de Población y Vivienda 1990, y Conteo de Población y Vivienda 1995

(2) Principales Actividades Económicas

La industria petroquímica es una de las principales actividades económicas en la zona de Tampico. Estas actividades industriales se llevan a cabo principalmente en el sur del corredor Tampico-Madero-Altamira, cerca de la costa. El pueblo y la playa turística de Tampico y la playa de Miramar, también contribuyen de manera importante a la economía de la zona.

(3) Industrias

a) Industria

Las industrias líderes de Tampico son la química y la petroquímica. Las 18 compañías que existen excluyendo a PEMEX, produjeron en 1996 alrededor de 2.3 millones de toneladas de diversos productos químicos y petroquímicos. La producción total se incrementó en un 20% en los siguientes dos años. En lo que respecta a PEMEX, ha logrado una producción más o menos estable en la industria

de la refinería del petróleo en los últimos años. Sin importar su contribución económica, es posible que las aguas residuales descargadas por estas empresas sea una de las principales fuentes de contaminación en esta zona. Otras industrias importantes son las plantas ensambladoras, entre las que se incluyen al sector textil, y a la industria de los alimentos. Estas industrias también representan un riesgo de contaminar el agua pública de la zona.

b) Agricultura y ganado

La tabla 3.3 muestra los principales productos agrícolas en el estado de Tamaulipas durante 1996. La producción total de las principales cosechas representa 1.7 mil ton para 1996, mientras que la producción total anual de agricultura en 1994 fue de 7.1 millones de toneladas.

En la zona de Tampico, los principales productos agrícolas son el algodón, el sorgo, el maíz, la soya, el pimiento y el jitomate. Muchos granjeros crían ganado y aves especialmente en los municipios del sur de Tampico. En el municipio de Pánuco, los principales productos agrícolas son la caña de azúcar, el maíz, los granos, el frijol, la soya, el chile, la sandía, el plátano y el arroz. El municipio de Pánuco ha propuesto muchos proyectos de riego a lo largo de la cuenca media del río Pánuco. Las principales cosechas del municipio de Pueblo Viejo son el maíz, el frijol, la sandía, la naranja y el plátano.

La tabla 3.4 muestra la producción global de ganado en Tamaulipas. La producción anual total de ganado en 1996 excedió las 70,000 ton. La principal producción de ganado en el área de Tampico es el ganado bovino.

c) Pesquerías

La tabla 3.5 muestra la producción pesquera por peso total en la zona de Tampico desde 1990 hasta 1998. De acuerdo a los datos de *SEMARNAP*, la producción pesquera de la zona ha permanecido estancada en los últimos nueve años.

Table 3.3 Principales Productos Agrícolas en el estado de Tamaulipas en 1996

Cosechas	Area cultivada (ha)	Producción (ton)
cosechas básicas		
Sorgo	1,064,886	2,597,938
Maíz	128,419	225,427
Trigo	21,478	17,311
Frijoles	7,143	3,954
Arroz	1,141	5,545
Frijol de soya	30,841	27,406
Algodón	21,426	29,607
Cártamo	26,924	12,950
Vegetales		
Cebolla	6,028	131,391
Jitomate	762	8,793
Okra	1,132	4,833
Otros	3,946	36,951
Frutas		
Cítricos	22,926	179,190
Melón	957	13,252
Mango	1,012	4,959
Papaya	248	3,258
Aguacate	171	1,093
Otros	2,722	31,705
Cosechas Industriales		
Azúcar	51,661	2'608,880
Alóe	2,073	93,285
Henequén	8,055	161,100
Pastos	18,986	783,162
Total	336,573	1,775,172

Fuente: SEDIC, 1998

Table 3.4 Producción de ganado en el estado de Tamaulipas en 1996

Productos	Inventario (número de cabezas)	Producción
Res	918,972	63825 ton
Puerco	176,067	6968 ton
Ovejas	120,541	485 ton
Cabras	255,595	637 ton
Aves	679,869	1031ton

Fuente: SEDIC, 1998

Table 3.5 Producción Pesquera por peso total en la zona de Tampico de 1990-1998
Unidad: ton

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Producción Total	9,590	9,772	10,412	13,023	9,732	14,214	12,149	10,831	10,623

Fuente: SEMARNAP Oficina de Tampico, 1999

d) Turismo

La zona de Tampico tiene un gran potencial para el desarrollo del ecoturismo de acuerdo a su gran riqueza de recursos naturales. En la costa, las incontables lagunas y las tranquilas y espaciosas playas con una gran diversidad de vida silvestre representan un atractivo para el turismo identificado con la naturaleza. La playa de Miramar en la Cd. de Tampico y la playa de Altamira junto al Puerto Industrial de Altamira son sitios potenciales para el desarrollo futuro del turismo. En términos de facilidades turísticas, existen algunos hoteles en el centro de la Cd. de Tampico, Altamira y Madero. La tabla 3.6 muestra el número de hoteles registrados en estas ciudades, Existe un hotel grande de 5 estrellas localizado frente al mar. En los municipios del sur de Tampico, como en el de Pánuco existen menos de 10 Inns u hoteles funcionando actualmente.

Tabla 3.6 Hoteles en las Ciudades de Tampico, Altamira y Madero

Ciudad	Total de Hoteles	5 estrellas	4 estrellas	3 estrellas	2 estrellas	1 estrella	Otros	Total de Habitaciones
Tampico	417	12	47	61	70	88	139	15,687
Altamira	338	4	33	50	68	69	114	11,444
Madero	340	4	33	50	67	69	117	11,461
Total	1,093	20	113	161	205	226	370	38,589

Fuente: Secretaría de Industria, Comercio y Desarrollo Turístico, Tampico

Nota:

1) El Departamento de Turismo está a cargo de categorizar los hoteles, pero no se base en estándares internacionales.

2) Se utilizaron datos de 1995 para la Cd. de Tampico y Madero, mientras que para Altamira se utilizaron datos de 1993.

(4) Uso de tierra

Excepto el área urbana de la Cd. de Tampico y los humedales, las tierras son utilizadas principalmente como campos de cultivo y forraje. La tabla 3.7 muestra el uso agrícola en los municipios del sur en la zona de Tampico.

3.2.4 Problemas Ambientales Costeros en la zona de Tampico

(1) Descarga Industrial en los cuerpos de agua vecinos.

Los ecosistemas costeros principalmente los del Golfo de México, están expuestos a los efectos de las aguas residuales industriales. La zona costera de Tampico es una región que ejemplifica las presiones típicas de los ecosistemas marinos y costeros en este país. Las aguas residuales de la industria química dentro del corredor industrial de Altamira se descargan directamente fuera de la costa de la Playa de Miramar. El agua de mar está descolorida debido a los efectos de compuestos de ión férrico, y la mancha se extiende algunas veces hasta cubrir 10 km² de la superficie de agua alrededor de la salida. El impacto ambiental que

causa esta descarga no ha sido bien analizado. Sin embargo, existen algunos trabajos dedicados al análisis de la concentración de metales pesados en las plantas acuáticas y de los moluscos y crustáceos en la zona costera de Tampico (Ramírez Cruz, 1994; Sánchez Leyton, 1996; Vicente Medecigo, 1994; Palacios Castan, 1994; Tabares Soto, 1994)

Tabla 3.7 Uso Agrícola en los Municipios del Sur de la Zona de Tampico
Unidad: ha

Municipalidad	Pánuco	Pueblo Viejo	Tampico Alto
Categorías del uso de terreno			
Agricultura Total	71,239	4,230	5,248
Riego	27,885	465	-
Sin riego	43,354	3,765	5,248
Ganado Total	205,957	9,110	69,940
Pastura	18,182	2,549	27,616
Pastura artificial	187,775	6,561	42,324
Bosques	9,502	2,174	3,826
Terreno improductivo	3,271	100	222
Áreas reservadas	1,800	179	1,677
Usos múltiples	36,012	12,831	21,822
Total	327,781	28,624	102,735

Fuente: Departamento de Agricultura, Municipio de Pánuco, 1995

(2) Descargas de las aguas domésticas

La contaminación marina y costera ocasionada por los desechos urbanos y domésticos son los problemas más comunes en la zona. Se debe a que el número de plantas de tratamiento es insuficiente, lo que provoca como consecuencia que el agua residual sea descargada sin tratamiento, en los cuerpos de agua. Se asume que ésta es la razón que causa los tres impactos principales siguientes (Botello et al., Ecología, Recursos Costeros y Contaminación en el Golfo de México, 1996):

- Impactos físicos tales como la alteración de la topografía del fondo y el régimen de circulación del agua.
- Impactos químico, tales como el aumento de nutrientes y el decremento del oxígeno disuelto.
- Impactos biológicos tales como la reducción del hábitat para la productividad fotosintética, cobertura del bentos, destrucción de la composición del plancton y del bentos y el incremento de bacterias y organismos patógenos.

Las descargas de aguas residuales de Tampico, Madero y Villa Cuauhtémoc han causado una contaminación seria por coliformes en la Laguna de Pueblo Viejo. Este problema, está limitando el valor comercial del ostión producido en la laguna (Contreras, Ecosistemas Costeros Mexicanos, 1996). Esta alarmante concentración de coliformes ha limitado la utilización de los recursos acuáticos de la zona.

(3) Disposición de Residuos Sólidos

Dentro del área de estudio, existen algunos problemas con relación a la disposición de los residuos sólidos. Los residuos sólidos se colectan sin ningún método de separación y son dispuestos en sitios legales o ilegales indistintamente, los cuales están cercanos al río Pánuco en la Cd. de Tampico y al norte de la Cd. de Altamira. No existe tratamiento para los residuos dispuestos, de manera que el suelo y el agua subterránea pueden ser fuertemente impactados. El impacto que esto causa aún no ha sido estudiado.

(4) Asentamientos Ilegales

Se reporta que existen asentamientos ilegales dentro de la zona de estudio, por ejemplo, en el área a lo largo de río Pánuco, aguas abajo, y en la zona adyacente a la playa de Miramar. Estas casas no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales in situ. Es de anticipar que la descarga sin control de las aguas domésticas de estos asentamientos puede agravar el problema de contaminación en esta área.

(5) Conflictos en la utilización de los Recursos Acuáticos en la Laguna de Pueblo Viejo

Existen cuatro cooperativas pesqueras y son 435 pescadores afiliados en total en la Laguna de Pueblo Viejo. La laguna se dividió en cuatro zonas pesqueras, pero no existe un límite físico entre cada zona. Por lo tanto se ocasionan conflictos en la utilización de las zonas pesqueras entre los pescadores de las diferentes cooperativas.

Capítulo 4 Monitoreo Piloto de la Calidad del Agua

4.1 Planeación para el Monitoreo Piloto de la Calidad del Agua

La calidad del agua, las corrientes y el sedimento están afectadas por el intercambio de materiales entre ellos. Las condiciones climatológicas, los procesos biológicos y las actividades en tierra pueden iniciar un cambio en la calidad del agua, de tal manera que es posible identificar cierta concentración de contaminantes. Las condiciones hidrológicas también pueden provocar cambios en la calidad del agua debido a los procesos de advección y dispersión, como puede observarse en los efectos adversos que estos dos factores han causado en bahías y lagunas. Por otra parte, es necesario contar con datos de corrientes para formular modelos de simulación de la calidad del agua. El entorno hidrológico también afecta la condición de los sedimentos. Por ejemplo, en la zona de Tampico, la arcilla fina y los contaminantes no son estables y nunca se acumulan en el fondo debido a las altas velocidades de las corrientes. Por el contrario en las áreas cerradas o semi-cerradas tales como Pueblo Viejo o la Laguna del Conejo, las arcillas finas se depositan en el fondo facilitando que los contaminantes se acumulen. Como resultado de la disminución del tamaño de partícula de los sedimentos, la concentración de los contaminantes en los mismos se incrementa. Es necesario identificar los cambios ambientales con el fin de vigilar la calidad del sedimento ya que ésta, depende de los cambios históricos en la calidad del agua. Considerando que el agua es el hábitat de la fauna acuática, es posible hacer una evaluación ambiental a partir de una prueba biológica desde el punto de vista de su impacto biológico sobre los organismos.

El monitoreo en la zona de Tampico abarca diferentes tipos de cuerpos de agua, tales como la zona costera, ríos, agua dulce y agua salobre. Se eligieron las siguientes áreas para cubrir los cuatro tipos de cuerpos de agua antes mencionados (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Zonas Piloto de Monitoreo de la Calidad del Agua

Tipos de Cuerpos de Agua	Zonas de Monitoreo
Zona de Aguas Costeras	Zona Costera desde la boca del Río Pánuco hasta Altamira.
Zona de Agua de Río	Río Pánuco
Zona de Aguas Salobres	Laguna de Pueblo Viejo
Zona de Agua dulce	Laguna del Conejo

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Como ya se mencionó, la calidad de los cuerpos de agua se ve afectada por diferentes factores. Lo que es más, no existe homogeneidad en los diferentes tipos de aguas, existen gradientes de concentración horizontales y verticales. Es necesario identificar perfiles horizontales y verticales. En la zona costera alrededor de la boca del Río Pánuco, en donde hay influencia directa del río, las estaciones de monitoreo se distribuyeron de forma radial, mientras que en otras zonas de la costa los sitios se establecieron con base en un mallado.

Para la calidad del agua en general, las muestras se toman de la superficie. Sin embargo, se debería considerar un perfil vertical, particularmente en la zona costera y en los lagos profundos. Para el Monitoreo Piloto de la Calidad del Agua se propone realizar un monitoreo vertical basado en la influencia del agua de río y en las reacciones biológicas. De acuerdo a los resultados del estudio de campo preliminar realizado el 4 de febrero de 1999, por la CNA y el equipo de estudio de JICA, el agua superficial a una profundidad de 5 a 6 metros se veía afectada por el agua dulce del Río Pánuco. Existe una capa activa desde el punto de vista de la fotosíntesis que es un proceso biológico que tiene efecto en la capa superficial. Como consecuencia, el nivel más bajo se ubicó a los 10 m de profundidad, en el que se asume que el agua no se ve afectada por el agua dulce y los procesos biológicos. Sin embargo en las zonas más someras de no más de 11 m de profundidad, las muestras se deben de tomar a 1 m sobre el lecho marino y del fondo del río. La relación es que el agua más cercana al fondo del mar y del río puede estar contaminada por el lodo, así que la muestra de agua se debe tomar arriba de la capa de agua turbia.

El Equipo de Estudio de JICA ha preparado un modelo de simulación para mostrar el proceso de selección para los sitios de monitoreo y la evaluación del método de estudio, así como la correlación con las fuentes de contaminación. De acuerdo a esto, el estudio de corrientes se llevó a cabo en la época de lluvias en dos cuerpos de agua típicos, la zona costera y la Laguna de Pueblo Viejo. Algunos de los parámetros medidos se utilizaron para el modelo de simulación.

En la zona de Tampico nunca se ha llevado a cabo un estudio de calidad del agua intensivo, así que durante el Monitoreo Piloto de la Calidad del Agua se analizó cierto número de parámetros. Los índices de calidad del agua analizados incluyeron índices físicos, índices de eutroficación e índices de contaminación. Sin embargo, no es necesario el monitoreo continuo de todos estos parámetros.

4.2 Estudio de Corrientes

4.2.1 Método para el Estudio de Corrientes

(1) Periodo de Observación

El estudio de corrientes se llevó a cabo durante la época de lluvias, en las siguientes fechas (ver Tabla 4.2):

Tabla 4.2 Programa del Estudio de Corrientes

Cuerpo de Agua	Fechas de estudio
Zona Costera	de julio 16 a julio 31 (luna nueva- julio 12; luna llena- julio 28)
Laguna de Pueblo Viejo	de agosto 3 a agosto 18 (luna nueva- agosto 11, luna llena- agosto 26)

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

(2) Niveles y sitios de observación

La localización de los sitios de observación se muestra en la Figura 4.1(1), Figura 4.1(2), y la Tabla 4.3. En la zona costera, las corrientes se observaron en dos niveles, a 3.5 y a 11 m bajo la superficie. Cada nivel de observación, se localizó en la profundidad media del nivel superior o del nivel inferior. En la Laguna de Pueblo Viejo, se observaron las corrientes en una capa, a 0.5 m del fondo, debido a que la profundidad de la Laguna de Pueblo Viejo es menor de los 2 m.

Tabla 4.3 Localización de los Sitios de Observación

Cuerpo de Agua	Punto	Latitud (N)	Longitud (W)
Zona Costera	CSA-1	22°17.65'	97°46.50'
	CSA-2	22°24.00'	97°49.00'
	CSA-3	22°30.25'	97°50.25'
Laguna de Pueblo Viejo	PLC-3	22°10.33'	97°53.77'
	PLC-4	22°09.72'	97°52.39'
	PL-5*	22°06.75'	97°52.50'

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

* PL-5 también es una estación de monitoreo de la calidad del agua.

(3) Método para instalar los correntímetros

El método para instalar los correntímetros (RCM9) se muestra en la Figura 4.2(1) y en la Figura 4.2(2) El RCM9 utilizado para este estudio tiene un sensor de velocidad de la corriente y dirección del agua (Sensor de Corriente Doppler), un sensor de temperatura del agua y uno de presión (profundidad del agua). Además, el RCM9 se puede equipar con un sensor de conductividad (salinidad), uno de turbidez y uno de oxígeno disuelto, pero estos tres sensores sobrepasaban los alcances de este estudio.

(4) Parámetros de medición

La información pertinente acerca del estudio de corrientes se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Resumen del Estudio de Medición de Corrientes

Puntos	Contenido
Periodo de Estudio	15 días incluyendo una marea baja y una alta
Intervalo de medición	10 minutos
Parámetros de Medición	Dirección y velocidad de la corriente (Sensor de Corrientes Doppler) Temperatura del Agua Presión del Agua (Profundidad) Salinidad (conductividad)
Equipo	RCM 9 [Aanderaa Inc.]

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

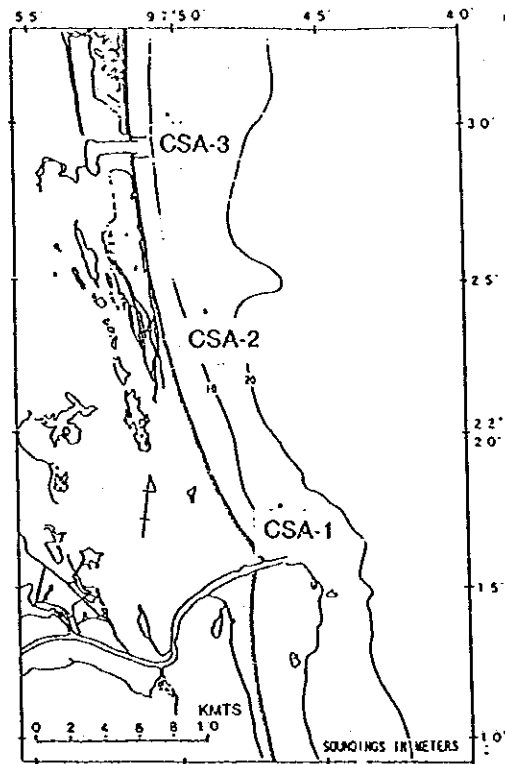


Figura 4.1 (1) Localización de los Sitios de Observación para el Estudio de Corrientes en la Zona Costera

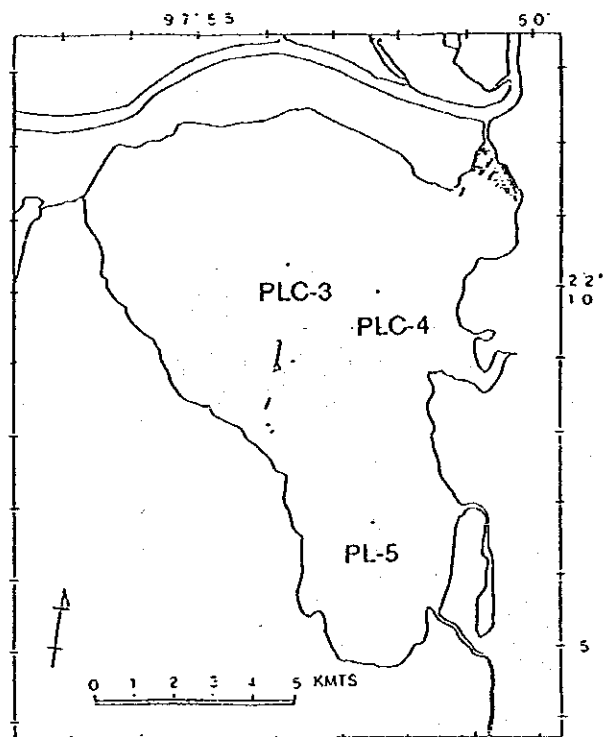


Figura 4.1 (2) Localización de los Sitios de Observación para el Estudio de Corrientes en la Laguna de Pueblo Viejo

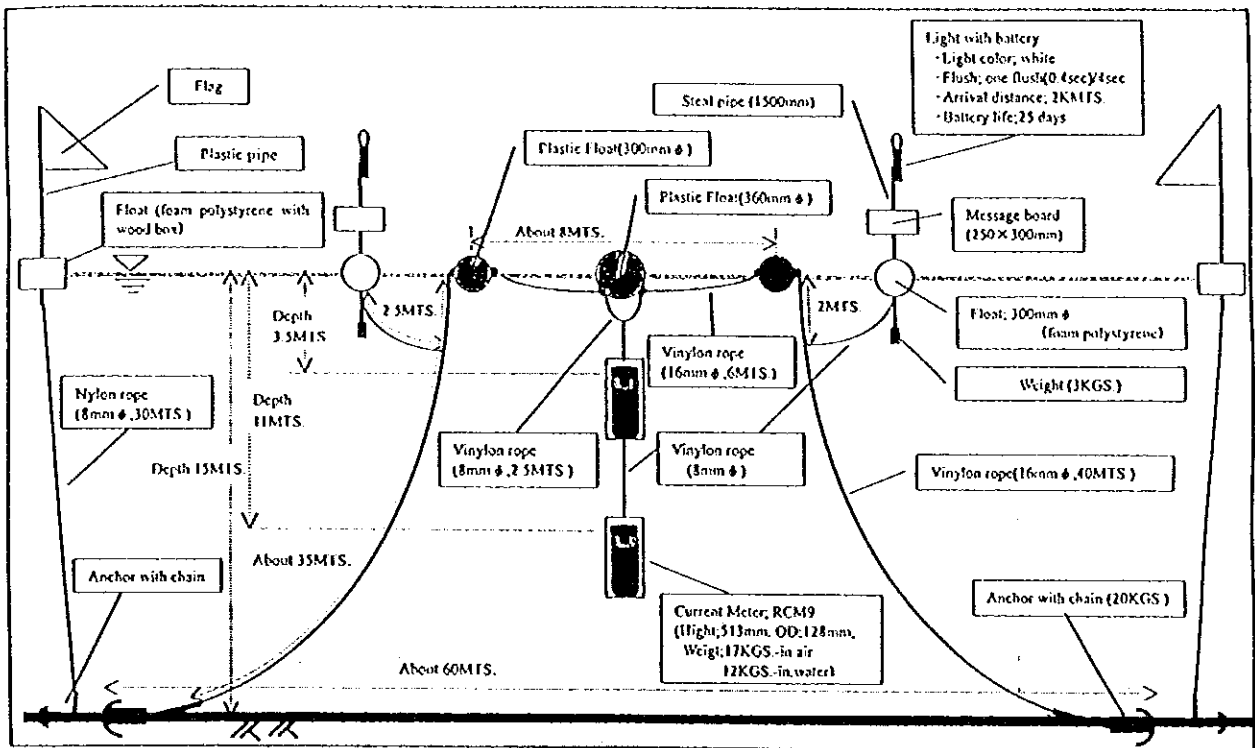


Figure 4.2 (1) Método para Instalar los correntímetros en la Zona Costera

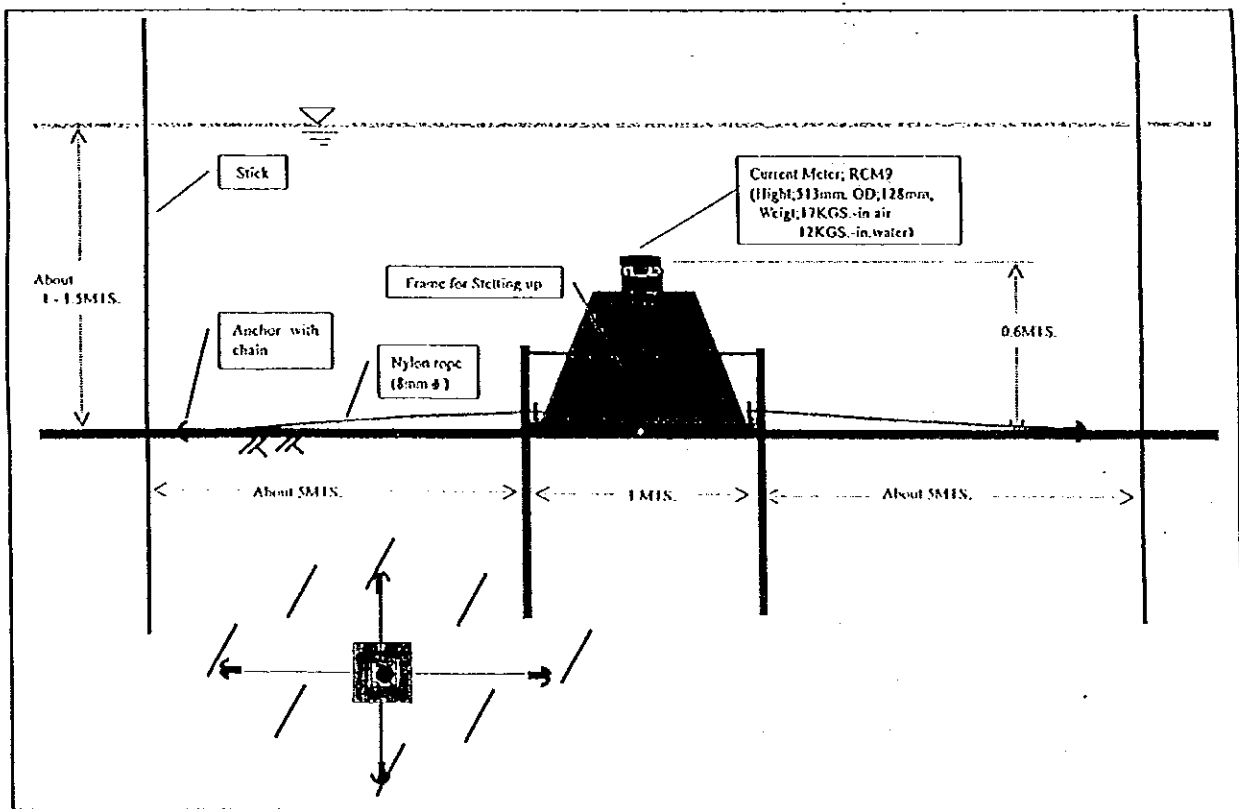


Figure 4.2 (2) Método para Instalar los correntímetros en la Laguna

4.2.2 Resultados del Estudios de Corrientes

(1) Régimen Hidráulico

A continuación se describen las características de las corrientes en la zona costera durante el estudio:

- a) La variación de la dirección de la corriente en cada punto fue pequeña y la dirección de la corriente en la capa inferior (superficie – 11 m) fue similar a la del nivel superior (superficie – 3.5 m).
- b) En el sitio sur (CSA-1) los flujos de la corriente eran hacia el sur la mayoría de las veces, por otra parte, en los puntos central y norte (CSA-2 y CSA-3), el flujo de la corriente era casi siempre hacia el norte. Este fenómeno se ve claramente indicado en los diagramas de dirección de corriente que se muestra en la Figura 4.3
- c) Sin embargo, la corriente del agua en las capas superior e inferior iba en contraflujo. La corriente del agua se movía hacia el sur en la capa superior CSA2 y CSA3 el 20 y 21 de julio, pero hacia el norte en la capa inferior. Se supone que estos fenómenos fueron debidos a la influencia de la entrada de la masa de agua cálida proveniente de mar abierto, debido a que las temperaturas del agua del 19 al 24 de julio en la capa superior fueron más altas que las comparadas con otros periodos.
- d) En cada sitio de observación la variación de la velocidad de la corriente en la capa superior fue mucho mayor, mientras que fue más pequeña en la capa inferior. La máxima velocidad de la corriente en la capa superior fue del orden de 30 a 40 cm/s, y la de la capa inferior fue de 10 o 20 cm/s.

En la Laguna de Pueblo Viejo las características de las corrientes durante el estudio fueron como sigue:

- a) En cada sitio de observación, se presentó una periodicidad diurna en la dirección y la velocidad de la corriente del agua
- b) Sin embargo, en cada sitio de observación esta periodicidad difiere. En PLC-3 la amplitud de la componente de velocidad este - oeste era mayor que la componente norte - sur. En el sitio PLC-4 la amplitud de la componente de velocidad este - oeste fue casi igual a la de la componente de velocidad norte - sur. En el sitio PL-5 la amplitud de la componente de velocidad norte – sur fue mayor que la de la componente este – oeste. Por lo tanto queda claro que en el

sitio PLC-3 dominan las corrientes hacia el este y oeste, en PLC-4 dominan las corrientes hacia el noreste y el suroeste y en el sitio PLC-5 dominan las corrientes hacia el norte y hacia el sur. Se puede observar este comportamiento claramente en los diagramas de direcciones de corrientes mostradas en la Figura 4.4.

- c) En cada sitio de observación, la velocidad máxima de la corriente fue del orden de 5 a 10 cm/s.

(2) Análisis de Datos

a) Zona Costera

En la Figuras 4.5, 4.6 (1) y en la Figura 4.6 (2) se muestran los coeficientes de autocorrelación y los espectros de fuerza. Sin embargo, no se observó algún pico en el espectro durante ninguno de los periodos de observación, de manera que se asume que la zona costera no presenta periodicidad alguna en particular y es un campo de corrientes irregular.

Por lo tanto, la corriente promedio obtenida durante el periodo de observación se debería simular con un modelo de corrientes para la simulación de la calidad del agua en la zona costera. Además para calcular el coeficiente de difusión, se deben utilizar las velocidades de turbulencia, que se eliminaron de la velocidad media durante todo el periodo de observación. Los coeficientes de difusión se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Coeficientes de Difusión en la Zona Costera para una Simulación de la Calidad del Agua

Sitio	Nivel de observación*	Componente Este - oeste	Componente Norte - sur
CSA-1	3.5m	$1.83 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$	$4.77 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$
	11m	$1.39 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$	$6.36 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$
CSA-2	3.5m	$6.65 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$	$3.97 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$
	11m	$3.71 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$	$2.96 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$
CSA-3	3.5m	$9.94 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$	$6.01 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$
	11m	$3.77 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$	$3.37 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$

* la profundidad bajo la superficie.

b) Laguna de Pueblo Viejo

En la Figura 4.7 y 4.8 se muestran los coeficientes de autocorrelación y los espectros de fuerza, respectivamente. Se puede observar un pico espectral en particular en un periodo de casi 24 horas en cada sitio de observación, así que se asume que existe

una periodicidad de aproximadamente 24 h dominante en la Laguna de Pueblo Viejo. Por lo tanto la corriente mareal diurna (K1, O1) y la corriente media durante el periodo de observación completo, se deben de simular con un modelo de simulación de calidad del agua en la Laguna de Pueblo Viejo. Además con el fin de calcular el coeficiente de turbulencia, se deben utilizar las velocidades de turbulencia eliminadas de la velocidad media de un periodo de 25 horas.

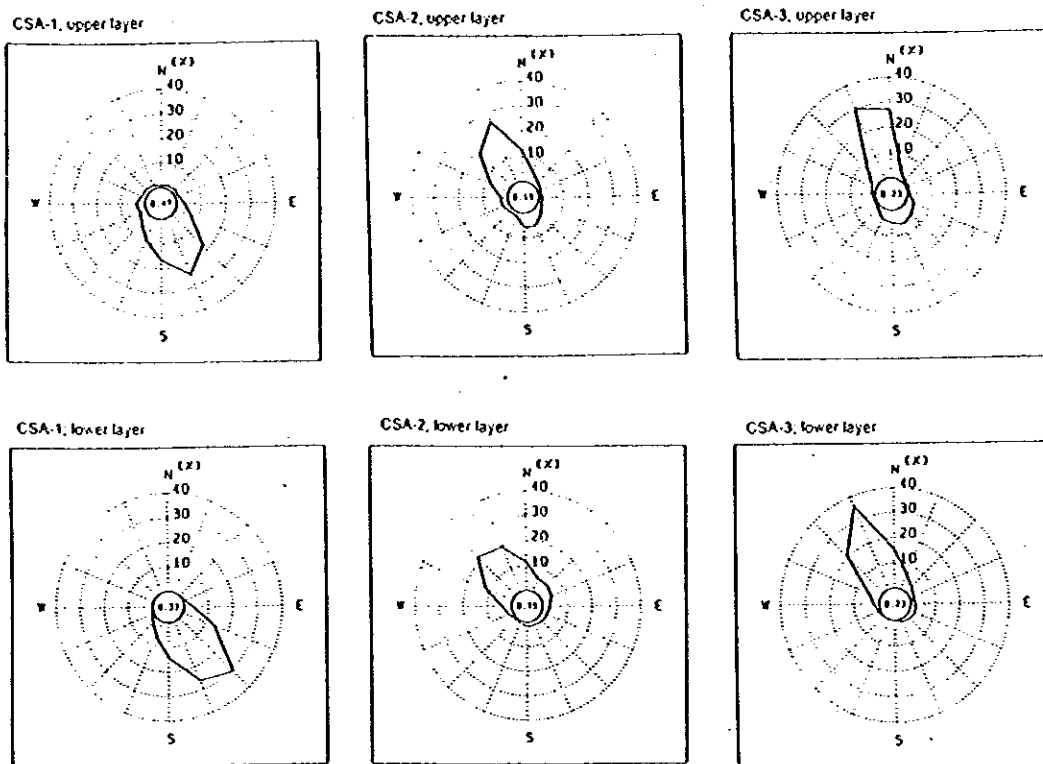


Figura 4.3 Diagrama de Dirección de Corrientes en la Zona Costera

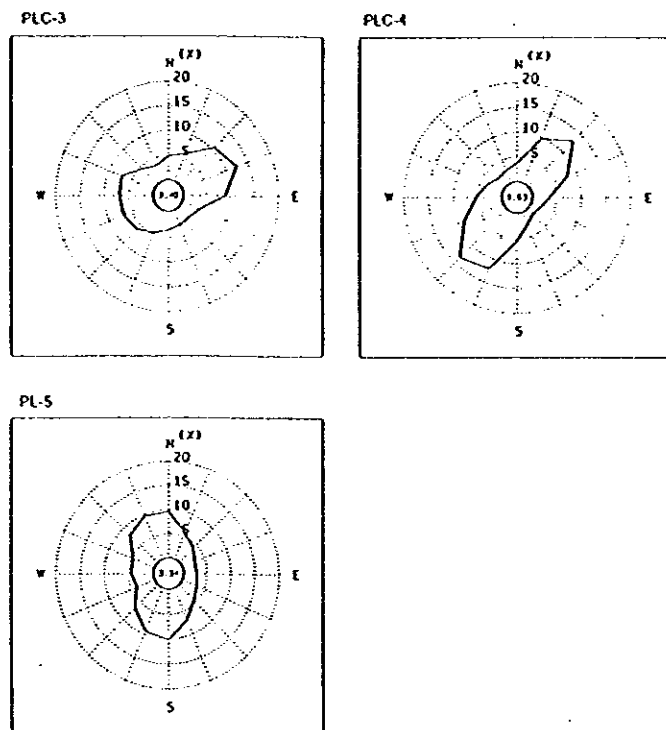


Figura 4.4 Diagrama de Dirección de Corrientes en la laguna de Pueblo Viejo

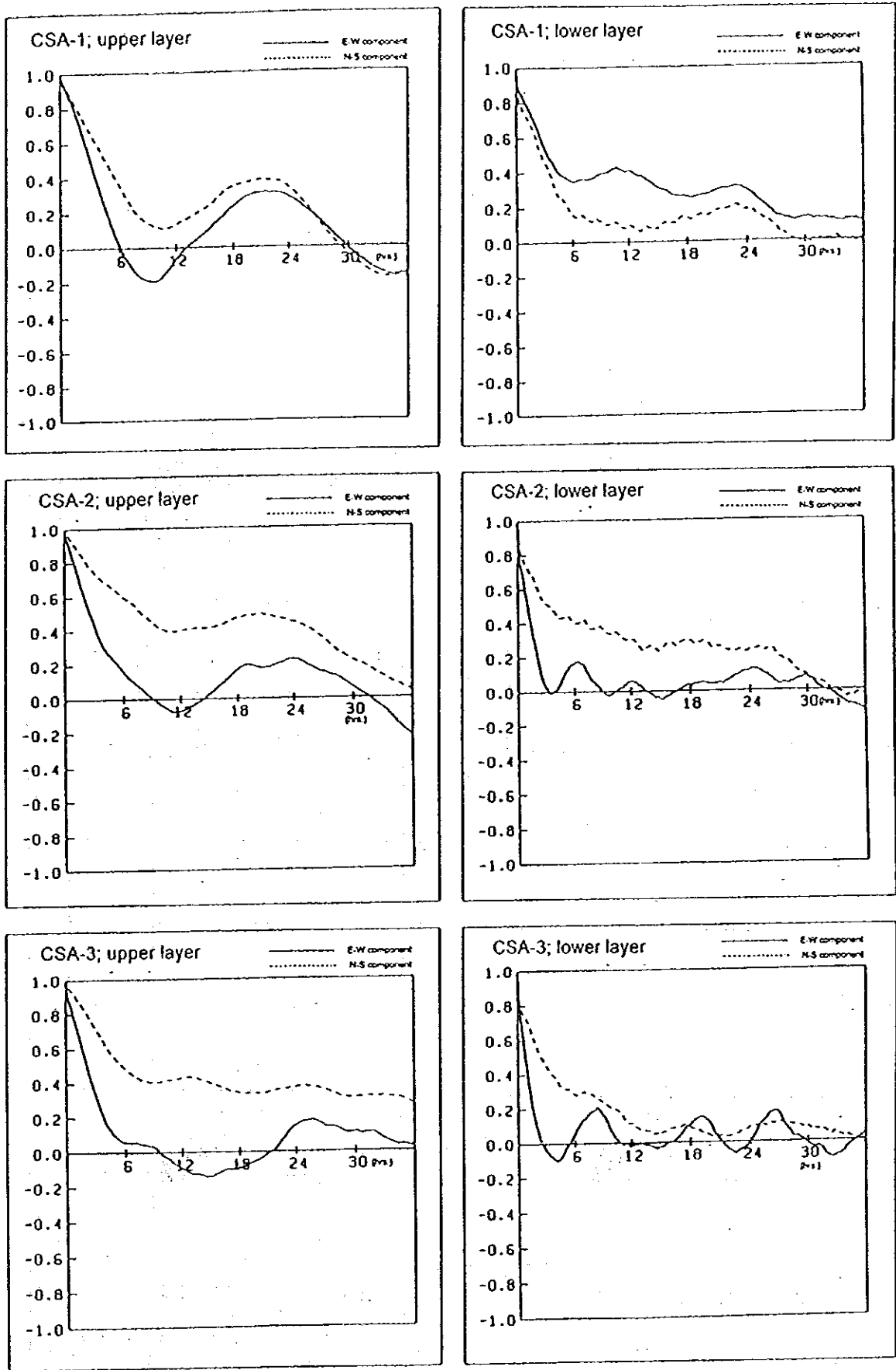


Figura 4.5 Coeficiente de Autocorrelación en las corrientes del agua de la Zona Costera

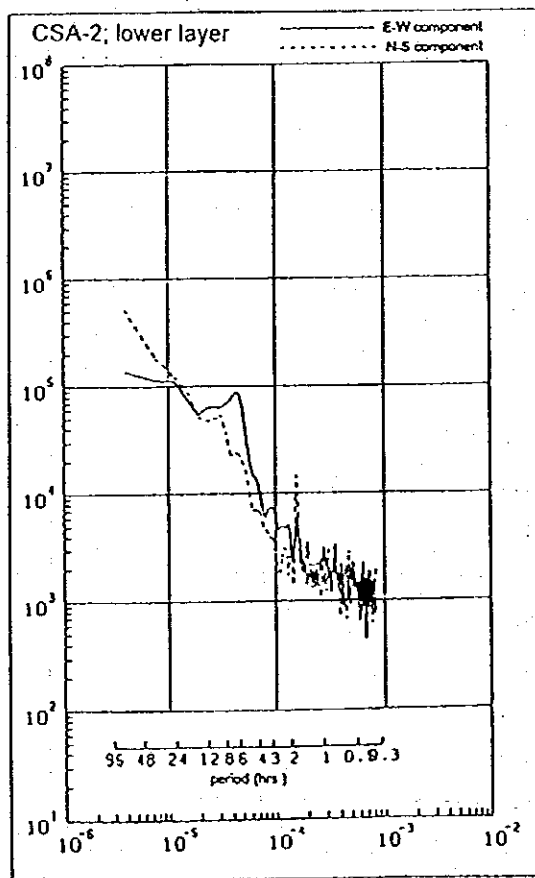
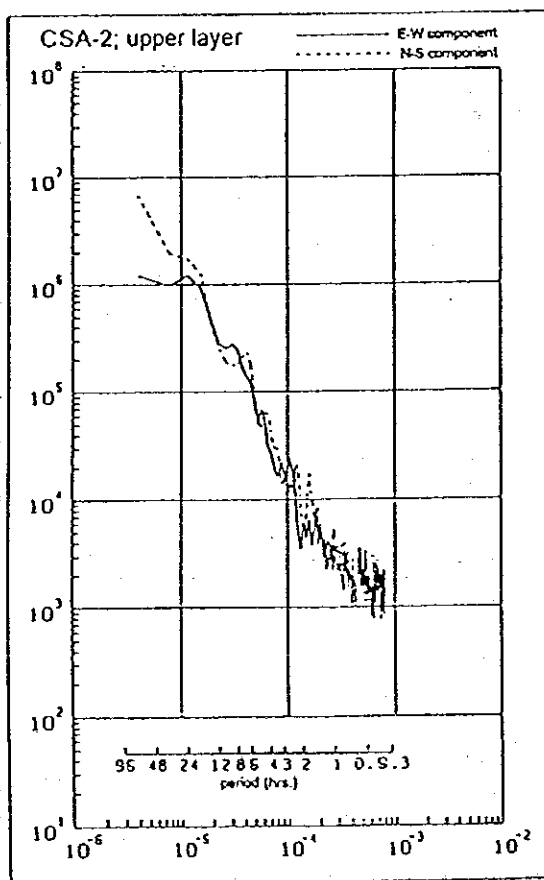
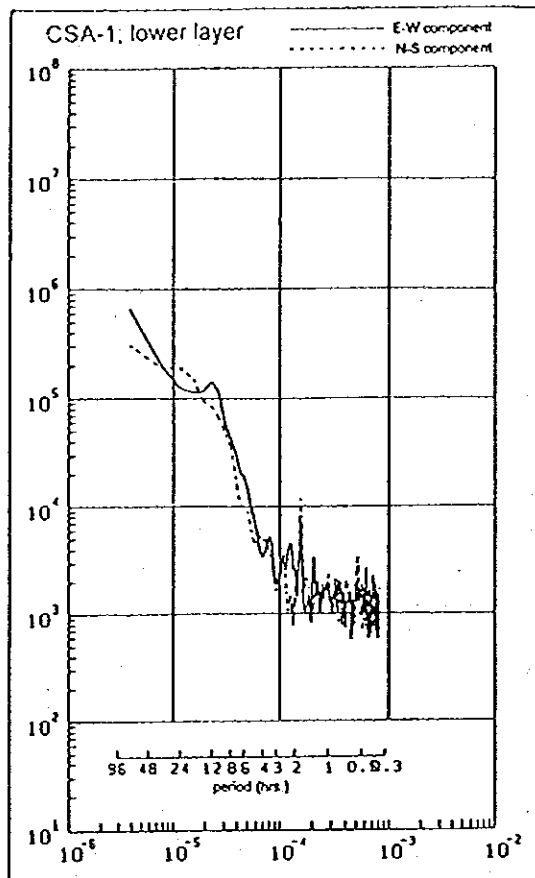
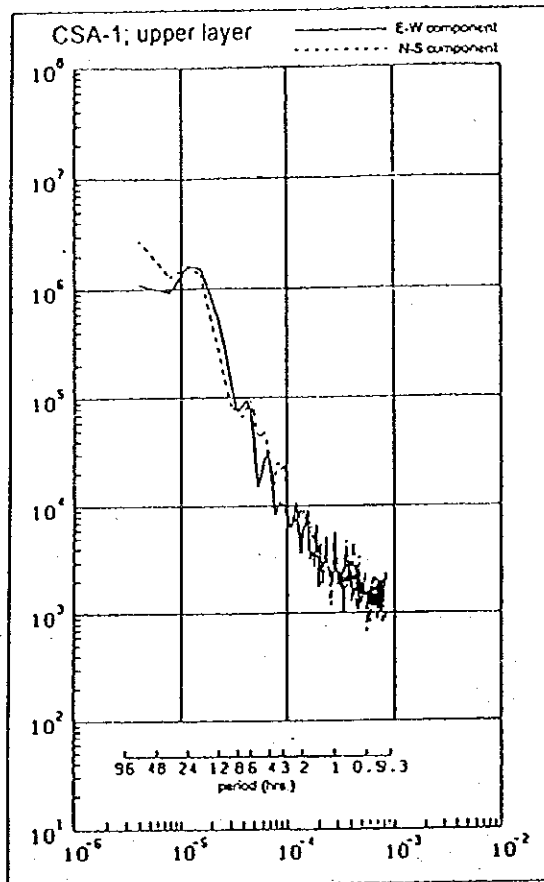


Figura 4.6(1) Espectro de Fuerza de las corrientes del agua de la Zona Costera

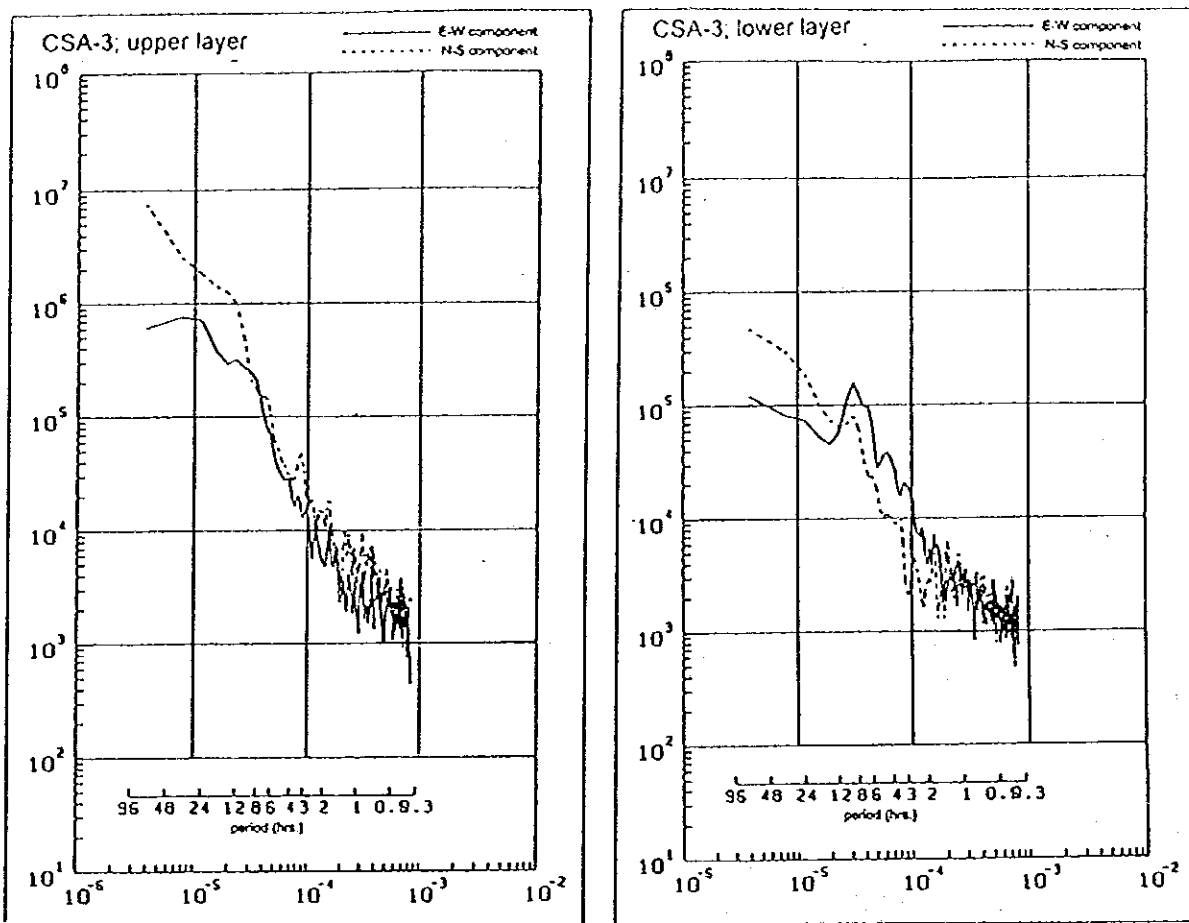


Figura 4.6(2) Espectro de Fuerza en las Corrientes del Agua en la Zona Costera

Como referencia el estudio de corrientes se llevó a cabo en intervalos de 10 minutos, de manera que la velocidad media en 25 horas se calculó mediante la ecuación (4.1).

$$u_{25}(n) = \frac{1}{151} \sum_{m=n-75}^{m=n+75} u(m) \quad (4.1)$$

Donde $u_{25}(n)$ es la velocidad media en un periodo de 25 horas, n y m son números secuenciales de los datos crudos.

Los coeficientes de difusión se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Coeficientes de Difusión para la simulación de la Calidad del Agua en la Laguna de Pueblo Viejo

Sitio	Nivel de observación*	Componente Este - oeste	Norte - sur componente
PLC-3	-1.0m	$2.05 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$	$5.84 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$
PLC-4	-1.0m	$9.55 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$	$7.37 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$
PL-5	-1.0m	$5.64 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$	$2.17 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$

* La profundidad del agua arriba del fondo

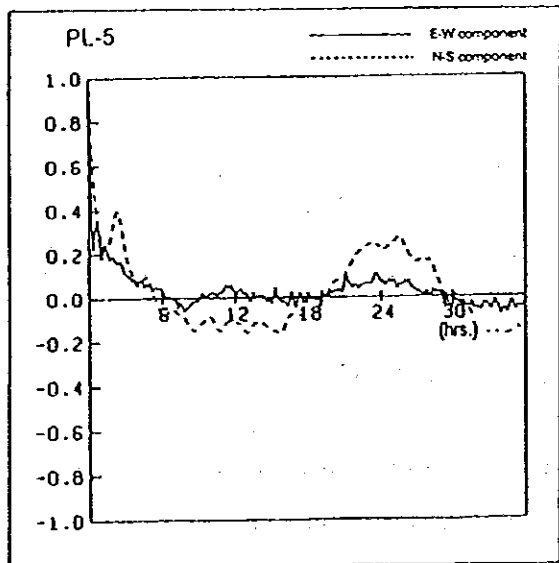
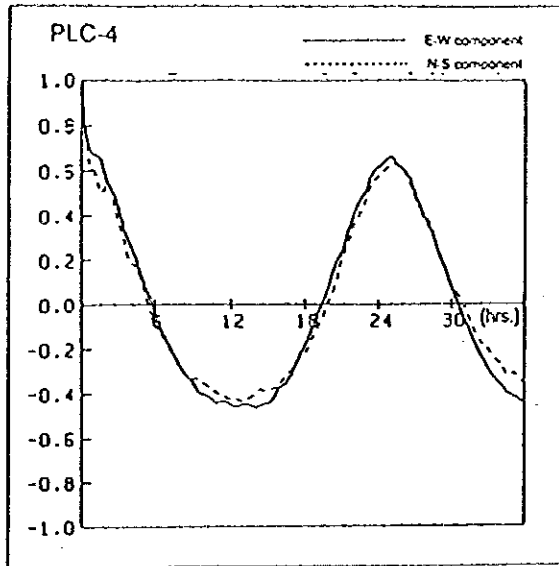
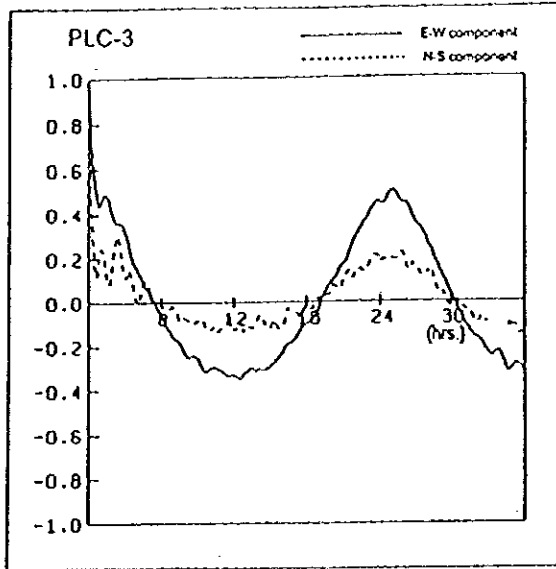


Figura 4.7 Coeficiente de Autocorrelación de las corrientes del agua en la Laguna de Pueblo Viejo.

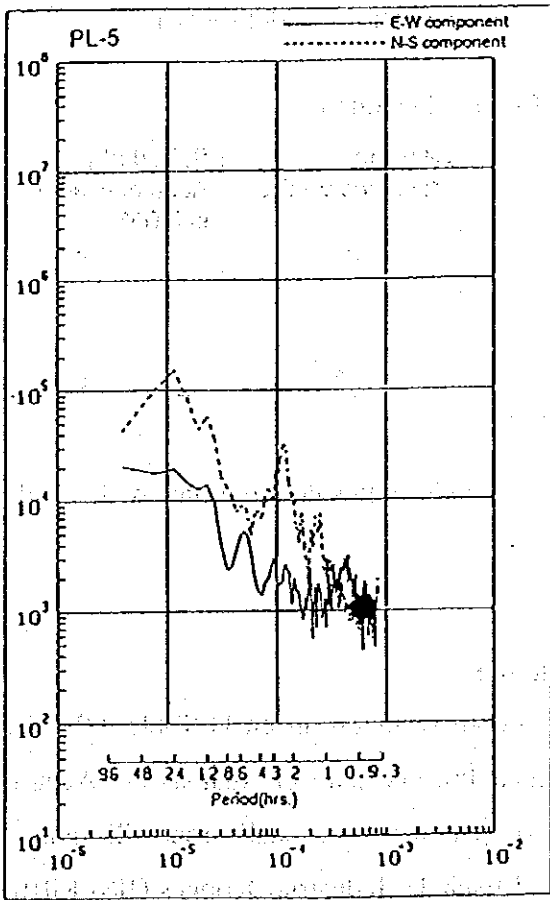
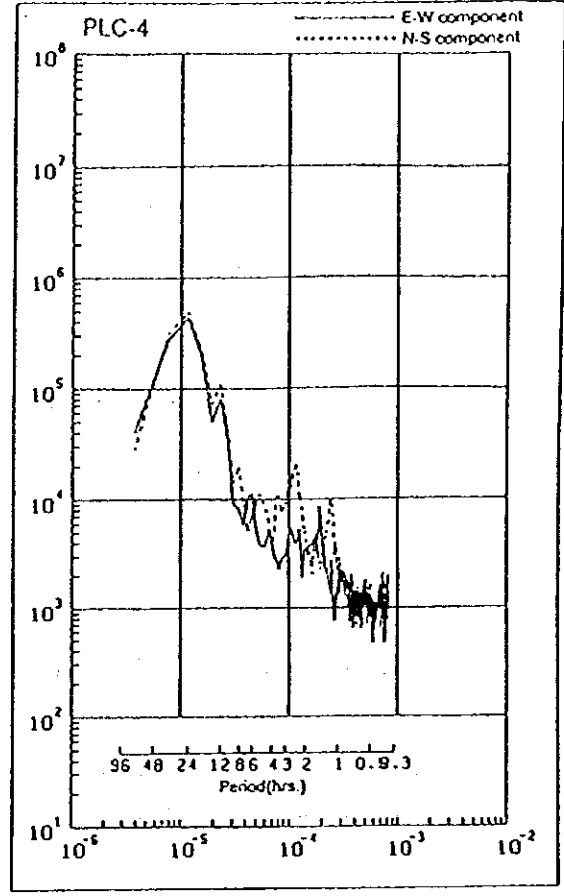
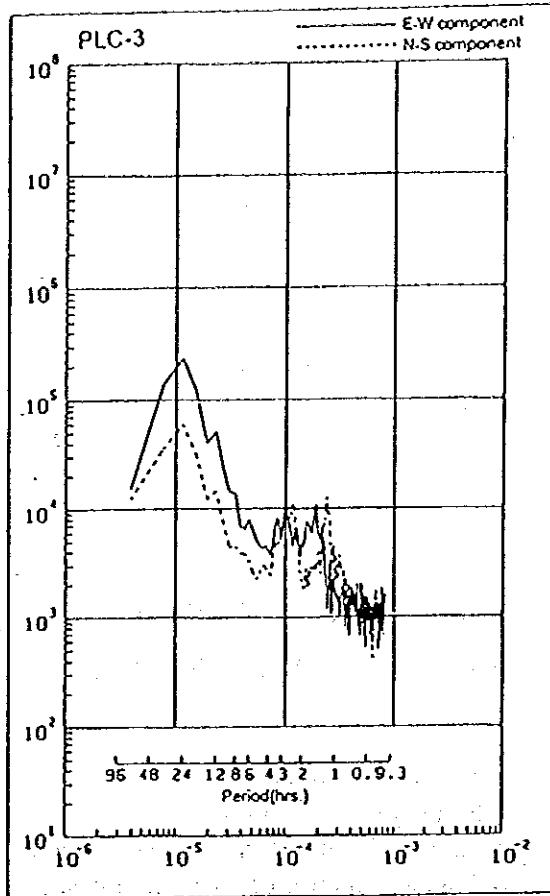


Figura 4.8 Espectro de Fuerza en la Laguna de Pueblo Viejo