

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

ALTERNATIVAS DE APERTURA EN LA BOCA DE LA LAGUNA DE CHACAHUA, OAXACA, MÉXICO.

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANÓLOGO



PRESENTA
MIGUEL ANGEL RAMÓN DÍAZ

Ensenada, B. C., Agosto de 1995

Si existe una ciencia que el hombre realmente necesite, èsta es la que yo enseño: còmo ocupar adecuadamente el lugar de la creaciòn que le està asignado al hombre, y còmo aprender de èsta lo que se debe ser para ser un hombre.

IMMANUEL KANT.

RESUMEN

El cierre de la bocabarra en la Laguna de Chacahua constituye un problema regional por la dimensión del área que afecta y por las repercusiones que esto conlleva sobre los diversos sectores involucrados. Para el presente trabajo se efectuó en el año de 1993 una serie de tres campañas de campo, abarcando las estaciones de invierno, primavera y verano; para cada campaña se realizó: un análisis sedimentológico en las playas de la Bahía de Chacahua y San Juan, con el propósito de inferir el transporte litoral neto, paralelo a la costa de la Laguna de Chacahua, así como la variabilidad estacional de dichas playas mediante el uso de secciones transversales; asimismo se determinó el comportamiento general de la propagación de la onda de marea en las Lagunas de Chacahua y Pastoria, por medio del establecimiento de una red de estaciones mareográficas, aunado a una determinación de profundidad promedio en el canal de comunicación entre las dos lagunas antes nombradas.

Los resultados indican que el transporte predominante para las estaciones de invierno y primavera se presenta en sentido Oeste-Este, con presencia de un transporte en sentido Este-Oeste de menor magnitud, el cual se presenta dominante en la estación de verano; con respecto a la onda de marea se concluye que ésta sufre una distorsión a medida que se propaga hacia la Laguna de Chacahua, principalmente por el efecto de la batimetría y sinuosidad del canal.

Por medio del análisis de la información bibliográfica existente de climatología, hidrología, geología, oleaje y corrientes para la zona, y como complemento de lo presentado anteriormente, se propone la construcción de estructuras de protección costera tales como un espigón, el cual se sugiere tenga una extensión que se prolonge como mínimo hasta la línea batimétrica de los 11.6 m, escollera de tablaestaca y la ampliación del espigón existente; así como la aplicación de métodos en bioingeniería, los que incluyen el trasplante de ejemplares de mangle del género *Rhizophora mangle*, con el objeto de controlar la erosión por medio de la estabilización del suelo; las alternativas propuestas constituyen una base firme que ayudará, en una etapa posterior, a precisar por medio de su análisis en modelo hidráulico reducido las características definitivas de la solución.

ALTERNATIVAS DE APERTURA EN LA BOCA DE LA LAGUNA DE CHACAHUA, OAXACA, MÉXICO.

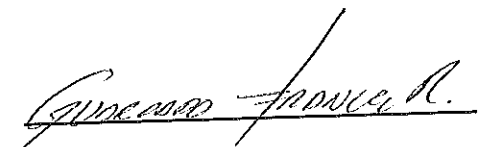
TESIS
que para obtener el Título de
OCEANÓLOGO
Presenta

Miguel Angel Ramón Díaz

Aprobada por:



M.C. Jorge Ledesma Vazquez
PRESIDENTE DEL JURADO



Oc. Rigoberto Guardado France
SINODAL PROPIETARIO



Oc. Rafael García Krasovsky
SINODAL PROPIETARIO

AGRADECIMIENTOS

Mi trabajo sobre la materia habría sido imposible sin los recursos y el apoyo de los miembros del área del departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Marinas dependiente de la Universidad Autónoma de Baja California, así como al proyecto U.A.B.C "LINEAS DE COSTA ROCOSAS EN BAJA CALIFORNIA". Vaya mi agradecimiento al personal de todas las bibliotecas.

Gracias a la generosa hospitalidad y apoyo otorgado por medio de beca, bajo acuerdo de la Secretaría de Desarrollo Social, de mis amigos Biólogo David Ortega del Valle y Antropóloga Emma Beltrán Casanova, los que me capacitaron para ir a consultar y establecer inapreciables relaciones personales con la comunidad de pescadores del "Pueblo Unido de Chacahua", en especial con el Agente Municipal Sr. Cristóbal Domínguez y Familia y con el Presidente de la Cooperativa de Pescadores Sr. Pablo Silva. Así como al Antropólogo Alberto González Pintos por invitarnos a participar en este trabajo.

He tenido el privilegio de conocer y recibir el amor y el apoyo de mucha gente, quizá sin merecerlo. Por lo mismo son muchas las personas a quienes tendría algo que agradecer. Si tuviera que enumerar a todas aquellas que de una u otra manera han contribuido o participado en las vivencias que han permitido la realización de la presente, probablemente no alcanzarían las páginas del trabajo para incluirlas a todas.

Quiero sin embargo hacer público mi agradecimiento para algunos de los seres que colaboraron directamente a esta faceta de mi esfuerzo:

A mis amigos y profesores de la Facultad de Ciencias Marinas, por su amistad y valiosa contribución en mi formación profesional.

A mi Director de tesis M.C. Jorge Ledesma Vazquez y mis sinodales Ocean. Rigoberto Guardado France y Ocean. Rafael García Krasovsky, por sus consejos y comentarios para mejorar la versión final de este trabajo.

También estoy en deuda con el Océano, las Montañas, el Viento, los seres que pueblan la tierra y las Rocas sueltas que cubren el camino, los cuales me permitieron conocer la armonía a través de la comunicación, más allá de las palabras y los desacuerdos humanos.

M.A.R.D.

DEDICATORIA

A la Tierra, al agua, al viento, al fuego...

A la mujer que además de darme el ser, me enseñó a contemplar las grandezas de la creación en el sueño de la vida.

A mi hermana la Dr. Tanya, por haber tenido el privilegio de conocerla.

Alda, por hacer que los sueños se vuelvan realidad.

A mi padre, por su intransigencia de toda una vida contra todo lo mediano.

A mis tíos y primos, por todo el apoyo.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	VIII
-----------------	------

LISTA DE FIGURAS	X
------------------	---



1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. METAS	4
4. METODOLOGÍA	5
5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
6.1 Rasgos de la Región	
6.1.1 Climatología	12
6.1.2 Temperatura	15
6.1.3 Precipitación	16
6.1.4 Evaporación	18
6.1.5 Vientos	22
6.2 Hidrología de la Región	
6.2.1 Hidrología	30

6.3	Marco Geològic	
6.3.1	Geologia	38
6.3.2	Suelos	42
6.3.3	Geomorfologia	43
6.4	Estrategias	
6.4.1	Oleaje	46
6.4.2	Mareas	55
6.4.3	Corrientes	61
6.4.4	Transporte de Sedimento	63
7.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	
7.1	Construcción de estructuras de protección costera	80
7.2	Aplicación de métodos en bioingeniería	86
8.	CONCLUSIONES	89
9.	REFERENCIAS	91
	APENDICE	98

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla I. Datos de temperatura, precipitación y evaporación para las cuatro estaciones meteorológicas adyacentes a la zona de estudio.	20
Tabla II. Matriz de datos hidrográficos para el sistema lagunar Chacahua-Pastoria.	21
Tabla III. Registro de los ciclones que tocaron costa oaxaqueña entre los años de 1958 a 1978.	27
Tabla IV. Principales características geológicas del Complejo Xolapa del Sur de México.	41
Tabla V. Resumen de alturas y períodos significantes para el régimen anual en todas las direcciones. Sin considerar las calmas.	52
Tabla VI. Resumen de tendencias estacionales de alturas y períodos significantes para las direcciones preferenciales. Sin considerar las calmas.	53
Tabla VII. Variación del nivel del mar por influencia astronómica en tres estaciones de las costas de Guerrero y Oaxaca.	57
Tabla VIII a. Cuadro comparativo del gasto sólido en las secciones transversales seleccionadas para los meses estudiados.	66
Tabla VIII b. Resumen del gasto sólido y tendencias direccionales de transporte para los meses muestreados.	66
Tabla IX. Cuadro comparativo de los tamaños de sedimento para las zonas estudiadas.	69

Tabla X. Cuadro comparativo de los promedios del tamaño de sedimento para las zonas estudiadas.

82

LISTA DE FIGURAS

	PÀGINA
Figura 1. Localizaci3n del àrea de estudio.	10
Figura 2. Localizaci3n de las estaciones meteorol3gicas dentro de la zona de influencia del estudio.	13
Figura 3. Gràficas de temperaturas anuales promedio A) y de precipitaciones anuales promedio B).	17
Figura 4. Trayectorias de huracanes A) y B) correspondientes a la regi3n matriz 1 (Golfo de Tehuantepec).	28
Figura 5. Regi3n hidrol3gica N° 21 "Costa de Oaxaca" e hidrologia general de la subcuenca Rìo San Francisco A).	31
Figura 6. Gastos màximos A) y minimos B) correspondientes al Rìo Verde durante un periodo de 10 aïos.	36
Figura 7. Columna estratigràfica de la Sierra Madre del Sur (Guerrero y Oaxaca). Modificada de L3pez-Ramos (1983).	39
Figura 8. Rasgos geomorfol3gicos de la llanura aluvial y sistema lagunario Chacahua-Pastoria.	44

Figura 9.	Representaci3n gràfica de las observaciones anuales del oleaje incidente en la costa de Oaxaca correspondientes a la zona 22 (Ocean Wave Statistics).	47
Figura 10.	Representaci3n gràfica de las observaciones estacionales del oleaje incidente en la costa de Oaxaca durante el periodo Diciembre-Febrero (Invierno) zona 22 (Ocean Wave Statistics).	48
Figura 11.	Representaci3n gràfica de las observaciones estacionales del oleaje incidente en la costa de Oaxaca durante el periodo Marzo-Mayo (Primavera) zona 22 (Ocean Wave Statistics).	49
Figura 12.	Representaci3n gràfica de las observaciones estacionales del oleaje incidente en la costa de Oaxaca durante el periodo Junio-Agosto (Verano) zona 22 (Ocean Wave Statistics).	50
Figura 13.	Representaci3n gràfica de las observaciones estacionales del oleaje incidente en la costa de Oaxaca durante el periodo Septiembre-Noviembre (Otoño) zona 22 (Ocean Wave Statistics).	51
Figura 14.	Localizaci3n de las estaciones mareogràficas	58

Figura 15.	Gráficas de amplitud de marea para las estaciones mareográficas en A) Laguna Pastoria y B) Laguna Chacahua.	59
Figura 16.	Gráfica comparativa de los cambios presentes en la línea de costa de la Bahía de Chacahua en base a la cota cero de los perfiles 3-9 para los meses de enero, abril y julio.	68
Figura 17.	Gráficas de media y dispersión Vs. distancia, para las muestras localizadas en : A) Cara de la playa B) Barra de la playa correspondientes al mes de enero.	70
Figura 18.	Gráficas de media y dispersión Vs. distancia, para las muestras localizadas en : A) Cara de la playa B) Barra de la playa correspondientes al mes de abril.	73
Figura 19.	Gráficas de media y dispersión Vs. distancia, para las muestras localizadas en : A) Cara de la playa B) Barra de la playa correspondientes al mes de julio.	74
Figura 20.	Resumen del transporte litoral inferido de los parámetros estadísticos para los meses estudiados, en los perfiles 1-9 correspondiendo C) Cara de la playa B) Barra de la playa .	71

Figura 21.	Resumen del levantamiento topográfico realizado en el mes de abril de 1993 mostrando el área de azolve.	75
Figura 22 .	Gráfica de perfiles topográficos correspondientes al mes de enero indicando el cambio de posición de la berma.	76
Figura 23.	Gráfica de perfiles topográficos correspondientes al mes de abril indicando el cambio de posición de la berma.	77
Figura 24.	Gráfica de perfiles topográficos correspondientes al mes de julio indicando el cambio de posición de la berma.	78
Figura 25.	Obras de protección costera propuestas.	81

INTRODUCCION

Las lagunas costeras, bahías, estuarios y la zona costera se encuentran entre los principales recursos naturales de nuestra nación, así mismo, es importante para la economía nacional y consecuentemente regional, la conservación y el buen manejo de estos recursos.

En la actualidad, en el litoral oaxaqueño se presenta un evidente atraso económico y social, al igual que una importante oferta de recursos y condiciones naturales aprovechables.

Con el propósito de preservar el patrimonio natural de la nación y asegurar el incremento de los recursos genéticos de la flora y fauna silvestres, fue declarado en el Estado de Oaxaca, el Parque Nacional “Lagunas de Chacahua” en el año de 1937, sin embargo, la creación de áreas naturales protegidas de ningún modo asegura su protección.

En el año de 1990 la empresa consultora Ingeniería del Medio Ambiente S.A. sentó las bases para la realización de una obra tendiente a solucionar el problema de azolve “natural”, el cual se presentaba con anterioridad a la ejecución del proyecto. Parte de la obra realizada, antes de la suspensión de la misma, fueron dos espigones de bolsacreto, los que se planeaba fueran para mantener estable el canal de acceso hacia el interior de la Laguna de Chacahua. Estos espigones no alcanzaron de ninguna manera los objetivos para los cuales fueron diseñados, constituyendo uno de los factores determinantes de azolve permanente en la laguna.

Lo anterior agravó de manera significativa las alteraciones ecológicas que ya se presentaban con anterioridad a la ejecución de dicho proyecto, dando origen a una problemática ambiental y sanitaria, que se manifestó sobre la calidad del agua y el potencial biológico-pesquero. Al respecto SEPESCA (1990) menciona que es notoria

OBJETIVOS

Debido a las razones anteriores el presente estudio tiene como objetivo establecer algunos criterios necesarios previos a la apertura de la Laguna de Chacahua, además de sugerir alternativas viables de solución que puedan ayudar a mantener la conexión permanente, propiciando con esto el intercambio de agua entre el mar y dicha laguna, beneficiando principalmente sus aspectos hidrodinámicos y productivos; mejorando la calidad ambiental del entorno natural.

METAS

Por lo anterior, y dada la complejidad de la naturaleza del problema, el presente estudio pretende por una parte, establecer algunos de los criterios necesarios previos a la apertura de la Laguna de Chacahua, tales como:

- El conocimiento general de los rasgos atmosféricos, hidrológicos y geológicos de la región.
- El patrón de corrientes en la zona de estudio, las mareas, el oleaje y el transporte litoral.

Dichas metas permitirán estar en condiciones para reforzar los lineamientos enmarcados dentro de las alternativas de solución.

METODOLOGIA

Los métodos empleados para la realización de este trabajo incluyeron por una parte, una recopilación bibliográfica de diversas fuentes, que en su conjunto conforman el capítulo I de los resultados, correspondiente a los rasgos de la región.

La información concerniente al patrón de las corrientes en la zona de estudio se obtuvo, para la modalidad general, de un estudio geográfico de la región de Salina Cruz, realizado por la Secretaría de Marina; en la modalidad específica, se partió de un estudio realizado por investigadores de la Facultad de Ciencias Marinas, dependiente de la Universidad Autónoma de Baja California.

La información presentada en estas dos modalidades se desglosa de manera formal en el respectivo apartado.

La información de oleaje utilizada en esta investigación se obtuvo de la fuente conocida como Ocean Wave Statistics, editada por el Servicio Meteorológico Británico referido como (OWS). Los datos son observaciones de las alturas y periodos del oleaje efectuadas desde barcos que navegaron en las rutas establecidas en todo el mundo. La información se recabó durante el periodo comprendido entre los años de 1953 a 1961.

De acuerdo a la captación de los datos de (OWS) que realizaron Hogben *et al.* (1967), la información se presenta agrupada en diferentes áreas, correspondiéndole a la zona de estudio el área 22.

En lo que respecta al trabajo de campo, éste abarcó dos aspectos importantes, la determinación del transporte litoral siguiendo la metodología sugerida por Sunamura y Horikawa (1971) y las mareas, los que se desglosan de manera específica en los respectivos apartados.

LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de influencia del estudio corresponde a la llanura aluvial y sistema lagunario "Chacahua - Pastoria". Dicho sistema presenta como coordenadas extremas las siguientes: 15° 57' 30" a 16° 03' 00" de Latitud Norte y 97° 32' 00" a 97° 48' 00" de Longitud Oeste (Figura 1).

La Laguna de Chacahua tiene forma alargada, con una superficie aproximada de 4.4 Km², con una profundidad promedio de 2.5 m, una longitud de 6.65 Km y un ancho promedio de 1.4 Km; se comunica con la Laguna de Pastoria por medio de un canal en zigzag con orientación oeste-este (Canal del Corral), con una longitud aproximada de 3.5 Km y un ancho de 20 m; la profundidad varía de 0.3 m a 3.0 m en la entrada de Pastoria y a lo largo del canal con zonas de 1-3 m; en la salida de dicho canal hacia la Laguna de Chacahua la profundidad fluctúa entre 0.3 m a 1 m. Las márgenes del canal están cubiertas por mangle y en la parte media, se ubica el poblado de El Corral.

Las Lagunas de Chacahua y Pastoria pertenecen al Parque Nacional "Lagunas de Chacahua". Chacahua se encuentra limitada al oeste con el Río Verde, al sur con la Bahía de Chacahua y la Playa de San Juan y con terrenos ejidales al norte y al este (Contreras, 1985). Lankford (1977) la cataloga en los tipos III-A y III-B, correspondiendo la plataforma de barrera interna al tipo III, la cual se caracteriza por presentar depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internas y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del mar actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación paralelos a la costa. Batimétricamente son típicamente muy someras, con excepción en los canales

erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena.

A continuación se muestra la definición propuesta por Lankford (1977) para el tipo III A y B respectivamente.

- A** *Barrera de Gilbert Beaumont.* Barreras arenosas externas, ocasionalmente múltiples; escurrimientos ausentes o muy localizados; forma y batimetría modificadas por la acción de las mareas, oleaje de tormenta, transporte de arena por viento y presencia de corrientes locales que tienden a segmentar las lagunas; energía relativamente baja, excepto en los canales y durante condiciones de tormenta; salinidad variable, según las condiciones climáticas.
- B** *Lagunas Cuspadas.* Barreras arenosas de orientación triangular, con ejes orientados hacia afuera de la playa con relación a la difracción del oleaje (islas, arrecifes, bancos) o promontorios rocosos; escurrimientos ausentes o muy localizados; forma y batimetría modificadas como el caso anterior (III-A); energía típicamente baja, excepto en los canales de marea y durante condiciones de tormenta; salinidad variable que depende de las condiciones climáticas.

Carranza-Edwards *et al.* (1975) la ubica en la unidad VIII, la cual cubre una longitud aproximada de 1,260 Km, desde Puerto Vallarta, Jalisco, hasta Tehuantepec, Oaxaca. Se encuentra en la planicie costera suroccidental, dicha unidad limita al norte con la Sierra Madre del Sur, al oeste con la Cordillera Neovolcánica y al este con el Portillo Istmico. Las provincias fisiográficas con que se asocia son: zona montañosa de la costa del suroeste, cuenca del Balsas y zona montañosa de Guerrero - Oaxaca.

Frente a esta unidad se tiene una plataforma continental muy angosta, que se ensancha ligeramente en las cercanías del delta del Río Balsas y del Batolito de Oaxaca. La línea de costa es paralela a la Fosa México Mesoamericana.

En lo general aparecen costas rocosas, abruptas, a excepción de algunas áreas donde, por influencia de corrientes fluviales, existe una incipiente planicie costera.

De acuerdo con la caracterización geomorfológica y genética de Shepard (1973), predominan las costas primarias, formadas por movimientos diastróficos, con fallas, costas de escarpes de falla. No obstante (Contreras, 1985), menciona que se dan en menor escala costas secundarias, erosión por olas, promontorios y costas de terrazas elevadas cortadas por oleaje y costas secundarias por depositación marina, playas y ganchos de barrera.

Las rocas más abundantes en la parte continental son metamórficas e ígneas, con edades Paleozoicas y posiblemente Precámbricas (Contreras, 1985).

La playa arenosa tiene una extensión de 15 Km y constituye una de las más importantes playas tortugueras del estado, en donde se realiza la llegada de tortugas de los géneros Lepidochelys y Dermochelys.

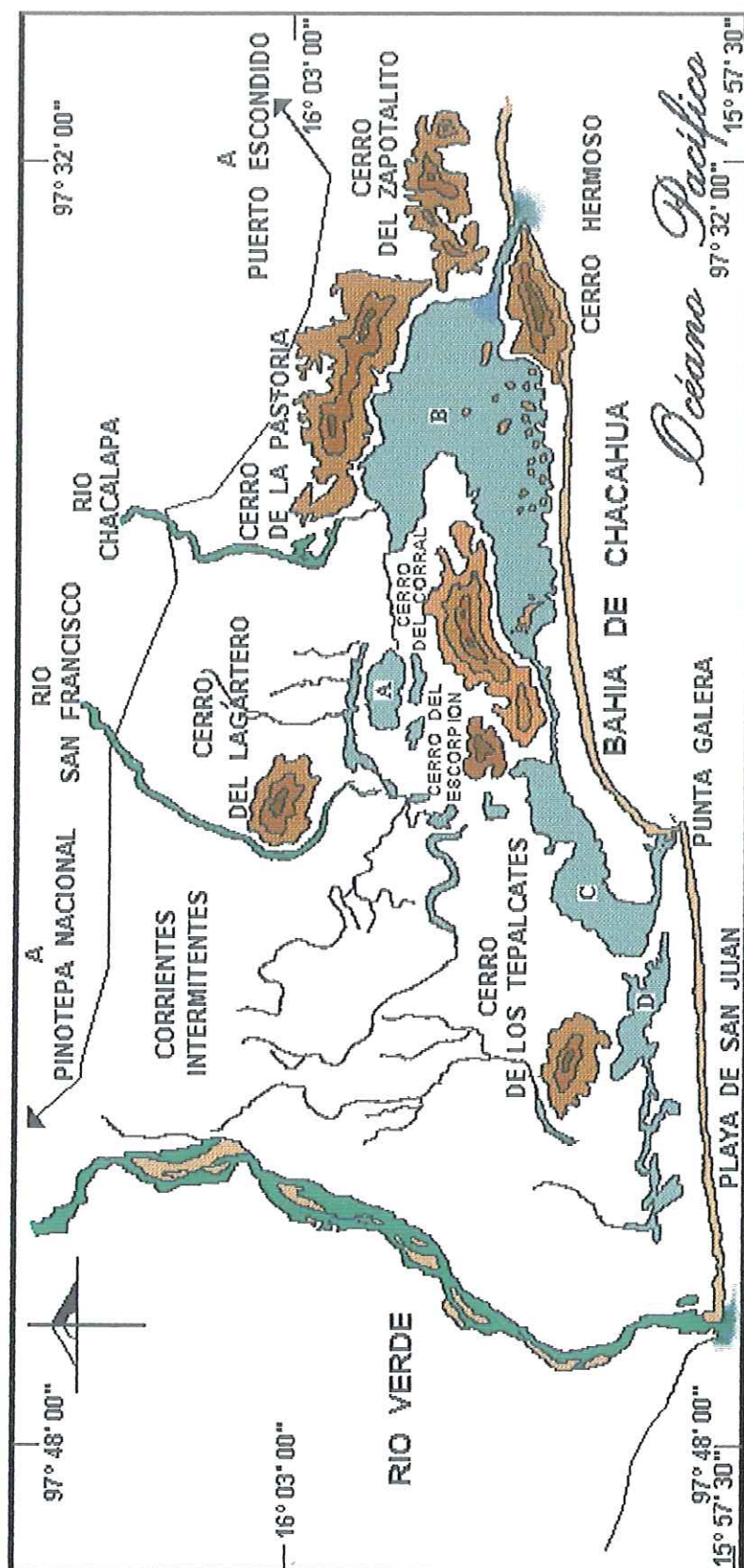


FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

- A) LAGUNA DE PALMARITO.
- B) LAGUNA DE LA PASTORIA.
- C) LAGUNA DE CHACAHUA.
- D) LAGUNA DE TIANGUIS.



RESULTADOS

Y

DISCUSIONES

RASGOS DE LA REGIÓN

6.1

CLIMATOLOGIA

De acuerdo con las modificaciones de García (1970) al sistema de clasificación climática de Köppen, los tipos de clima predominantes para la zona de estudio, son el $Aw''o(w)ig$ y el $Aw2(w)i$, que corresponden a:

AW climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano; y dependiendo del grado de humedad están el Aw_o , Aw_1 y el Aw_2 , que corresponden al de menor humedad, el intermedio y el más húmedo de los cálidos subhúmedos.

w'' indica la presencia de canícula en los climas con régimen de lluvias de verano. Se le llama canícula, sequía de medio verano o sequía intraestival a una pequeña temporada menos húmeda que se presenta en la mitad caliente y lluviosa del año; se manifiesta como una merma en las cantidades de lluvia de los meses veraniegos.

(w) régimen de lluvia invernal de 5% de la anual

i isotermal, con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales menor de 5 °C.

g este símbolo se refiere a la marcha anual de la temperatura; señala a los lugares que presentan el mes más caliente antes del solsticio de verano; o sea, antes del mes de junio en el hemisferio norte o de diciembre en el sur. Significa una marcha de la temperatura tipo Ganges.

Dada la carencia de estaciones meteorológicas dentro de la zona de influencia del estudio, el tipo de clima predominante se determinó tomando como base los datos de **P** (precipitación) y **T** (temperatura), obtenidos de las siguientes estaciones meteorológicas (Figura 2):

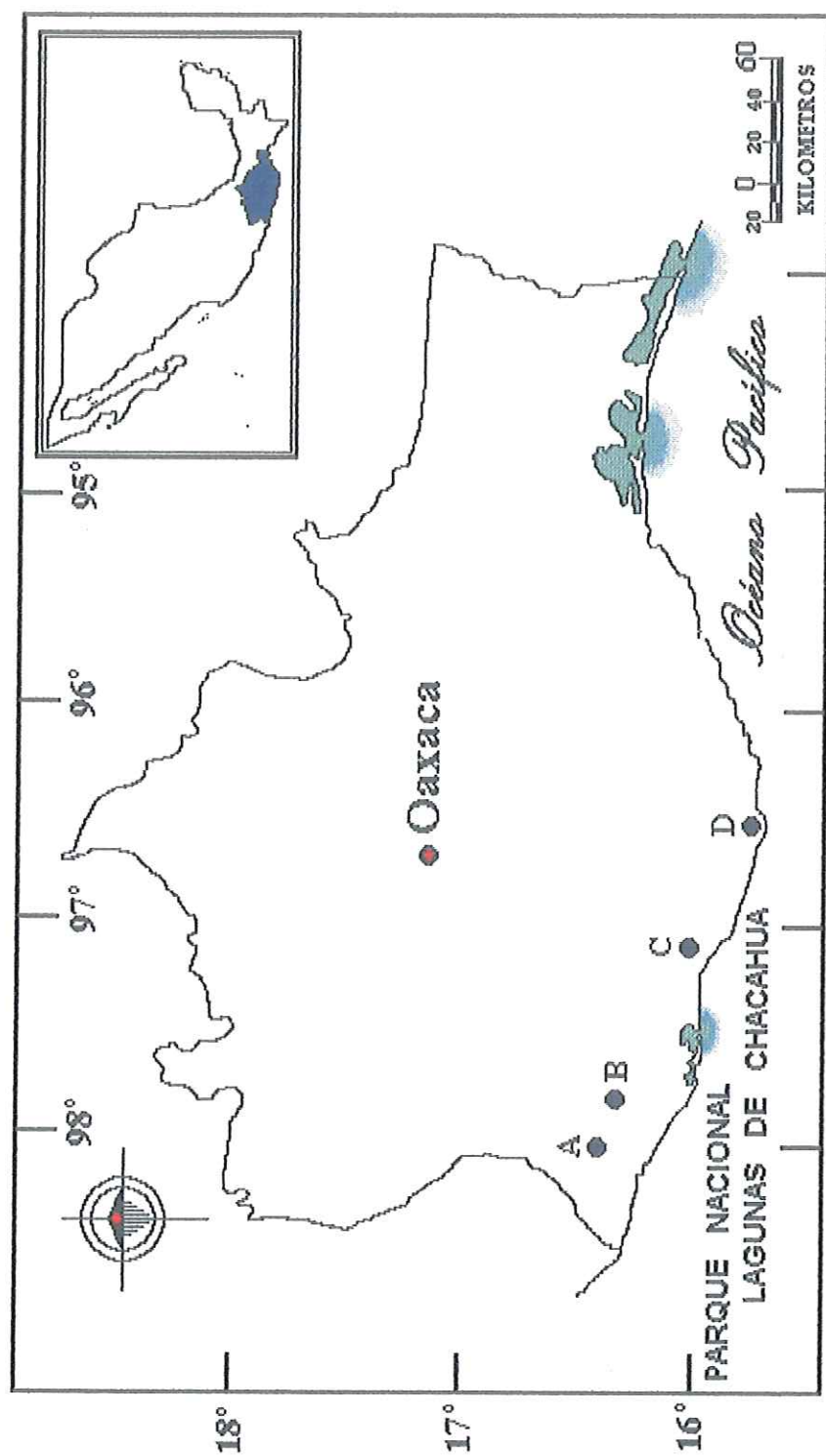


FIGURA 2. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DENTRO DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO.

“Pinotepa Nacional” en el Municipio de Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, a una altitud de 190 m, un registro de **P** de 15 años y **T** de 16 años respectivamente, con una ubicación de 16° 21' de Latitud Norte y 98° 03' de Longitud Oeste, con un clima de tipo Aw 2 (w)i.

“Paso de la Reyna” en el Municipio de Santiago Jamiltepec, Oaxaca, a una altitud de 240 m, un registro de **P** y **T** de 5 años, con una ubicación de 16° 17' de Latitud Norte y 97° 50' de Longitud Oeste.

“San Pedro Mixtepec” en el Municipio de San Pedro Mixtepec, Oaxaca, a una altitud de 1,200 m, un registro de **P** y **T** de 5 años, con una ubicación de 15° 58' de Latitud Norte y 97° 05' de Longitud Oeste.

“Puerto Angel” en el Distrito de Pochutla, Oaxaca, a una altitud de 43 m, un registro de **P** y **T** de 30 años, con una ubicación de 15° 40' de Latitud Norte y 96° 30' de Longitud Oeste, con un clima de tipo Aw”o(w)ig.

Estas estaciones meteorológicas, a excepción de la estación **“Puerto Angel”**, son las más cercanas a la zona de estudio, pero se ubican tierra adentro, donde las condiciones ambientales difieren en algunos parámetros de las existentes en la zona costera. Sin embargo, se consideran una referencia confiable del comportamiento climático de la región.

TEMPERATURA

Para las estaciones meteorològicas anteriormente citadas, la temperatura media anual promedio oscila entre valores de 21. 4 °C y 28. 2 °C, correspondientes a las estaciones “**San Pedro Mixtepec**” y “**Puerto Angel** “ respectivamente; en lo concerniente a las temperaturas bajas o mínimas promedio, se observa un amplio intervalo de fluctuaciòn, el cual se presenta al oeste de la zona de estudio, registràndose valores de 19.4 °C y 27.4 °C, los cuales corresponden a las estaciones “ **San Pedro Mixtepec** ” y “**Puerto Angel** “ respectivamente (Figura 2), estas temperaturas bajas se presentan en los meses de diciembre a febrero, marcando la estaciòn de invierno (diciembre-marzo).

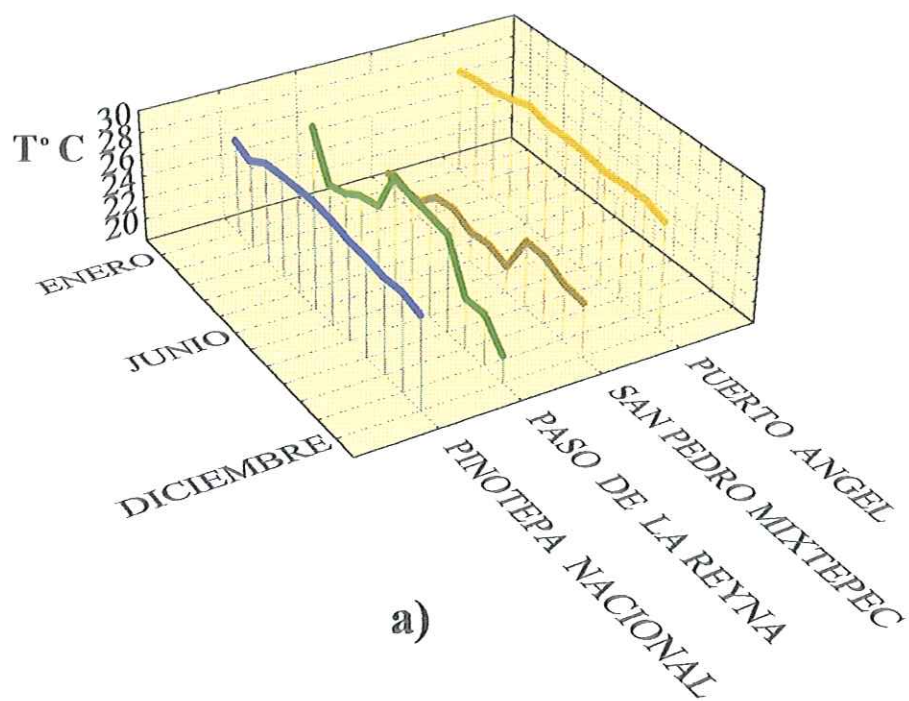
En el verano (junio-septiembre) la temperatura media mensual para las cuatro estaciones meteorològicas oscila entre 20. 3 °C y 28. 6 °C (Tabla I) y (Figura 3a).

PRECIPITACION

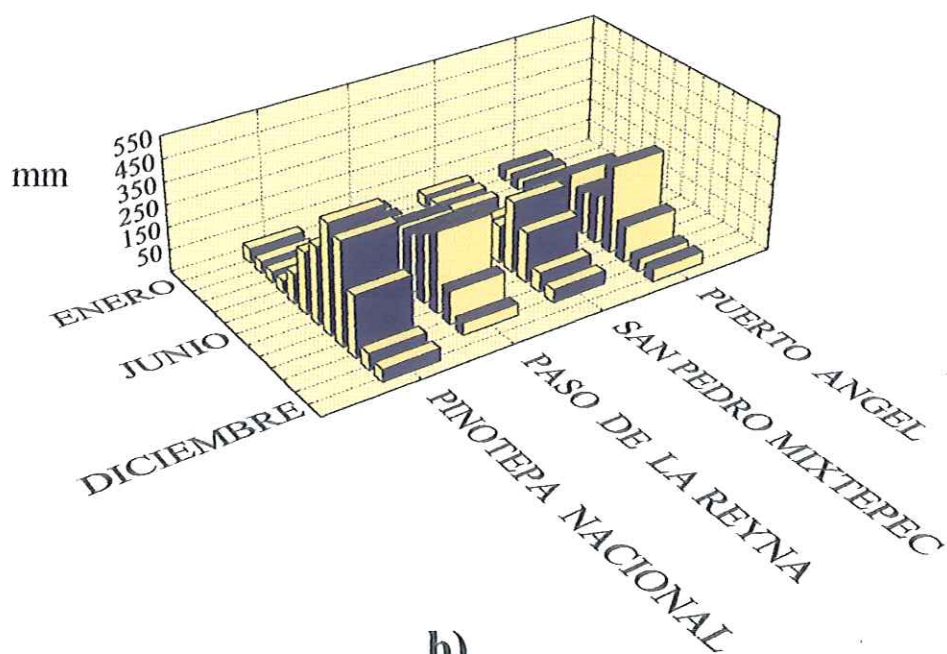
Los balances de precipitación para el litoral de Oaxaca son del orden de 976 mm /año en promedio, aunque pueden alcanzar rangos más elevados (PESCA, 1990). Sin embargo, esta precipitación no es homogénea para toda la zona litoral, ya que se observa una disminución de la precipitación al oriente de la zona de estudio, posiblemente debida a la incidencia de los vientos del norte, los cuales dejan sentir su influencia principalmente en la zona del Golfo de Tehuantepec, como se puede apreciar en la estación **“Santiago Astata”** (Lat. 15° 58' N y Long. 95° 40' W a una altitud de 200 m), la cual en un periodo de 14 años presenta un registro de precipitación promedio de 855.4 mm/año; otro de los factores importantes que se debe tomar en cuenta, dada la influencia que ejerce en la disminución de la precipitación, es la topografía.

En promedio, los valores más elevados de precipitación se presentan hacia la región oeste a partir de la zona de estudio, alcanzando valores de 1, 699.70 mm/año y 1,175. 80 mm/año para las estaciones **“Pinotepa Nacional”** y **“Paso de la Reyna”** respectivamente (Figura 2).

En base a las cuatro estaciones climatológicas, anteriormente citadas, se puede concluir que la región recibe entre 736.60 mm/año y 1, 699.70 mm/año de lluvia, que se distribuyen irregularmente a lo largo del año. La temporada de lluvias inicia en el mes de mayo y concluye en el mes de septiembre, en este periodo se precipitan entre 676. 10 mm y 1, 430.10 mm, que representan entre 84.13 % y 91.78 % de la precipitación anual; los meses más lluviosos son agosto y septiembre con volúmenes entre 263.10 mm y 434. 30 mm (Tabla I) y (Figura 3b).



a)



b)

FIGURA. 3 GRÁFICAS DE TEMPERATURAS ANUALES PROMEDIO A) Y DE PRECIPITACIONES ANUALES PROMEDIO B).

EVAPORACION

De acuerdo al tipo de clima -W- de la zona, la evaporación es muy elevada.

La mayor evaporación se registra en las zonas no arboladas de Jamiltepec y Tehuantepec y de manera general donde se presenta escasa vegetación, como el caso de las regiones en donde sólo crecen los chaparrales y huizacheras. Esta alta evaporación, la cual sobrepasa los 2, 000 mm anuales (PESCA, 1990), regionalmente se ve favorecida por los vientos y las temperaturas elevadas (Tabla II); en algunas zonas, como la Laguna de Chacahua, estos valores de evaporación pueden verse drásticamente incrementados por el cierre de bocabarras, lo que trae como consecuencia la generación de enormes platos evaporizantes, desencadenando alteraciones en el equilibrio microclimático, ecológico e hidrodinámico.

Para tener una idea aproximada de los valores de evaporación en la zona de estudio, bajo condiciones ambientales "normales", se obtuvieron datos de peso del vapor de agua saturado contenido en un metro cúbico de aire, en base a lo propuesto por Labeyrie (1986), en función de las temperaturas mensuales promedio y bajo presión normal (1 atm) (Tabla I).

En base a lo anterior y de forma general se puede concluir que los mayores índices de evaporación ocurren durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, siendo la máxima registrada, en un período de 30 años, la ocurrida durante el mes de mayo, con un registro de temperatura de 29 °C, correspondiéndole una evaporación de 28.8 g m^{-3} .

No obstante, realizando una comparación con base en los datos reportados por PESCA (1990) (Tabla II), donde se menciona el cierre de la bocabarra de Chacahua y utilizando lo propuesto por Labeyrie (1986), se tiene que los índices de evaporación para la Laguna de Chacahua son los siguientes: 31.25 g m^{-3} , 32.95 g m^{-3} y 33.8 g m^{-3} para las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente; de igual manera se tiene para la Laguna de Pastoria valores de : 28.8 g m^{-3} , 31.25 g m^{-3} y 29.6 g m^{-3} para las estaciones 1, 2 y 3 respectivamente, los cuales son ligeramente menores que los de Chacahua, probablemente por encontrarse su bocabarra abierta.

Tabla I Datos de Temperatura, Precipitación y Evaporación para las cuatro estaciones meteorológicas adyacentes a la zona de estudio.

Estación	Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Annual	Clima	Coef. P / T
Puerto Angel	T 30	27.4	27.8	27.9	28.4	29	28.6	28.6	28.5	28.1	28.3	28.3	27.7	28.2	Aw''o(w)ig	36.84
	P 30	5	1.4	1.7	0.1	79.2	185.4	138.5	162.6	338.1	112.3	9.9	4.7	1038.9		
	E 30	28.1	26.9	27	27.8	28.8	28.1	28.1	28	27.3	27.6	27.6	26.8	27.5		
San Pedro Mixtepec	T 5	19.6	19.4	19.5	21.2	21.5	20.7	21	20.3	24	24	23	22.8	21.4	*	34.4
	P 34	3	6.5	7.4	*	33	95	114.4	263	170.6	35.8	7.8	*	736.6		
	E 5	16.8	16.6	16.7	18.5	18.8	18	18.3	17.6	21.8	21.8	20.6	20.3	18.7		
Paso de la Reyna	T 5	26	21.8	22.3	23.4	23.8	27.9	27.3	27.1	26.7	22.5	22.6	20.4	24.3	*	48.3
	P 64	6.8	11.6	7.3	3.2	70.3	205.2	209.5	253.3	309.1	95.9	3.6	*	1175.8		
	E 5	24.4	19.1	19.7	21	21.5	27.2	25.8	25.9	25.3	20	20.1	17.7	22.1		
Pinotepa Nacional	T 16	26.6	26	27.1	27.3	27.5	27.6	27.4	27	26.9	26.6	26.8	26.3	26.9	Aw2(w)i	63.18
	P 15	15.5	1.9	0.5	4.4	82.3	221.2	289.4	434	402.9	221.8	21.1	4.4	1699.7		
	E 16	25.2	24.4	25.9	26.2	26.5	27.2	25.8	25.8	25.6	25.2	25.5	24.8	25.6		

*

NO REPORTADO

PRIMAVERA

VERANO

OTOÑO

INVIERNO

TRANSICIÓN

Tabla. II. Matriz de datos hidrográficos para el sistema lagunar Chacahua - Pastoria

No. de estaciones	Estaciones	Hora	T. Amb. (°C)	O ₂ s.	O ₂ F.	S°/m S.	S°/m F.	T. s. (°C)	T. F. (°C)	pH s.	pH F.	V.v. (m/s)*	D.v. (Azimut)*	Transp. (cm)	Prof. (m)	
3	Chacahua	1	9:35	30.5	7.30	7.20	14.0	*	31.0	30.50	7.80	*	0.0	210	80.0	1.20
		2	10:26	31.5	7.30	7.10	23.0	26.0	31.8	30.00	8.30	30.0	3.0	210	80.0	1.20
		3	14:32	32.0	7.50	7.40	22.0	22.0	31.8	31.00	8.10	31.0	4.0	240	80.0	1.70
3	Pastoria	1	8:23	29.0	7.00	7.30	23.0	25.0	24.5	31.00	8.30	7.3	2.0	270	220.0	35.00
		2	9:07	30.5	7.20	7.00	20.0	20.0	30.0	29.80	8.00	7.1	0.0	*	120.0	1.70
		3	16:02	29.5	7.50	7.40	20.0	20.0	32.0	31.00	8.20	7.3	2.0	220	100.0	2.50

*

DATO NO REPORTADO

V.v. Velocidad del viento
D.v. Dirección del viento

VIENTOS

A lo largo de las costas del sur de Mèxico, la direccìon de los vientos predominantes es del noroeste, tendiendo a ser paralelos a la línea de costa, presentàndose en el Golfo de Tehuantepec los vientos fuertes del norte en la època de invierno (MARINA, 1974). Tambièn se hace mencìon que para dicha zona en particular, los vientos dominantes son los del noreste, durante los meses frios, aun cuando cerca de la costa los vientos dominantes son del noroeste. Asimismo, durante los meses càlidos, el cinturòn de calmas ecuatoriales se encuentra ubicado màs al norte, causando frecuentes calmas y cambiando los vientos dominantes a una direccìon sur. En contraste, durante el invierno, los anticilones que se mueven hacia el sur sobre el Golfo de Mèxico al otro lado del continente, originan vientos fuertes del norte a lo largo de varias porciones de esta costa sur de la Repùblica Mexicana.

Con el propòsito de caracterizar la zona de estudio en cuanto a informaciòn de vientos se refiere, se presenta a continuaciòn una breve descripciòn de los principales vientos que tienen influencia sobre la zona de estudio.

NORTES

Durante la temporada de invierno, el Golfo de Mèxico, la parte suroeste del Mar Caribe, el Golfo de Tehuantepec en el lado del Pacífico en el sur de Mèxico y las aguas costeras del oeste de Costa Rica, estàn màs o menos sujetas a vientos del norte que ocurren como resultado de la invasiòn hacia el sur del Golfo de Mèxico, de anticiclones fuertes procedentes de las llanuras estadounidenses (MARINA, 1974). Estos vientos que son a veces de una fuerza considerable, son peligrosos para las embarcaciones que se encuentran en altamar o dentro de las

bahías. En el Golfo de México, especialmente, los “Nortes” son vientos de notable gradiente, de carácter anticiclónico, fríos y secos.

Estos meteoros tienen generalmente su mayor fuerza y frecuencia durante el periodo comprendido entre noviembre y febrero, pero las condiciones favorables para su desarrollo pueden ocurrir anticipadamente en el mes de octubre, así como en época posterior como en el mes de abril.

En el suroeste del Caribe, los “Nortes” son notables, aún cuando los cambios de presión que los acompañan sean pequeños. En esta región los “Nortes” son diferentes de los vientos conocidos como “Alicios-Identificados”, de una intensidad de “frescos” a “fuertes”, con rachas oscilando del noroeste al noreste, acompañados de lluvias con menor frecuencia que las anteriores.

En el litoral del Pacífico de México y la América Central, los vientos del norte son una consecuencia del influjo de la alta presión dentro del Golfo de México (MARINA, 1974).

TEHUANTEPECANOS

Los vientos fuertes del norte que ocurren durante los meses fríos del año (invierno) en el Golfo de Tehuantepec, como consecuencia de los vientos del norte en el Golfo de México, anteriormente citados, son conocidos como “Tehuantepecanos”. Es frecuente, y de hecho común, que el viento en Tehuantepec, sea de mayor fuerza que el “Norte” en el Golfo de México, aun cuando éste alimenta a aquel. Algunas veces ocurre con intensidades de ventarrón, cuando los gradientes de presión en el norte son muy ligeros como para causar “Nortes” de alguna consecuencia en el Golfo de México. Su causa es un flujo fuerte de aire anticiclónico a través del Paso de Tehuantepec, que es un istmo

comparativamente bajo y angosto, del cual emerge el viento hacia la pendiente del Pacífico. Luego azota furiosamente hacia el Golfo de Tehuantepec cubriéndolo algunas veces en su totalidad.

Al presentarse el “Tehuantepecano”, puede ser acompañado por un breve periodo de lluvia de ligera a fuerte, procedente de una nube preliminar en forma de arco.

A medida que esta nubosidad avanza, es seguida por un aclaramiento rápido del cielo que sólo se ve interrumpido por nubes pasajeras del tipo de cirrus o alto-cúmulos. En otras ocasiones, el cielo marítimo no está nublado y el arco nuboso de referencia, si lo hay, no es acompañado de lluvia (MARINA, 1974).

Con el propósito de caracterizar, de una manera general, a la zona de estudio en cuanto a información de vientos se refiere, se obtuvieron datos correspondientes a velocidad y dirección del viento, para las Lagunas de Chacahua y Pastoria (Tabla II), así como de la estación **“Paso de la Reyna”**.

De lo anterior se puede concluir que los vientos, para la zona de estudio, proceden de la dirección suroeste, alcanzando velocidades de 4.0 m s^{-1} .

De igual manera, para la estación meteorológica **“Paso de la Reyna”**, Oaxaca, se observa que los vientos reinantes y dominantes en forma mensual y anual proceden de la dirección sur, alcanzando intensidades de 14.0 m s^{-1} . En forma muy ocasional el viento dominante se presenta en dirección sureste o suroeste.

Asimismo se observó por el Servicio Meteorológico Nacional (1979), que para un periodo de 16 años (1961 a 1977), las máximas intensidades registradas en la zona fluctuaron entre 8.0 ms^{-1} y 13.8 ms^{-1} ; por el contrario las mínimas intensidades registradas fluctuaron entre 0.6 ms^{-1} y 3.3 ms^{-1} .

En la estación de verano, los vientos suelen ser los de mayor intensidad. En un periodo de 16 años, de 1961 a 1977, se observó una frecuencia de calmas de 4.52 %.

FRECUENCIA DE HURACANES

La costa de Oaxaca queda comprendida dentro de la región matriz de huracanes **1**, correspondiente al Golfo de Tehuantepec, en esta zona se originan los llamados ciclones tropicales o huracanes (Figura 4) (SPP, 1979), dicha región matriz se activa en la última semana del mes de mayo, marcando el inicio de la temporada de lluvias en nuestro país, que es concomitante con la actividad ciclónica, influyendo además sobre el suroeste del Golfo de México con precipitaciones y vientos del norte que alcanzan rachas fuertes y violentas en la porción sur del Estado de Veracruz, caracterizándose porque cubren el periodo diurno, cesando durante la noche para reanudarse al día siguiente y su mayor o menor intensidad, indica si la perturbación progresa o se disipa.

Los meteoros de esta zona matriz (**1**), nacen en la latitud de 15° N aproximadamente y por lo general los primeros (**A**) viajan hacia el oeste, alejándose de costas nacionales, mientras los formados de julio en adelante (**B**), de mayor potencia, por lo regular describen una parábola que por la forma del litoral mexicano del Pacífico, les hace viajar paralelos a la costa y a una distancia variable, para que al tomar la segunda rama de la trayectoria, penetren a tierra al norte de Cabo Corrientes, afectando los estados de Nayarit, Sinaloa, Sonora y extremo sur de la Península de Baja California (figura 4); sin embargo, durante su primera rama dan lluvias torrenciales a las costas de los Estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero,

Michoacàn, Colima y Jalisco, los que resultan colocados en el semicírculo peligroso del huracàn.

Los principales ciclones que tocaron costa oaxaqueña entre los años de 1958 a 1978 son once (Tabla III).

Tabla III. Registro de los ciclones que tocaron costa oaxaqueña entre los años de 1958 a 1978.

Ciclones	fechas de Ocurrencia
*	13 de junio de 1958
V-12	6 de septiembre de 1963
Beulah y Mónica	23 a 30 de septiembre de 1967
Emily	19 de agosto de 1969
Heather	30 de agosto al 1 de septiembre de 1973
Orlene	20 a 23 de septiembre de 1974
Fifi	28 de septiembre de 1974.
DT	28 a 30 junio de 1976
DT	9 a 11 de junio de 1977
V-4	18 a 19 de julio 1978
Olivia	20 a 22 de septiembre de 1978

* No se especifica el nombre



FIGURA 4. TRAYECTORIAS DE HURACANES A) Y B) CORRESPONDIENTES
A LA REGIÓN MATRIZ 1 (GOLFO DE TEHUANTEPEC).



HIDROLOGÍA DE LA

REGIÓN

6.2

HIDROLOGIA

La zona de estudio se ubica en la Región Hidrológica No. 21 (CNA, 1990), llamada "Costa de Oaxaca", localizada entre las coordenadas $97^{\circ} 46'$ y $95^{\circ} 05'$ de Longitud oeste y los $15^{\circ} 39'$ y $16^{\circ} 20'$ de Latitud norte (Figura 5).

La Región Hidrológica "Costa de Oaxaca" colinda al norte y oeste con la Región Hidrológica No. 20 "Costa Chica de Guerrero", y al noroeste con la Región No. 22 "Tehuantepec", al sur se encuentra limitada por el Océano Pacífico. Dicha región hidrológica, abarca una área aproximada de $10,400 \text{ Km}^2$ y (SRH 1976 *en* De la Lanza-Espino *et al.*, 1994) manifiesta que presenta un escurrimiento medio anual que descarga en el Océano Pacífico de $6,739.4 \times 10^6 \text{ m}^3$

Esta región hidrológica "Costa de Oaxaca" se encuentra dividida en cinco cuencas que son: la Cuenca del Río Astata, la del Río Cozoaltepec, la del Río Grande, la Cuenca del Río Colotepec y la Cuenca del Río Copalita.

El área de estudio, específicamente, está dentro de la Subcuenca Río San Francisco perteneciente a la Cuenca Río Colotepec. El área de la subcuenca es de 659.95 Km^2 y presenta una forma triangular. Los principales escurrimientos en la subcuenca son el Arroyo El Carrizal, el Río San Francisco, El Río Chacalapa y el Río Zapotalito (Figura 5).

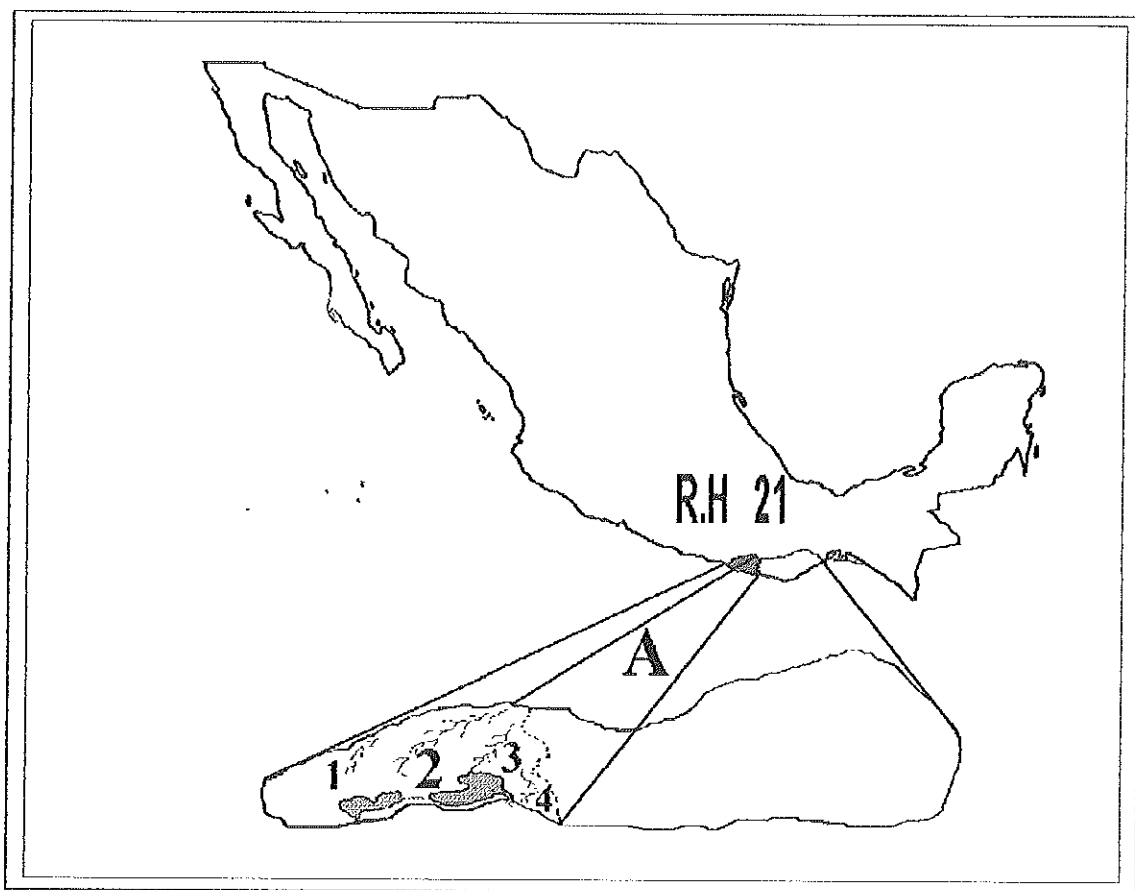


FIGURA. 5 REGIÓN HIDROLÓGICA No 21 "COSTA DE OAXACA"
E HIDROLOGÍA GENERAL DE LA SUBCUENCA RÍO SAN FRANCISCO A.

Rios

En general los rios son de carácter temporal y durante la época de estiaje no existen escurrimientos.

Entre la boca del Rio Verde y la desembocadura del Rio Tehuantepec, el litoral avanza hacia el sur en arco continuo, presentando una barrera topográfica que corresponde a la Sierra Madre del Sur. Se forma una vertiente directa pronunciada y de corrientes de corta longitud, pero que cruzan una planicie costera con grandes posibilidades agricolas, la cual es llamada Costa Oaxaqueña, prolongación sur de la Costa Chica Guerrerense.

Las más notables corrientes, omitiendo las no identificadas y aquellas de las que no se dispuso de información se describen a continuación.

Rio San Francisco parte del suroeste de Santa Cruz Tututepec (Azt. "Cerro de Pájaros") y llega en esa dirección hasta los canales de los manglares del parque a 4 Km del mar. Su cuenca es de 341 Km^2 y el escurrimiento medio anual es de $133 \times 10^6 \text{ m}^3$; durante el estiaje no corre ningún caudal en este rio.

Rio Chacalapa parte del sur de Santiago Jocotepec, con dirección hacia el sureste, pasando la carretera que va de Santa Rosa a Rio Grande, luego hacia el sur haciéndose más angosto, para terminar en la Laguna de Pastoria, dentro del Parque Nacional. Tampoco presenta caudal durante el estiaje.

Rio de la Arena, el cual se origina a una altitud de 1,700 m, a 6.5 Km al suroeste de Santiago Ixtayutla en el parteaguas que limita su cuenca con la del Rio Yolotepec. Recibe aportes de corrientes secundarias como son el arroyo San Cristóbal, el Cuesta de Foro, Mechoacan, Barrigona, entre otros. Colecta al arroyo de la Cobranza por su margen izquierda y desemboca en el Océano Pacífico, a 9 Km

al noroeste de la Laguna del Potrero, pasando cerca de los poblados de Paso de Jiote, Collantes y Santa Maria Ometepec.

Rio Verde, nace de la confluencia de los Rios Sordo y Atoyac; es el rio oaxaqueño tipico, tanto por estar localizado en su totalidad dentro del estado, como porque nace en el Valle de Oaxaca (Rio Atoyac) y està ligado a la vida de los más importantes centros de poblaciòn tanto los actuales como los del pasado. Al respecto Tamayo (1950) menciona que las tribus mixtecas y zapotecas se disputaron su ribera en tiempos precolombinos.

El Rio Atoyac nace al noroeste de la ciudad de Oaxaca, precisamente en las inmediaciones del poblado de Las Sedas, que situado en la divisoria continental de las aguas marca la separaciòn de las cuencas de los Rios Papaloapan y Verde. Toma la direcciòn sureste; desciende por la parte del Valle de Oaxaca (zona de Etla), y pasa por Telixtlahuaca (Azt. "Llanura de piedras"), Huitzo y Etla. En esta porciòn recibe por la derecha el Rio Jalapillas y por la izquierda, el de San Juan del Estado.

Al llegar frente a la ciudad de Oaxaca, el Atoyac cambia su curso hacia el sursuroeste; 5 Km aguas abajo se le une al Rio Salado, que nace en Mitla (Azt. "Lugar de Muertos") y recoge los escurrimientos de la vertiente sur de la Sierra de Juárez.

Tanto el Rio Etla como el Salado o de Tlacolula (Azt. "Lugar de cosas torcidas"), tienen longitudes semejantes (55 Km). A partir de la confluencia con el Rio Salado, la nueva corriente, con el nombre de Atoyac, conserva la direcciòn sursuroeste y recorre la zona de Zimatlàn (Azt. "Junto al cimate"), recibiendo numerosos arroyos: por la izquierda, el Rio Ocotlàn, por la derecha los Rios de Zaachila, de Zimatlàn, el Arroyo de la Concepciòn y el Rio Grande de Santa Ana Tlapacoyan (Azt. "lugar en que se lava"). Pasa cerca de Zimatlàn,

Ocotlán (Azt. “Cerca de los ocotes”) y en las inmediaciones de **Ejutla** (Azt. “Lugar de ejotes, habichuelas”) entre Ayoquesco (Azt. “Bullicio de tortugas”) y el Rancho de la “Y”, sale de las cuencas que forman el Valle de Oaxaca para recibir por la izquierda, el Río Miahuatlán o de Yogana (Zap. “Tierra labrada”), y por la derecha, el de Sola de Vega.

Ya engrosado con estas corrientes el Atoyac continúa en su ruta al mar, conservando su dirección hasta encontrar el obstáculo de la Sierra Madre del Sur, cerca de Coatlán (Azt. “Abundancia de culebras”), donde recibe el Río Zalacua, cambia el curso hacia el oeste, recogiendo pequeños afluentes, por la izquierda, y por su derecha los Ríos Minas, Fierros o Limón (que baja de Teojomulco Azt. “En el rincón de Dios”), San Jacinto Tlacotepec, también llamado Río Cola y finalmente el Río Sordo o Cuanana (Mixteco “Se fue la nana”).

El Río Sordo o de Cuanana nace en un punto intermedio entre Coixtlahuaca, Nochixtlán y Teposcolula, se dirige al sur con los nombres de Yucuntindó y Nochixtlán. Al recibir por la izquierda el Río Peñoles, cambia su dirección al suroeste para recibir por la derecha una corriente importante que baja desde Teposcolula y finalmente el Río Putla, que en su parte baja se le llama Zapote, para finalmente unirse con el Atoyac y adoptar el nombre de “Río Verde”, descargando en el Océano Pacífico, al noroeste de la Laguna de Chacahua (azt. “Agua que tiene camarones”) (Tamayo, 1950).

El Río Verde contribuye con pequeños escurrimientos, los cuales han disminuido su caudal a raíz de la construcción de la presa de Río Verde para el desarrollo de un proyecto de infraestructura hidroagrícola por parte de la Comisión Nacional del Agua.

Al observar la llanura aluvial de los Ríos Verde, San Francisco y Chacalapa, se puede apreciar un cambio notable de la pendiente entre la llanura y los macizos rocosos de la Sierra Madre del Sur, lo que genera relieves de tipo acumulativo. Lo anterior es debido a que dichos ríos poseen pendientes muy pronunciadas, condicionadas por los relieves cristalinos, lo que les da gran energía para erosionar y transportar materiales; al sucederse el cambio en la pendiente, el resultado se traduce en el abandono de la carga de sedimentos del río, constituyendo un relieve de tipo acumulativo.

De los datos hidrométricos disponibles para el Río Verde, medidos en el periodo comprendido entre los años de 1960-1970 (CNA, 1990) en la estación Paso de la Reyna, Oaxaca se puede observar que los mayores volúmenes escurren durante el periodo comprendido entre JUNIO - NOVIEMBRE (Verano - Otoño) con un gasto promedio anual máximo que oscila entre valores de $622 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $3,074 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, correspondientes al año de 1967 y a los meses de noviembre y septiembre respectivamente (Figura 6a); en lo concerniente al gasto promedio anual mínimo, durante el periodo comprendido entre ENERO - MAYO (Invierno - Primavera), se observa que dichos valores fluctúan entre $0.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Enero - Febrero), alcanzando los mayores gastos durante el mes de marzo $16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 6b).



MARCO GEOLÓGICO

6.3

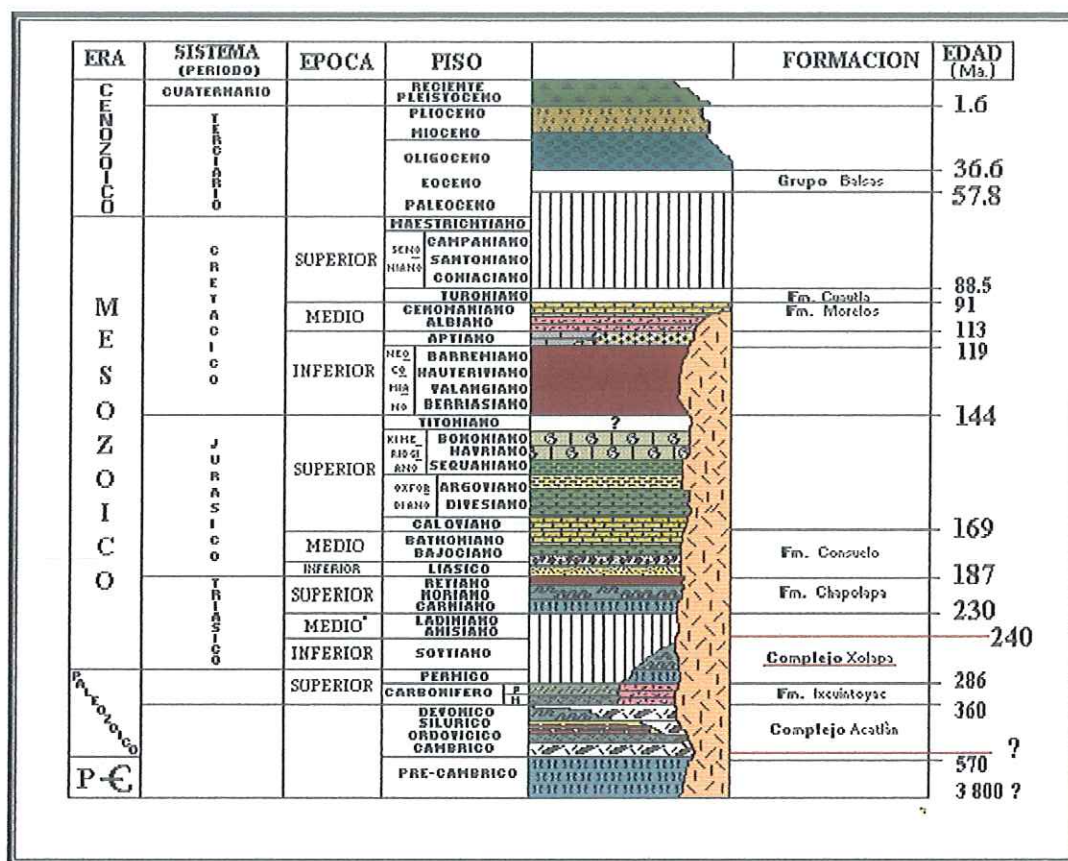


FIGURA. 7 COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA SIERRA MADRE DEL SUR GUERRERO Y OAXACA. (modificada de López - Ramos, 1983)

magmàtics y cuencas sedimentarias asociadas, que se desarrollaron en respuesta a una subducciòn pacífica principalmente durante la fase mesozoica del règimen tectònico Cordilleriano.

Dentro de los cuatro principales complejos del Sur de Mèxico, èste en particular, se caracteriza por ser uno de los màs extensos (Tabla IV).

En lo que a litología se refiere Ortega-Gutiérrez (1981a) manifiesta que la litología predominante en la porciòn comprendida entre Oaxaca y Puerto Escondido, de dicho complejo, consiste de Migmatita, parte de la cual es metasedimentaria por la presencia comùn de màrmol y que entre Puerto Escondido y Puerto Angel se presentan rocas gneisicas, las cuales se alternan con diversos plutones de composiciòn granodiorítica. La secciòn màs estrecha de este complejo (30 Km.), expuesta entre Puerto Angel y Pochutla, Oaxaca, litològicamente consiste de migmatitas ricas en calcio, gneisses bandeados, esquistos de biotita, algo de màrmol e intrusiones granitoides.

Este conjunto de rocas Paleozoicas - Mesozoicas ? ha dado lugar al depòsito de material de aluviòn presente en la zona, el cual se ha depositado desde el Pleistoceno hasta el reciente.

Tabla IV. Principales características geológicas del Complejo Xolapa del Sur de México.

EDAD	PALEOZOICA - MESOZOICA ?
LARGO MÍNIMO (KM)	500
ANCHURA MÁXIMA (KM)	75
ESPESOR MÍNIMO (KM)	10
ÁREA EXPUESTA APROXIMADA (KM ²)	20, 000
PROTOLITO SEDIMENTARIO	ISLA EN ARCO ?
PROTOLITO IGNEO	CALCO - ALCALINO
ESTILO DOMINANTE DE DEFORMACIÓN	MONOFASE ?
PRINCIPALES FACIES METAMÓRFICAS	ANFIBOLITA
SERIE DE FACIE METAMÓRFICA	HIPOBÁRICA
MILONITAS SINTECTÓNICAS	RARA
MIGMATITAS	ABUNDANTE
BASAMENTO SIAL	SIAL ?
ESTILO OROGÉNICO	MARGEN CONTINENTAL
PRINCIPALES MINERALES METÁLICOS ECONÓMICOS	INEXPLORADA
PROVINCIA ESTRUCTURAL	CORDILLERIANA

SUELOS

CARACTERIZACIÓN EDAFOLÒGICA

Siendo el clima el principal factor que determina la tasa y tipo de formación de suelos, así como el principal agente que determina la distribución de la vegetación y el tipo de procesos geomorfológicos, forma la base de muchas clasificaciones de fenómenos naturales, incluyendo los suelos (FitzPatrick, 1985).

De manera específica, en el renglón de tipos de suelo para el área de estudio, se han identificado por medio de los estudios agrológicos realizados por la U.N.A.M. (1980) nueve tipos de suelos, los cuales se pueden agrupar dentro de las siguientes clases: suelos ricos en materia orgánica (Histosols); suelos aluviales (Fluvisols, Solonchaks); suelos poco desarrollados (Arenosols, Cambisols, Litosols, Regosols); los cuales no tienen una delimitación marcada, sino que se encuentran en combinaciones que determinan las características del suelo, su vocación y el uso de los mismos.

GEOMORFOLOGIA

En el àrea de estudio se pueden observar dos grandes ambientes de sedimentaciòn:

La llanura aluvial de los Rios Verde, San Francisco y Chacalapa y la zona litoral, que comprende el sistema lagunar Chacahua - Pastoria.

Cada lecho se distingue de otro por el tamaño de los materiales de depòsito, drenaje, exposiciòn de inundaciones, cauces abandonados, pendientes y otras formas que en su conjunto configuran la llanura aluvial, cuyo relieve puede ser de excavaciòn o de acumulaciòn de materiales, en funciòn del proceso erosivo y del patròn de escurrimiento de cada río.

La importancia geomorfològica de las extensas tierras del lecho de inundaciòn radica en el hecho de que influyen en la productividad de los suelos, lo que trae consigo una intensa actividad agrícola.

En la geomorfologia estructural se distinguen dentro del àrea de estudio: llanura, formas lagunares, deposito de playa, relieves montañosos, fàllas, fracturas y la red hidrogràfica que se encuentra condicionada a las estructuras de la depresiòn.

Dentro de la llanura aluvial los rasgos que se pueden distinguir son las formas del lecho (de inundaciòn, ordinario y canal de estiaje) donde la unidad dominante es la llanura baja, inundable cada 5 o 6 años.

En la morfologia litoral se pueden distinguir unidades de playa, cordones litorales, barras, lagunas, manglares y zonas sujetas a inundaciòn lagunar. Aquì la zona de manglar y los depòsitos lagunares son los que ocupan la mayor extensiòn del ambiente lagunar (Figura 8).

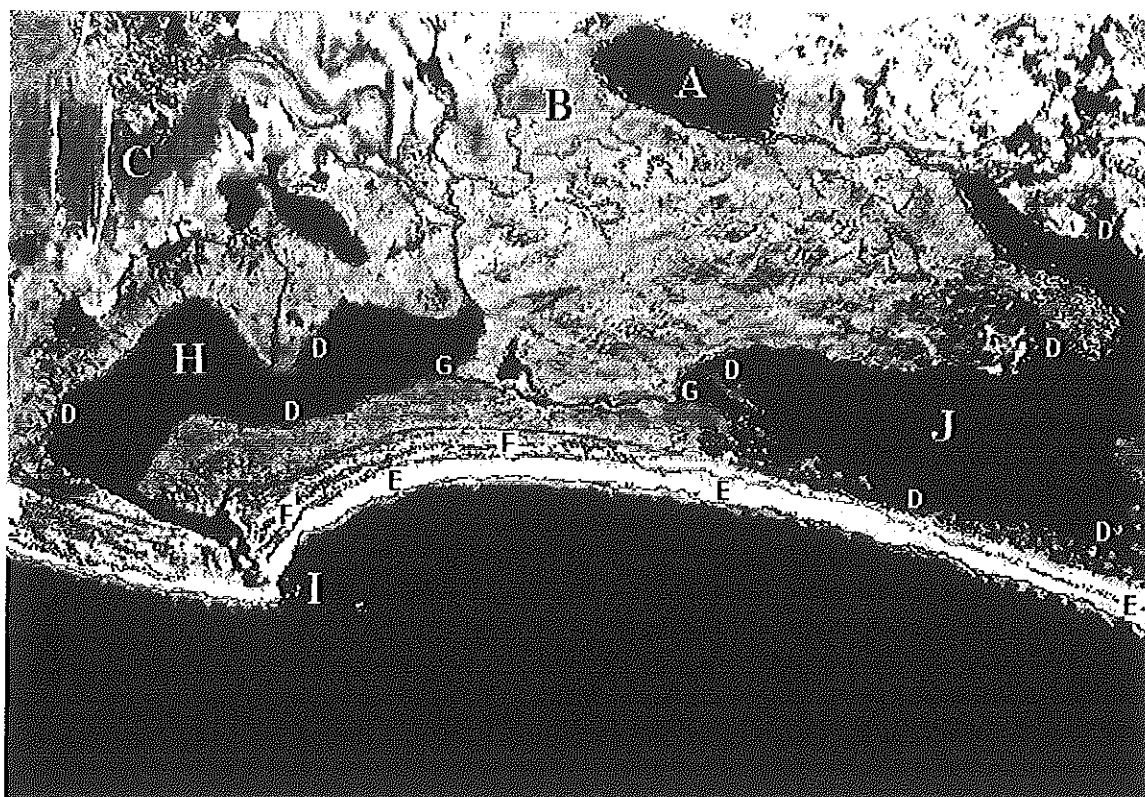
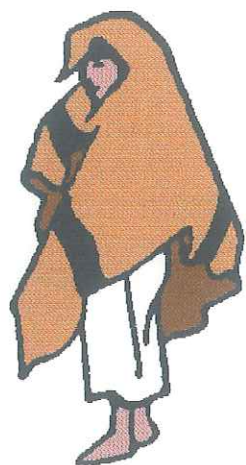


FIGURA 2. Rasgos geomorfológicos de la llanura aluvial y sistema lagunario Chacabua-Pastoria

- A) Laguna de Palmarito. B) meandros de ríos.
- C) Selva Mediana. D) zona de manglar.
- E) Barrera Arenosa. F) cordones litorales.
- G) Canal de Comunicación.
- H) Laguna de Chacabua.
- I) Salientes Roccosas (espigón Natural)
- J) Laguna de Pastoria.



ESTRATEGIAS

6.4

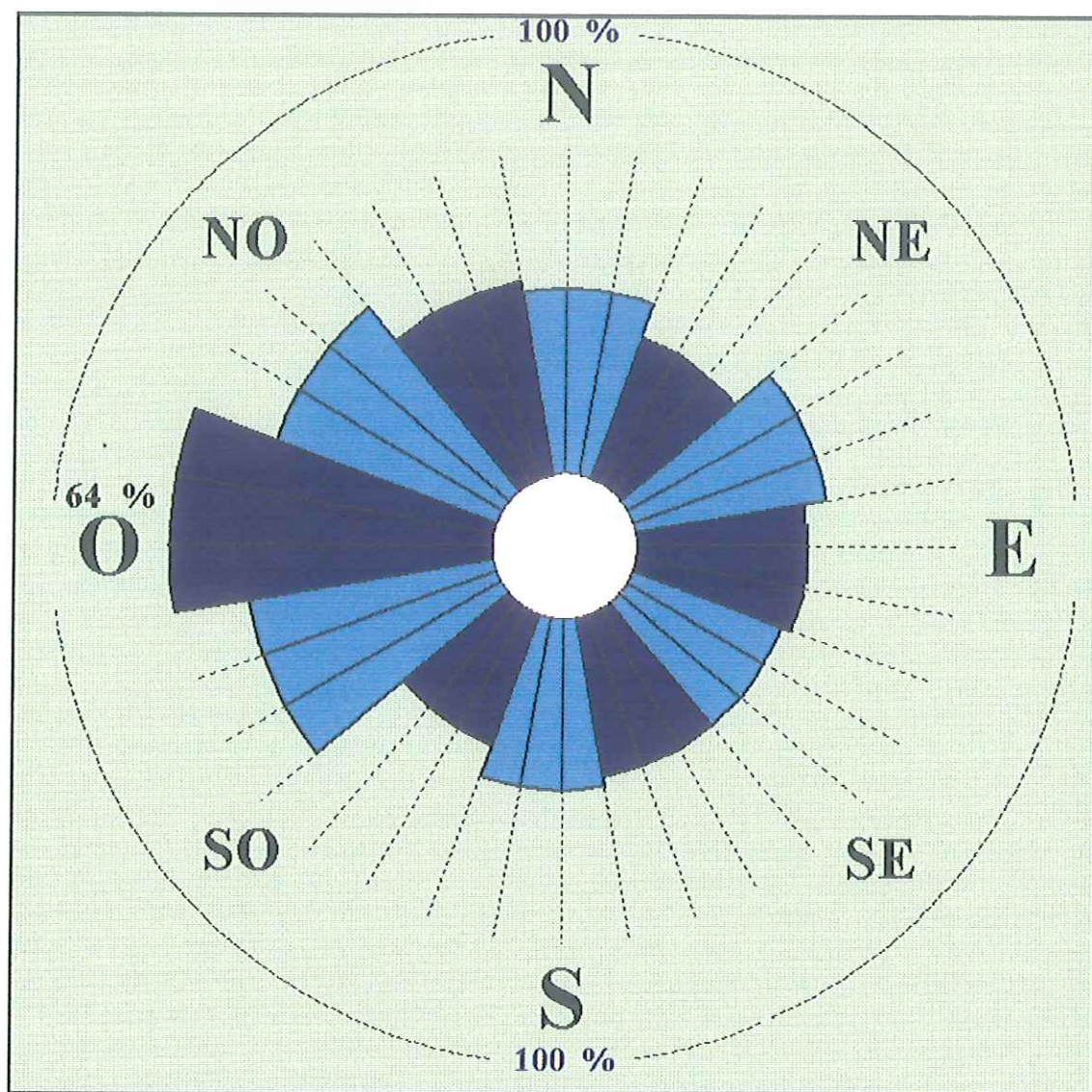
OLEAJE

De acuerdo con Frias-Valdéz *et al.* (1988), la manera más confiable que existe para conocer las características del oleaje para un sitio determinado, es el realizar mediciones directas durante un lapso que se recomienda no sea menor de 1 año. De esta forma se podrían conocer todas las variables que definirían al oleaje en el sitio en cuestión.

Sin embargo, la medición directa casi nunca es posible realizarla, bien sea por motivos de orden económico o por la necesidad de contar con datos rápidamente, por lo que es frecuente y de hecho común hacer uso de fuentes de información que definen las variables de oleaje en cuanto a periodo y altura.

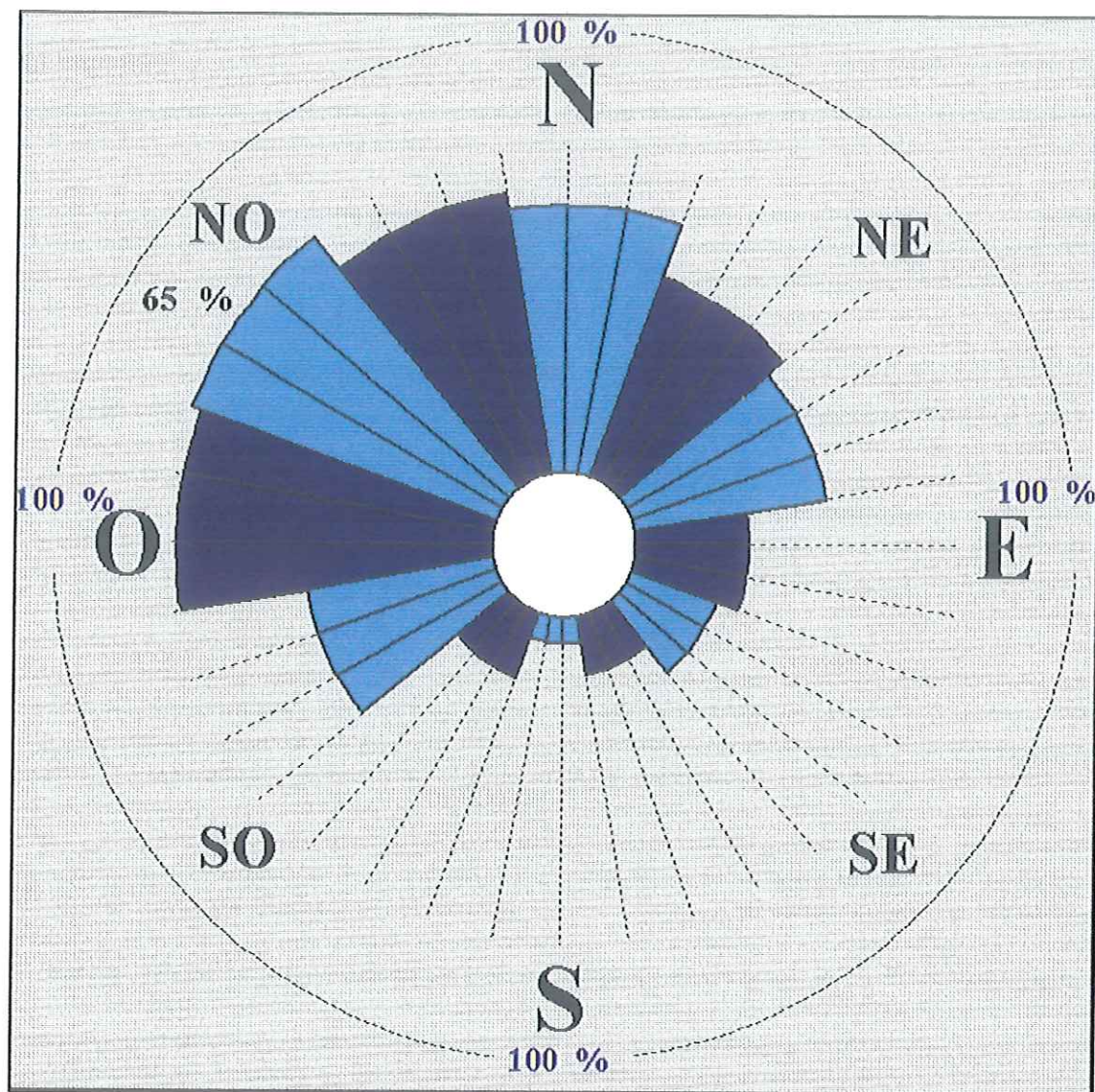
Con la finalidad de describir el oleaje presente en la zona de estudio se utilizó la fuente de información conocida como Ocean Wave Statistics (OWS) (Hogben *et al.*, 1967), la cual contiene los datos estadísticos del oleaje, estimados visualmente por barcos voluntarios que navegaron en las rutas establecidas en todo el mundo durante los años de 1953 a 1961.

Tomando como base los datos de oleaje reportados por (Hogben *et al.*, 1967) para el área 22, correspondiente a la zona de influencia del estudio, se procedió a identificar la dirección preferencial del oleaje incidente en el frente marítimo de la costa de Oaxaca para el régimen anual y para el régimen estacional (Figura 9, 10, 11, 12 y 13); concluido lo anterior, se realizó una transformación de los datos en matrices frecuenciales, obteniéndose la altura significativa denotada como ($H^{1/3}$) y el periodo significativo denotado como ($T^{1/3}$) para el régimen anual y su promedio correspondiente para todas las direcciones (Tabla V); de manera similar para el régimen estacional, con la



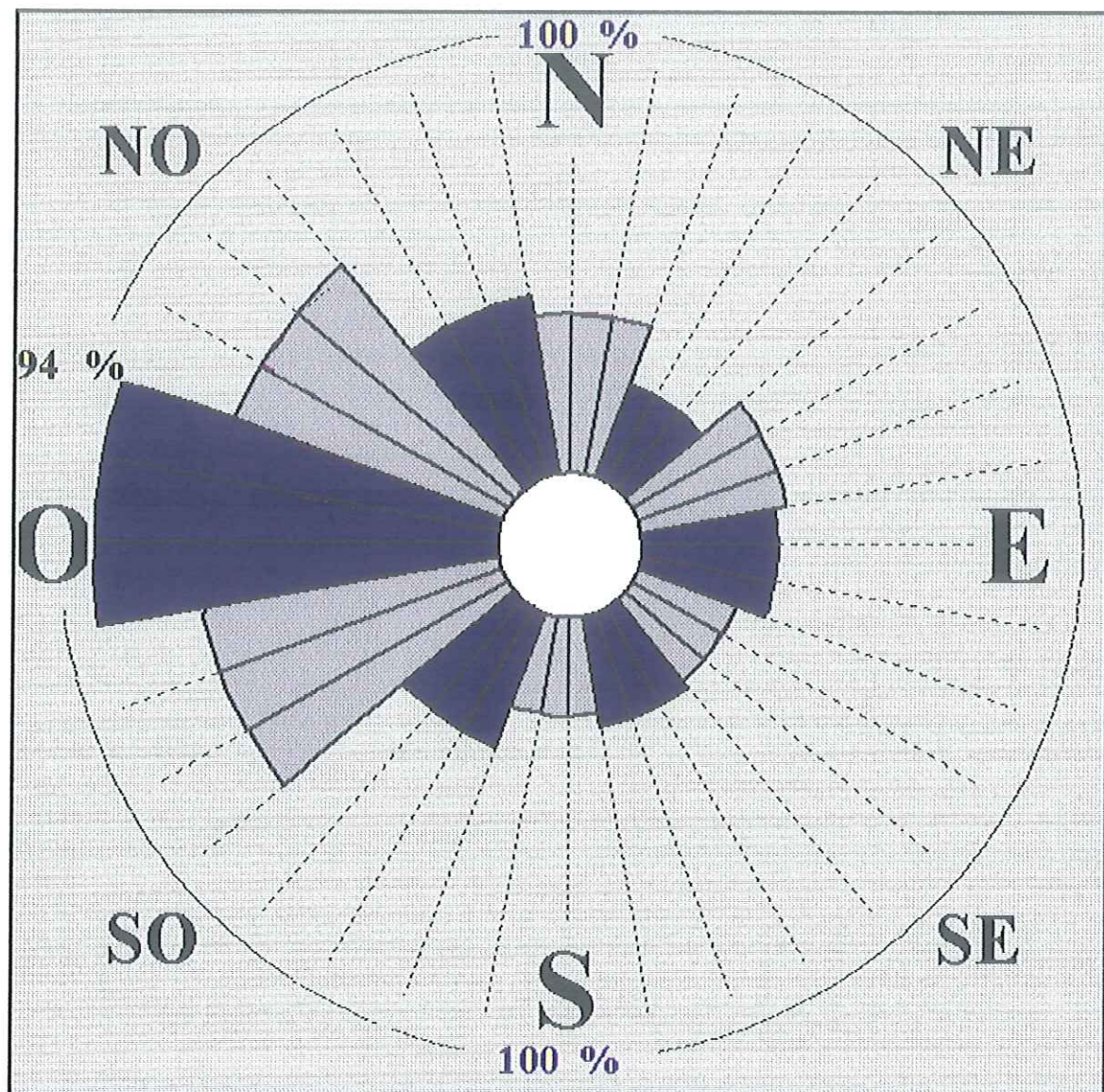
$$H_{1/3} = 1.94 \text{ m.} \quad T_{1/3} = 9 \text{ seg.}$$

FIGURA 9 . REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS OBSERVACIONES ANUALES DEL OLEAJE INCIDENTE EN LA COSTA DE OAXACA CORRESPONDIENTES A LA ZONA 22 (OCEAN WAVE STATISTICS).



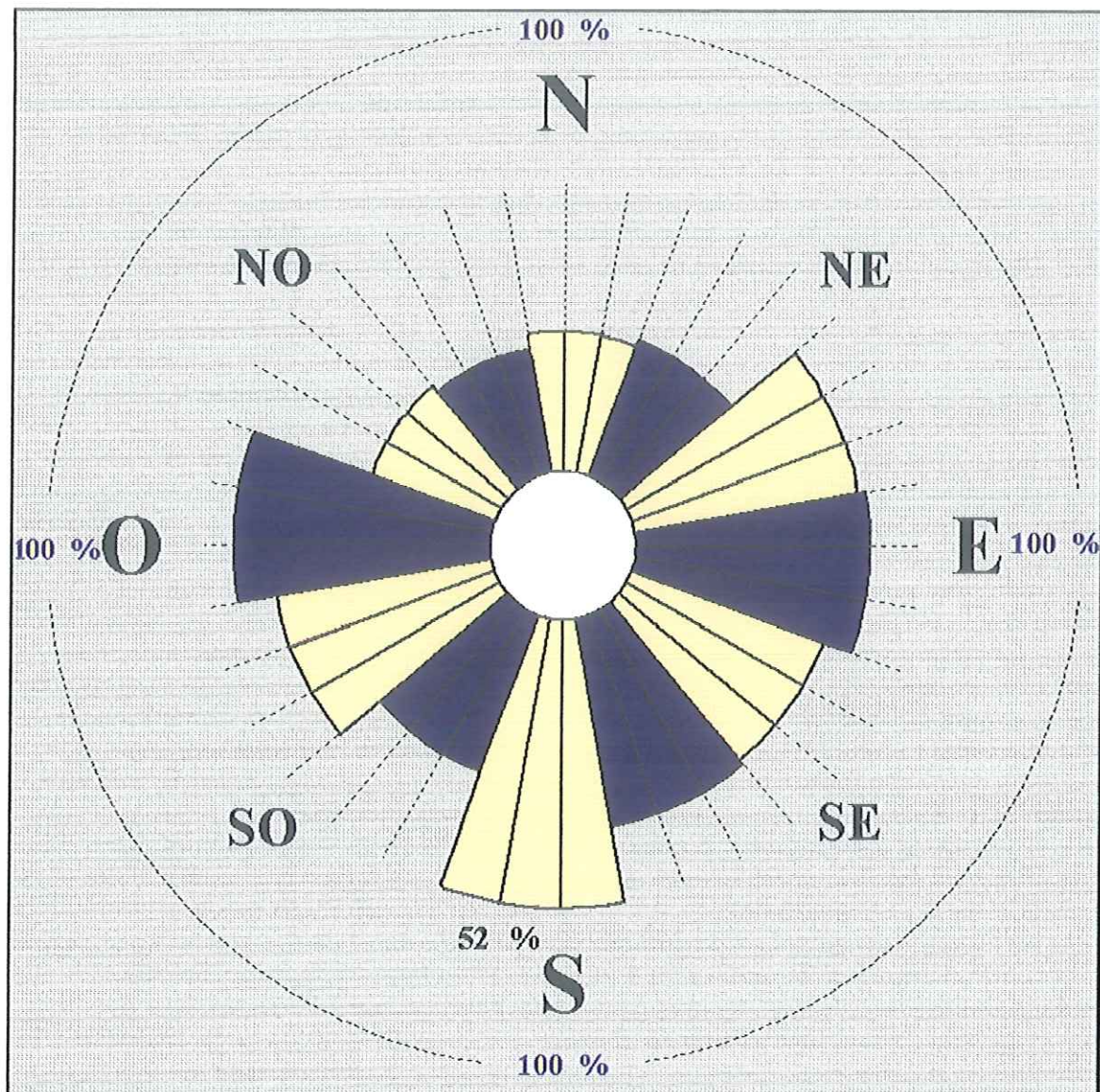
$$H_{1/3} = 1.94 \text{ m.} \quad T_{1/3} = 8 \text{ seg.}$$

FIGURA 10 . REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS OBSERVACIONES ESTACIONALES DEL OLAJE INCIDENTE EN LA COSTA DE OAXACA DURANTE EL PERÍODO DICIEMBRE - FEBRERO (INVIERNO) ZONA 22 (OCEAN WAVE STATISTICS).



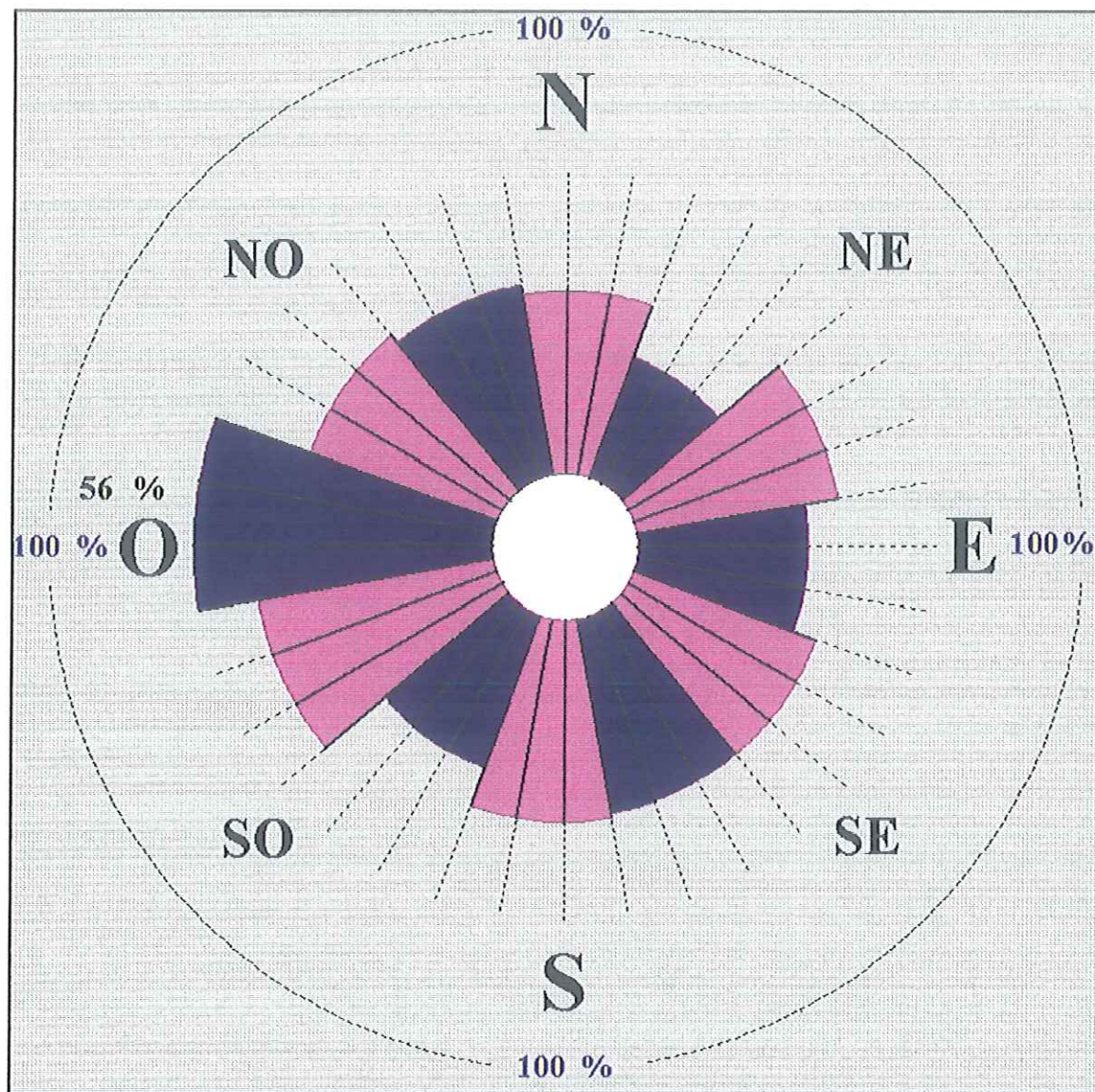
$$H_{1/3} = 1.33 \text{ m.} \quad T_{1/3} = 7 \text{ seg.}$$

FIGURA II . REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS OBSERVACIONES ESTACIONALES DEL OLAJE INCIDENTE EN LA COSTA DE OAXACA DURANTE EL PERÍODO MARZO - MAYO (PRIMAVERA) ZONA 22 (OCEAN WAVE STATISTICS).



$$H_{1/3} = 2.46 \text{ m.} \quad T_{1/3} = 10 \text{ seg.}$$

FIGURA 12 .: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS OBSERVACIONES ESTACIONALES DEL OLEAJE INCIDENTE EN LA COSTA DE OAXACA DURANTE EL PERÍODO JUNIO - AGOSTO (VERANO) ZONA 22 (OCEAN WAVE STATISTICS).



$$H_{1/3} = 1.68 \text{ m.} \quad T_{1/3} = 8 \text{ seg.}$$

FIGURA 13 .: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS OBSERVACIONES ESTACIONALES DEL OLEAJE INCIDENTE EN LA COSTA DE OAXACA DURANTE EL PERÍODO SEPTIEMBRE - NOVIEMBRE (OTOÑO) ZONA 22 (OCEAN WAVE STATISTICS).

Tabla V. Resumen de alturas y periodos significantes para el régimen anual en todas las direcciones. Sin considerar las calmas

DIRECCION	ALTURA SIGNIFICANTE $H^{1/3}$ (m)	PERIODO SIGNIFICANTE $T^{1/3}$ (seg)
350° - 000° - 010°	2.40	9
020° - 030° - 040°	2.12	9
050° - 060° - 070°	1.80	9
080° - 090° - 100°	1.98	8
110° - 120° - 130°	1.78	10
140° - 150° - 160°	1.90	11
170° - 180° - 190°	2.20	10
200° - 210° - 220°	2.00	10
230° - 240° - 250°	1.70	9
260° - 270° - 280°	1.52	8
290° - 300° - 310°	1.74	9
320° - 330° - 340°	2.1	8
PROMEDIO	1.94	9

diferencia de que ($H^{1/3}$ y $T^{1/3}$) se obtuvieron para las direcciones preferenciales del oleaje (Tabla VI).

En funciòn a lo anterior, se tiene que el oleaje, incidente en la costa es de procedencia Oeste para el régimen anual.

Para el régimen estacional, el oleaje se distribuye de la siguiente forma:

En Invierno (Diciembre - febrero), el oleaje se presenta de la direcci n (ONO) Oestenoroeste ($290^\circ - 300^\circ - 310^\circ$), con $H^{1/3} = 1.94$ m y $T^{1/3} = 8$ seg.

En Primavera (Marzo - Mayo), el oleaje arriba de la direcci n (O) Oeste ($260^\circ - 270^\circ - 280^\circ$), con $H^{1/3} = 1.33$ m y $T^{1/3} = 7$ seg.

En el Verano (Junio - Agosto), el oleaje proviene de la direcci n (S) Sur ($170^\circ - 180^\circ - 190^\circ$), con $H^{1/3} = 2.46$ m y $T^{1/3} = 10$ seg.

En Otoño (Septiembre - Noviembre), el oleaje se presenta de la direcci n (O) Oeste ($260^\circ - 270^\circ - 280^\circ$), con $H^{1/3} = 1.68$ m y $T^{1/3} = 8$ seg.

MAREAS

El litoral de Oaxaca se caracteriza porque las mareas son de una variación reducida que comprende intervalos de 40 a 60 cm. (PESCA, 1990). Normalmente son de tipo mixto, aunque también se presentan mareas del tipo mixta semidiurna, como es el caso de la región de Salina Cruz, Oaxaca, donde los "Nortes" son la principal causa de abatimiento del nivel medio del mar, MARINA (1974) hace referencia que este abatimiento ha llegado a ser, en algunos casos, de 45.72 cm., lo cual provoca en dicha zona eventos de surgencia.

Con el propósito de tener una idea general de la variación del nivel del mar por influencia astronómica en la región, se obtuvieron datos correspondientes a las estaciones mareográficas, tanto al oeste como al este de la zona de estudio, las cuales corresponden a:

"Acapulco, Guerrero" con una ubicación de $16^{\circ} 50' 04''$ de Latitud Norte y $99^{\circ} 54' 07''$ de Longitud Oeste, con un registro de mareas de 19 años, que comprende de 1952 a 1971.

"Puerto Angel, Oaxaca" con una ubicación de $15^{\circ} 39' 04''$ de Latitud Norte y $96^{\circ} 29' 06''$ de Longitud Oeste, con un registro de mareas de 9 años, el cual comprende de 1969 a 1978.

"Salina Cruz, Oaxaca" con una ubicación de $16^{\circ} 09' 06''$ de Latitud Norte y $95^{\circ} 12' 02''$ de Longitud Oeste, con un registro de mareas de 19 años, que comprende de 1952 a 1971.

Los datos de mareas de las estaciones anteriormente citadas, se muestran en la (Tabla VII).

Con el objeto de determinar el comportamiento general de la propagación de la onda de marea en las Lagunas de Chacahua y Pastoria, se realizó un estudio en el mes de Enero de 1993, por medio de observaciones del nivel del mar en el interior de las lagunas, aunado a una determinación de profundidad promedio, en un canal ondulante con orientación Oeste-Este (Canal del Corral); dicho estudio consistió en el análisis de los datos obtenidos, tanto de los niveles del mar, como de las profundidades promedio del canal de comunicación entre las dos lagunas antes nombradas. Los métodos empleados para la realización de este trabajo, en lo que respecta a niveles del mar, consistieron en el establecimiento de una red de 4 estaciones ubicadas en base a fotografías aéreas (Figura 14), en donde se registró con la ayuda de reglas de marea el parámetro antes mencionado durante un ciclo de marea (24 Horas) y a intervalos de 30 minutos; en lo que respecta a las profundidades promedio, estas se obtuvieron con ayuda de una ecosonda para pesca de registro analógico, propiedad de la Cooperativa de Pescadores de Zapotalito.

Del análisis de esta información y con apoyo en observaciones realizadas en campo, se concluye lo siguiente:

La curva de marea en la Laguna de Pastoria sufre una distorsión a medida que se propaga hacia la Laguna de Chacahua (Figura 15 a,b); esto se presenta principalmente por la batimetría del canal de comunicación entre las dos lagunas (Canal del Corral), en donde se tiene una profundidad promedio de 2.0 m, llegando a presentar partes en donde la profundidad es de escasos 30 cm., lo anterior se manifiesta en las partes aledañas a la entrada y salida de dicho canal.

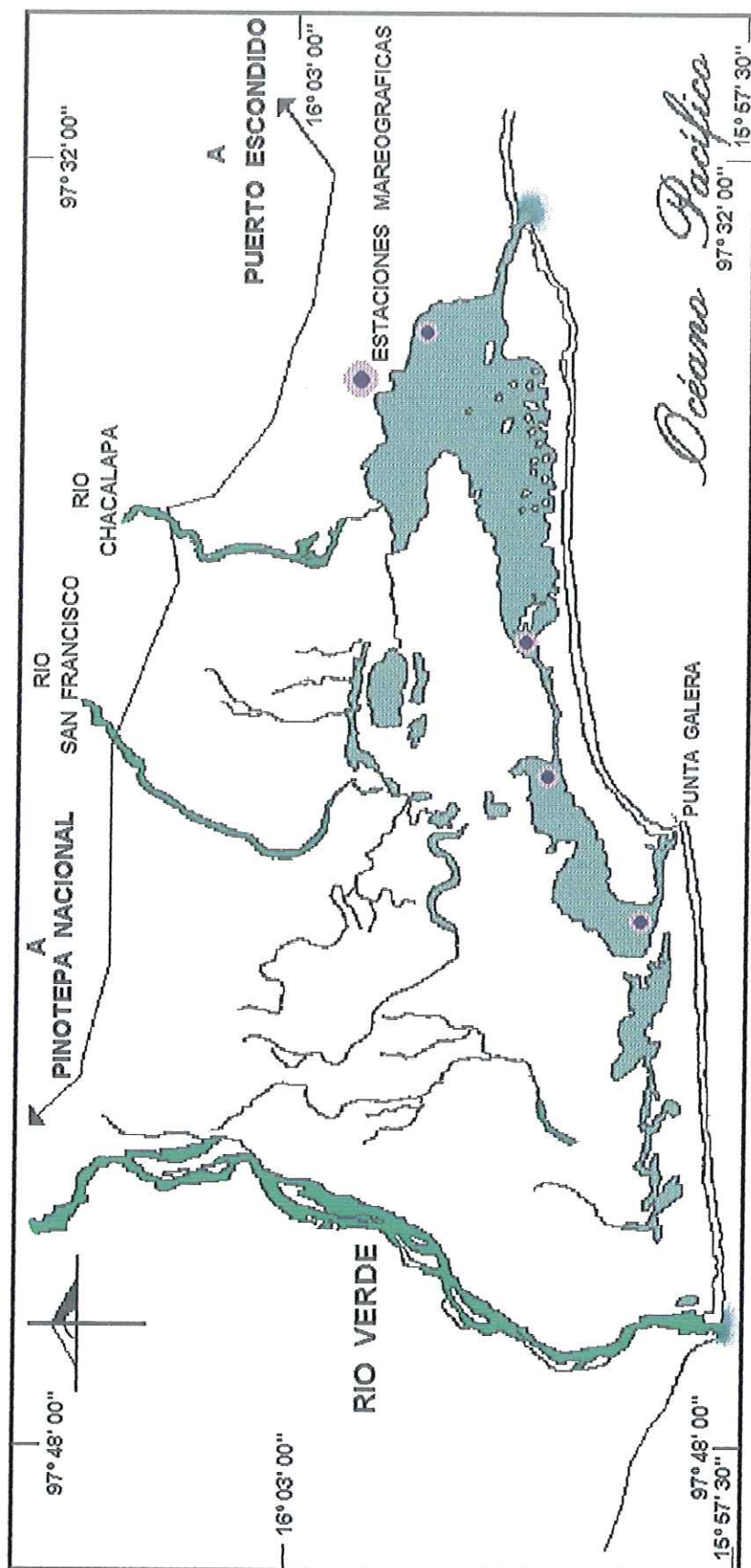


FIGURA 14. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES MAREOGRAFICAS. SEÑALADAS EN ÁREAS SOMBRADAS

De tal forma, se concluye que no existe una influencia significativa de la marea entre las dos lagunas, por el efecto de la batimetría y sinuosidad del canal; lo anterior se hace patente en la Laguna de Chacahua, la cual presenta una circulación restringida de masas de agua, provocando un estancamiento de las mismas en ciertas partes de ella lo que genera, en el mejor de los casos, un desplazamiento de especies o como mencionan Torres-Moye *et al.* (1993) una mortandad local de peces aunada a una alta descomposición anaeróbica de materia orgánica, lo cual se manifiesta por malos olores (ácido sulfúrico).

CORRIENTES

En las costas del Sur de México puede decirse que las direcciones en que se desplazan las corrientes, están comprendidas entre el sureste y el este-sureste, durante los meses de invierno; cambiando al noroeste y al oeste-noroeste en el resto del año. La corriente parece tener una anchura de casi 579 Km. con una contra corriente cercana a la costa (MARINA, 1974).

Las corrientes inmediatas a la línea de costa en el Golfo de Tehuantepec, están sujetas por lo general, a la influencia de los vientos en esta región, especialmente durante la época de los "Nortes", estableciéndose la corriente con una componente hacia el norte y el este a lo largo de la línea de costa en la parte occidental del golfo; y hacia el norte y el oeste, en las cercanías de la línea de costa oriental del mismo golfo. En otras ocasiones la corriente se desplaza en dirección opuesta; lo anterior puede ser explicado de la siguiente manera: la violencia del "Norte", impulsa el agua superficial al Sur y hacia fuera del golfo, lo que provoca una disminución en el nivel del mar; al disminuir el nivel de las aguas en la parte más interna del golfo, se establecen corrientes de relleno a lo largo de ambos márgenes de la línea de costa, las que se desplazan hacia el norte y restablecen el nivel. Cuando el "Norte" se modera o deja de soplar, el agua que ocupa un nivel más alto regresa internándose en el golfo escurriéndose el sobrante a lo largo de ambos márgenes de la línea de costa en dirección sur. Lo que se comprueba por observaciones hechas tanto en el Río Verde como en Champerico, este último lugar en las costas de Guatemala (MARINA, 1974).

Con la finalidad de conocer el patrón general de corrientes litorales predominantes en el área de estudio, un grupo de investigadores de la Facultad de

Ciencias Marinas dependiente de la Universidad Autónoma de Baja California realizó, entre otros, un estudio para determinar dicho patrón de corrientes Ledesma-Vázquez *et al.* (1993), en base a la metodología utilizada por Sunamura y Horikawa (1971).

Los resultados obtenidos por Ledesma-Vázquez *et al.* (1993), indican una corriente predominante de oeste a sureste con la presencia de contracorrientes de menor magnitud. Se menciona que, lo anterior es observable como una conjunción de corrientes hacia la bocabarra de la Laguna de Pastoria, la cual recibe influencia de ambos lados, predominando el aporte de oeste a sureste. En lo que respecta a la zona de estudio, se manifiesta que desde la parte occidental de la desembocadura del Río Verde hasta la del extremo oriental de la Bahía de Chacahua, predomina una corriente oeste-sureste. En cuanto a las observaciones realizadas, se menciona que éstas coinciden con el análisis estadístico y su comparación con procesos costeros como son las corrientes de retorno, en las cuales es posible observar una deflexión muy marcada una vez que han librado la zona de rompiente. También se hace mención que, en las áreas en las cuales se observó la presencia de estas corrientes (Corralero, Río Verde, Los Azufres, Chacahua y Pastoria), la deflexión de las mismas indica una corriente dominante oeste- sureste. Esta última aseveración esta limitada a la observación temporal efectuada en el estudio. Sin embargo, esta deflexión es observada por los autores en fotografía aérea de años diversos, en diferente época del año (INEGI, 1979 - 1988).

TRANSPORTE DE SEDIMENTO

Las playas son rasgos costeros que protegen la costa disipando la energía del oleaje, la mayoría están formadas por la acumulación de material granular no consolidado, el cual interviene en forma directa en todos los procesos litorales.

Uno de estos procesos, que comúnmente se presenta en las playas es el transporte litoral de sedimentos, el cual se genera como producto de la interacción de energías, como son las correspondientes al oleaje, las corrientes, la marea y el viento, así mismo es el responsable de la formación o destrucción de las playas, es por eso que su conocimiento es primordial para el diseño de sistemas de protección costeros.

Las dificultades inherentes a la planeación y manejo de la zona costera se relacionan fundamentalmente a dos aspectos básicos: el primero de ellos, es la falta de conocimiento de muchos procesos naturales que tienen lugar en las playas; y el segundo, y no de menor importancia, es la falta de una política adecuada para la planeación y administración de las zonas costeras. Es por eso que para una mejor planeación de las obras a realizar, es indispensable conocer los fenómenos que afectan a la zona donde se planea realizarlas.

Por lo anterior, los cambios a los que se sujetarán las playas en esta zona, hacen recomendable conocer el volumen de sedimento que se deposita y/o se transporta a lo largo de ellas.

En la región de interés se han efectuado pocos trabajos relacionados con el transporte litoral de arenas. Al respecto, Ledesma-Vázquez *et al.* (1993) efectuaron observaciones concernientes al movimiento de sedimentos y corrientes en las proximidades de las Lagunas de Corralero, Chacahua y Pastoria.

Una de las maneras confiables para conocer el patrón del transporte litoral en un sitio determinado, es realizar mediciones directas durante un lapso que se

recomienda no sea menor de un año. De esta manera se podrán conocer las variaciones estacionales del transporte litoral con un intervalo de confiabilidad mayor.

Los métodos empleados para la realización de este estudio son los que a continuación se describen:

En el año de 1993 se efectuó una serie de tres campañas de campo, las que abarcaron las estaciones de invierno, primavera y verano, correspondiendo estas a los meses de enero, abril y julio respectivamente.

Para cada campaña :

Se realizó, por el método de nivelación diferencial de segundo orden, el levantamiento topográfico de nueve perfiles normales a la línea de costa, los cuales se ubicaron en base a un análisis de fotografías aéreas de la zona, a intervalos entre perfiles de 800 m. (Figura 20), lo anterior se realizó con la finalidad de describir la variabilidad estacional de los perfiles y evaluar cuantitativamente dichos cambios mediante secciones transversales.

También, se colectaron en total 54 muestras de sedimento, distribuidas de la siguiente manera:

TOTAL DE PERFILES LEVANTADOS	CAMPAÑA	DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS		TOTAL DE MUESTRAS COLECTADAS
		BARRA DE LA PLAYA	CARA DE LA PLAYA	
9	Invierno / Enero	9	9	18
9	Primavera / Abril	9	9	18
9	Verano / Junio	9	9	18

Las muestras colectadas fueron “ pretratadas ” para su procesamiento en el Laboratorio de Geología de la Facultad de Ciencias Marinas en base a la metodología propuesta por Royce (1970). Se usó el cuarteador mecánico hasta obtener una submuestra de aproximadamente 50 gr. y se procedió a la separación mecánica (Tamizado) de las diferentes fracciones de tamaños en la escala Φ (phi) (Krumbein, 1934). La serie de tamices (*U.S. STANDAR*) que se utilizó para la separación, comprendía un rango de 0.0 Φ a 4.0 Φ con intervalos entre tamices de 0.5 Φ .

Lo anterior se llevó a cabo con el objeto de describir el patrón de transporte litoral, según la metodología sugerida por Sunamura y Horikawa (1971).

Del análisis de esta información y con apoyo en observaciones realizadas en campo, se obtuvo lo siguiente:

De la porción de playa estudiada, los resultados cuantitativos del transporte litoral de arenas entre las secciones transversales seleccionadas se presentan en la (Tabla VIII a,b); en (a), se observa que de los meses muestreados, en la estación de primavera (abril) se presenta una tendencia marcada de azolve (secciones: 3-4, 4-5, 5-6, 6-7 y 8-9), por el contrario en la estación de verano (julio) se presenta un patrón erosivo (secciones: 5-6, 6-7 y 7-8).

Lo anterior puede ser apreciado también en la (Figura 16), donde se muestra la variación de la línea de la cota cero durante el periodo (ENERO - JULIO). Este esquema indica claramente el desplazamiento durante el mes de abril de la línea de la cota cero en dirección al mar aproximadamente 5 m para las secciones de playa (3-7), que corresponden a los perfiles adyacentes al acceso a la laguna, lado oriente, lo anterior se manifiesta por una depositación producida tal vez por una disminución de la intensidad de la corriente paralela a la costa, debida a la barrera

Tabla VIII a. Cuadro comparativo del gastos sólido en las secciones transversales seleccionadas para los meses estudiados.

PRISMA DEL PERFIL	VOLUMENES DE SEDIMENTO (m ³)			
	ENERO INVIERNO VOLUMEN INICIAL	ABRIL PRIMAVERA VOLUMEN PROMEDIO	JULIO VERANO VOLUMEN PROMEDIO	
1 a 2	85,419	DEPOSITADO	EROSIONADO	DEPOSITADO
			46,988	
3 a 4	37,195	6,900		1,541
4 a 5	34,874	27,709		15,767
5 a 6	32,929	39,130		35,096
6 a 7	39,430	15,194		21,817
7 a 8	37,086		591	4,667
8 a 9	28,411	5,454		2,096

Tabla VIII b. Resumen del gasto sólido y tendencias direccionales de transporte para los meses muestreados.

		ABRIL	JULIO
VOLUMEN PROMEDIO (m ³)	DEPOSITADO	94,387	2,096
	EROSIONADO	47,579	87,206
	TRANSPORTADO (NETO)	46,808	85,110
DIRECCION (NETA)		ESTE	ESTE
POTENCIAL DE EROSION (m ³ d ⁻¹)		396	714
LONGITUD DE PLAYA (Km.)		5.6	5.6

impuesta por la construcción de los espigones, lo cual no se presenta en las secciones de playa (7-9), las que corresponden a las secciones de playa levantadas sobre la barra arenosa, en donde se presenta erosión, manifestada por un retroceso de la línea de la cota cero.

A partir del mes de julio se puede observar que la playa sufre un retroceso en las secciones (5-9), debida a la ocurrencia de tormentas en esta época del año, teniendo como resultado un aumento en la velocidad del viento, así como en la altura de la ola, lo cual se pudo apreciar durante la campaña realizada en ese mes y corroborar con observaciones del (OWS); para las secciones (3-4 y 4-5), las que corresponden a las secciones adyacentes al acceso a la laguna, lado oriente; la tendencia es depositacional (Figura 16).

En lo que respecta al patrón del transporte litoral y en base a los resultados obtenidos del análisis estadístico del sedimento, se obtuvo lo siguiente:

El tamaño promedio de grano encontrado para el mes de enero fue de $[1.53] \Phi$ para la barra de la playa (B) y $[1.57] \Phi$ para la cara de la playa (C); en lo que respecta al mes de abril, éste correspondió a $[1.45] \Phi$ y $[1.48] \Phi$ para (B) y (C) de la playa respectivamente; de igual forma para el mes de julio el resultado fue de $[1.40] \Phi$ y $[1.59] \Phi$ correspondiendo a (B) y (C) de la playa respectivamente (Tabla IX). Los resultados anteriores se encuentran dentro de los límites de clase para arenas de la escala de Wentworth, correspondiendo a arenas medias.

El análisis de la variación de los parámetros estadísticos para la zona costera de la Bahía de Chacahua, indica que para el mes de enero existe un transporte predominante Oeste-Este (O-E) estaciones 2-6 (B) y estaciones 1-7 y 8-9 (C) (Figura 17 a,b), con presencia de un transporte en sentido opuesto al anterior de menor magnitud, lo cual se puede apreciar en las estaciones 1-2 y 6-9 (B) y 7-8 (C), dominando el transporte en sentido (O-E) (Figura 20).

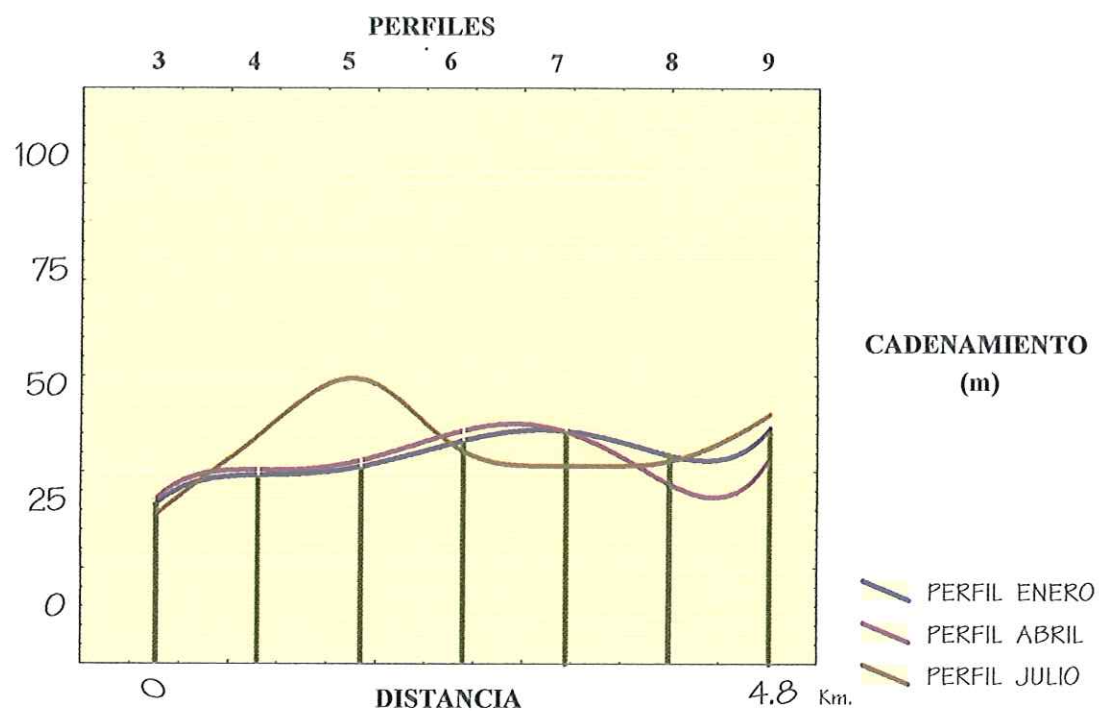


FIGURA 16. GRÁFICA COMPARATIVA DE LOS CAMBIOS PRESENTES EN LA LÍNEA DE COSTA DE LA BAHÍA DE CHACANVA, EN BASE A LA COTA CERO DE LOS PERFILES 3-9 PARA LOS MESES DE ENERO, ABRIL Y JULIO.

Tabla IX. Cuadro comparativo de los tamaños de sedimento para las zonas estudiadas.

PERIODO	MUESTRA	d_{50} (mm)
ENERO	CH B	0.3463
	CH C	0.3368
ABRIL	CH B	0.3660
	CH C	0.3585
	CH R	0.1934
	PA R	0.1166
JULIO	CH B	0.3789
	CH C	0.3322

CH = CHACAHUA.

PA = PASTORIA.

B = BARRA DE LA PLAYA.

C = CARA DE LA PLAYA.

R = ROMPIENTE.

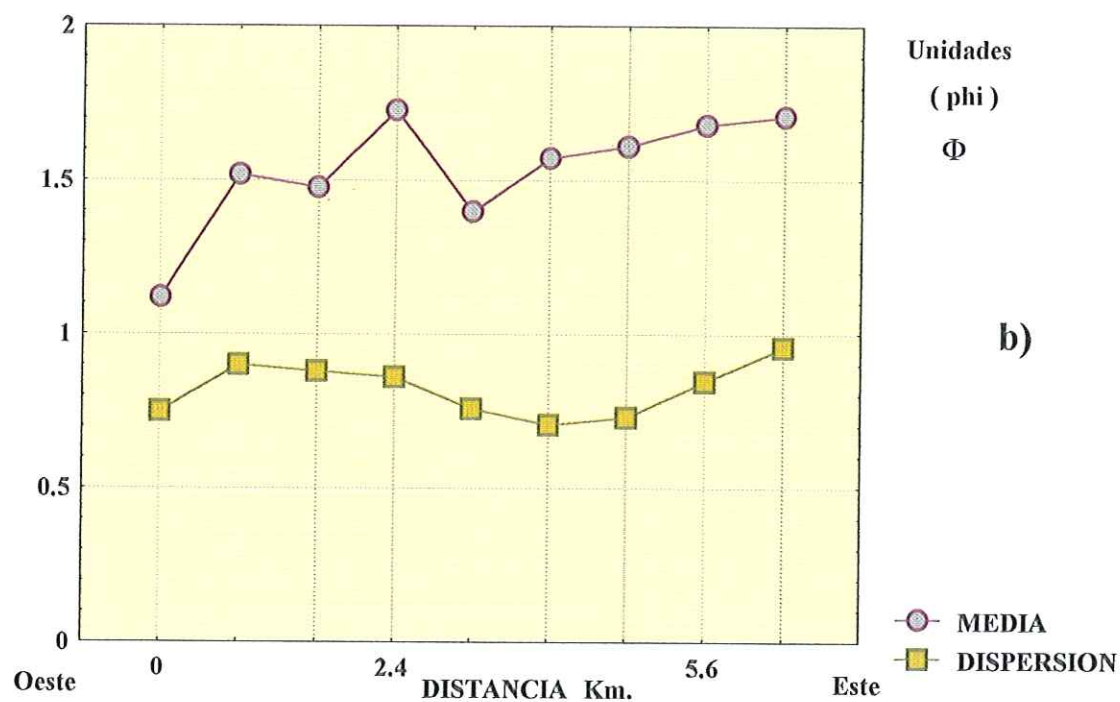
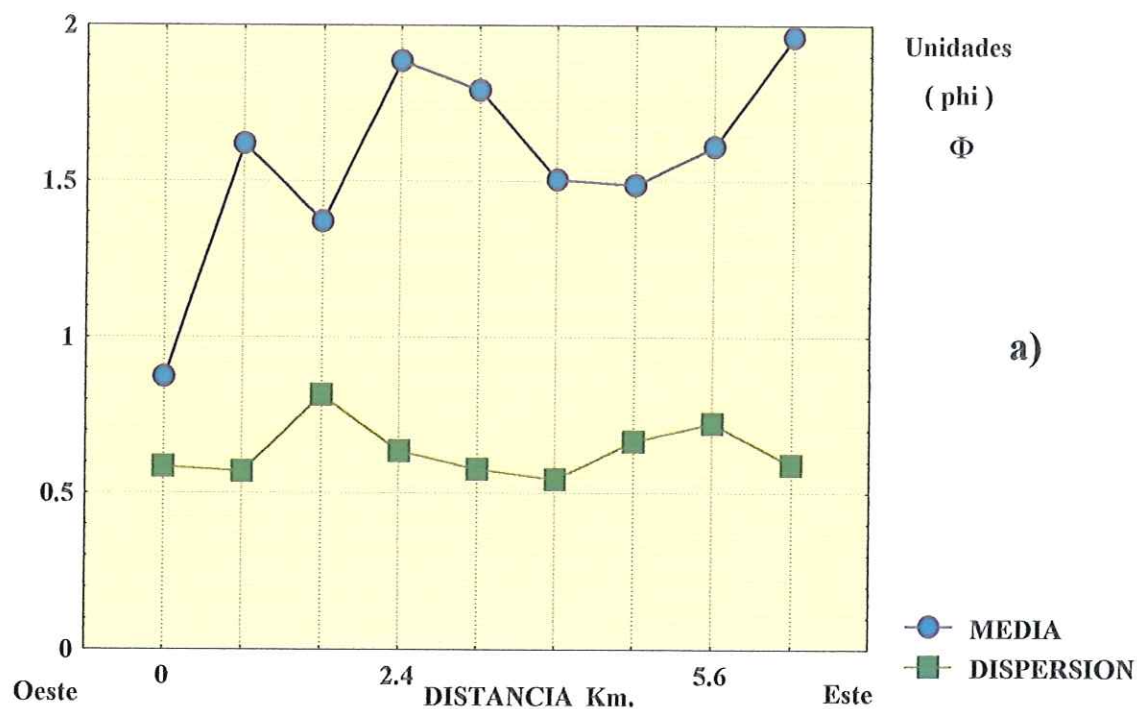


FIGURA-17 GRÁFICAS DE MEDIA Y DISPERSIÓN VS. DISTANCIA, PARA LAS MUESTRAS LOCALIZADAS EN:
A) CARA DE LA PLAYA B) BARRA DE LA PLAYA. CORRESPONDIENTES AL MES DE ENERO.

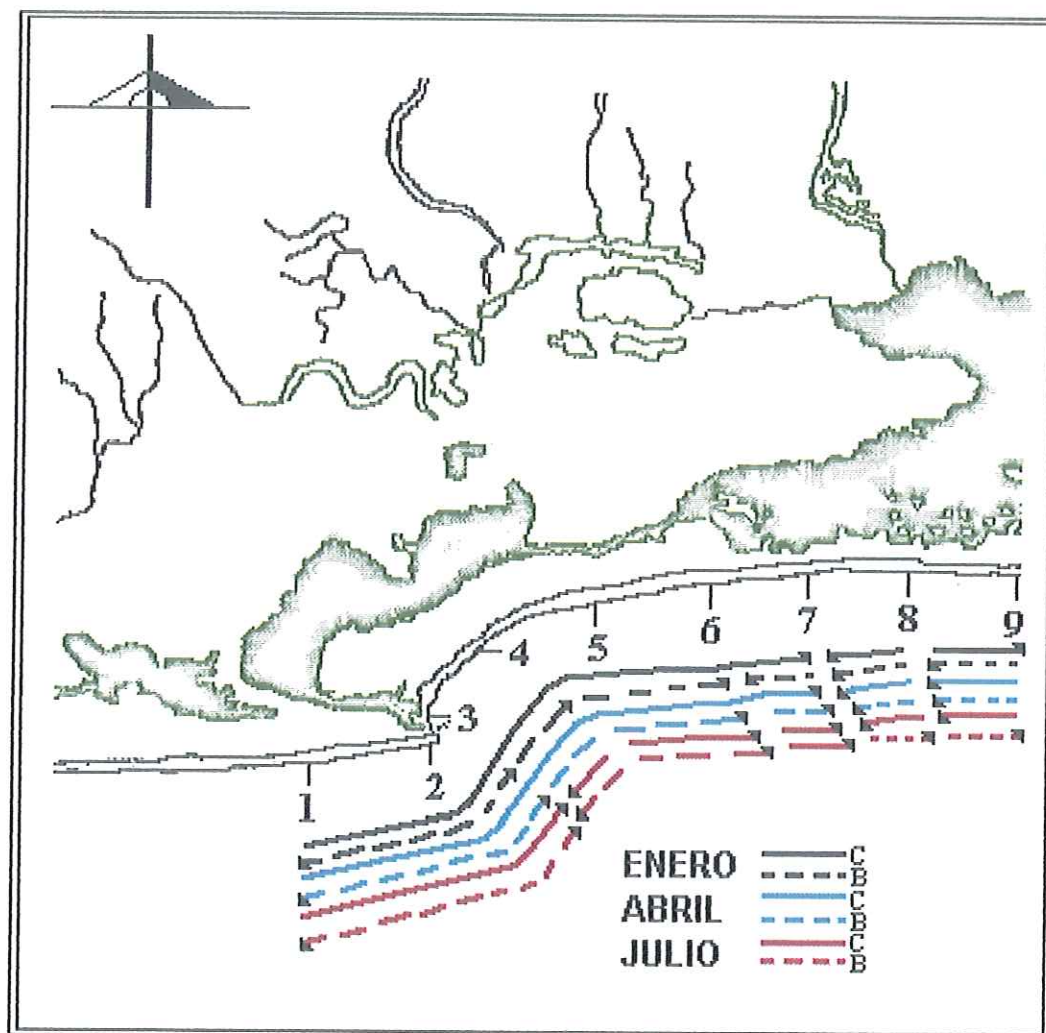


FIGURA. 20 RESUMEN DEL TRANSPORTE LITORAL INFERIDO DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PARA LOS MESES ESTUDIADOS, EN LOS PERFILES 1-9 CORRESPONDIENDO C) CARA DE LA PLAYA B) DORRA DE LA PLAYA.

Respecto al mes de abril, el transporte predominante se presenta (O-E) estaciones 2-7 (B) y 1-7 (C), con la presencia de un sentido en dirección opuesta 1-2 y 7-9 (B) y 7-9 (C) (Figura 18 a,b).

Para el mes de julio, el transporte dominante es (O-E) estaciones 2-3 y 5-9 (B), pero a diferencia de los meses anteriores se presenta una conjunción marcada tanto en (B) como en (C) debida a la incidencia del oleaje en esa época, estaciones 3-5 y 1-2 (B) y 3-4 (C) y 7-8 (C) (Figura 19 a,b).

Lo anterior es observable como una conjunción en el sentido del transporte sobre la barra arenosa de la bahía y en la boca de la Laguna de Chacahua, probablemente generada por un cambio en el ángulo de incidencia del oleaje, provocado por efecto de la refracción, lo cual produce una componente en el sentido Este-Oeste, mayormente marcado en el mes de julio en donde se tiene que las observaciones del (OWS) denotan para esta época una $H^{1/3} = 2.46$ m y $T^{1/3} = 10$ seg., los cuales son los registros más altos para el régimen estacional del oleaje.

Las direcciones del movimiento del sedimento determinadas en este estudio son corroboradas con análisis de fotografías aéreas, utilizando para su interpretación algunos criterios geomorfológicos tales como: la dirección del crecimiento de la barra en la Bahía de Chacahua (cordones litorales), la dirección de deflexión de las corrientes litorales (Corrientes de retorno) y la aproximación del oleaje hacia la costa, lo anterior observado en fotografías aéreas de diferentes años; así como observaciones de campo, las que incluyeron la utilización de los espigones como indicadores de las condiciones de transporte presentes en la zona, observaciones de la dirección del surfing (Galvin, 1994) y el levantamiento topográfico del área azolvada de la boca de la laguna (Figura 21), así como observaciones de las variaciones de los perfiles levantados, los cuales se muestran en la (Figura 22), (Figura 23) y (Figura 24).

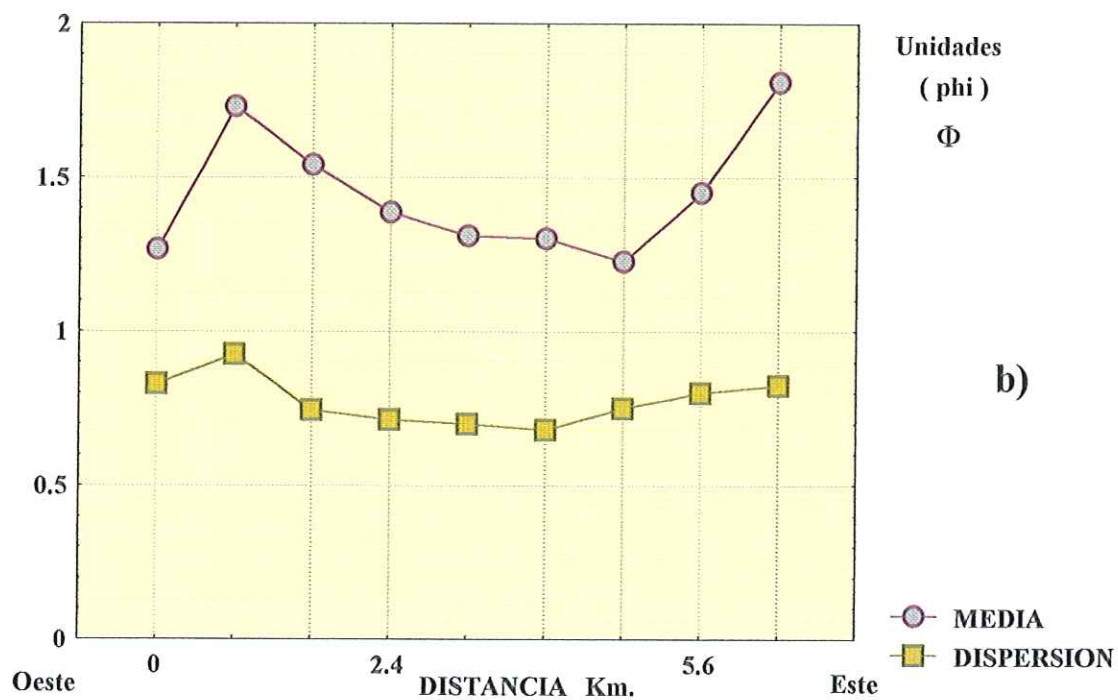
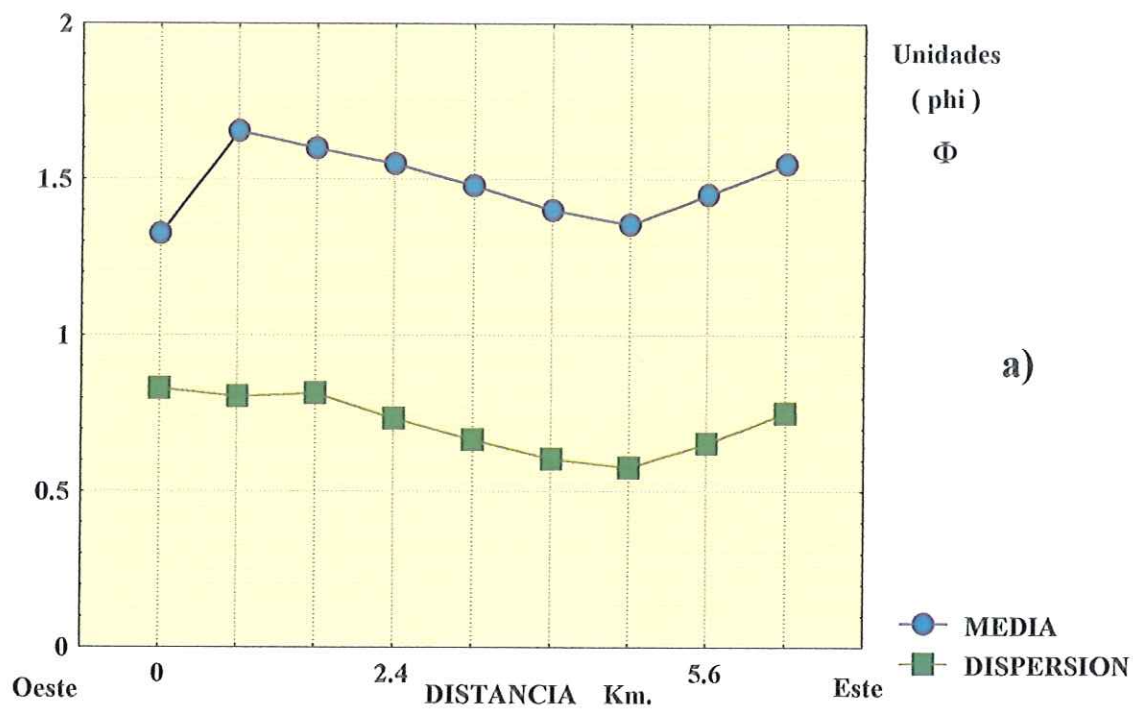


FIGURA. 18 GRÁFICAS DE MEDIA Y DISPERSIÓN VS. DISTANCIA, PARA LAS MUESTRAS LOCALIZADAS EN:
A) CARA DE LA PLAYA B) BARRA DE LA PLAYA. CORRESPONDIENTES AL MES DE ABRIL

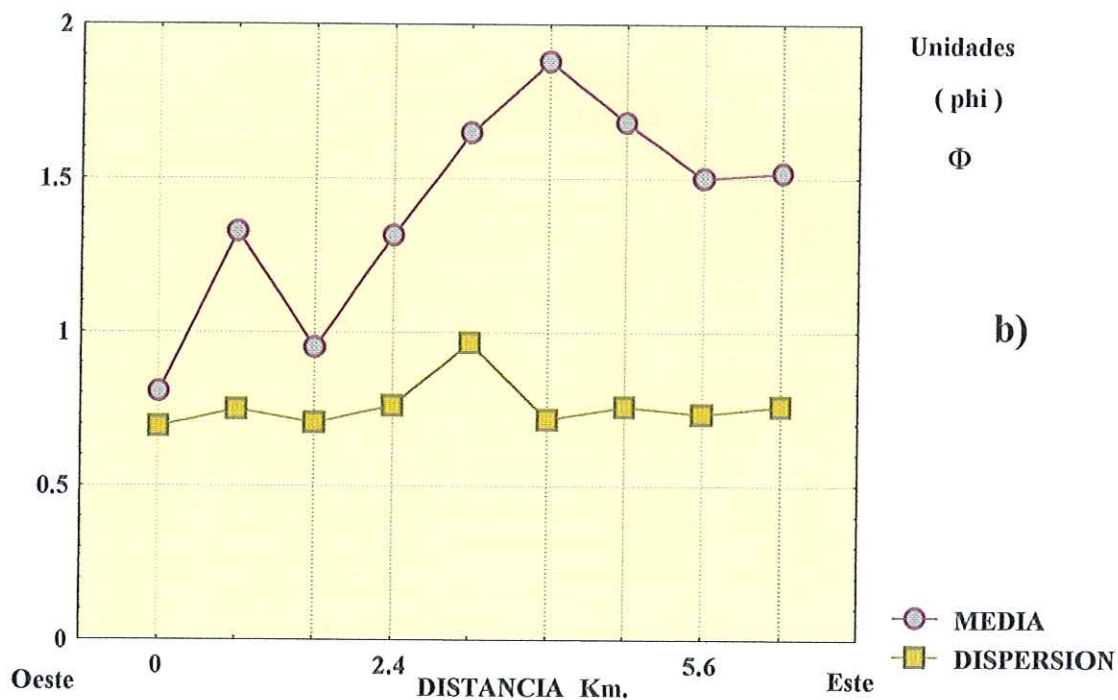
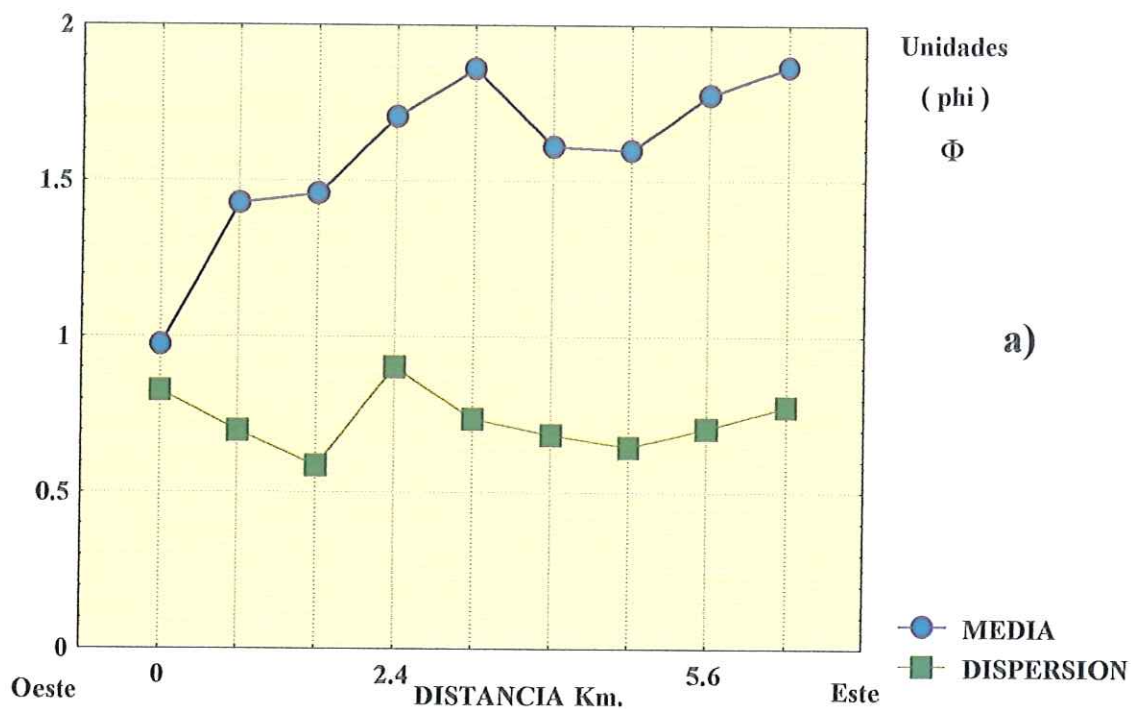


FIGURA. 19 GRÁFICAS DE MEDIA Y DISPERSIÓN VS. DISTANCIA, PARA LAS MUESTRAS LOCALIZADAS EN:
A) CARA DE LA PLAYA B) BARRA DE LA PLAYA. CORRESPONDIENTES AL MES DE JULIO.

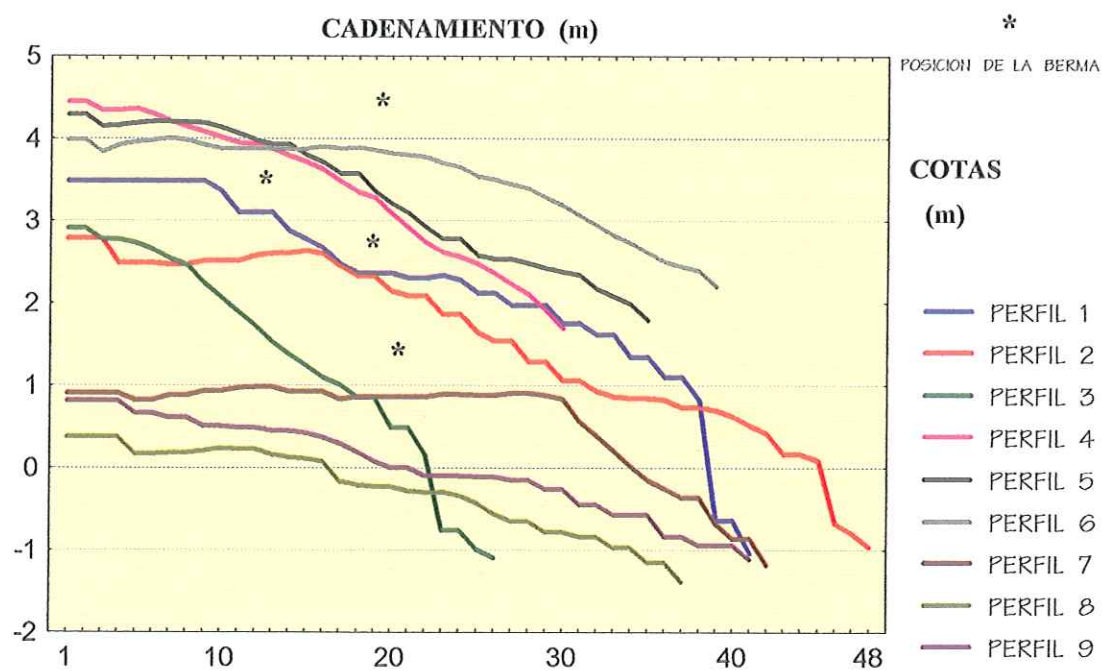


FIGURA-22 GRÁFICA DE PERFILES TOPOGRÁFICOS CORRESPONDIENTES AL MES DE ENERO INDICANDO EL CAMBIO DE POSICIÓN DE LA BERMA.

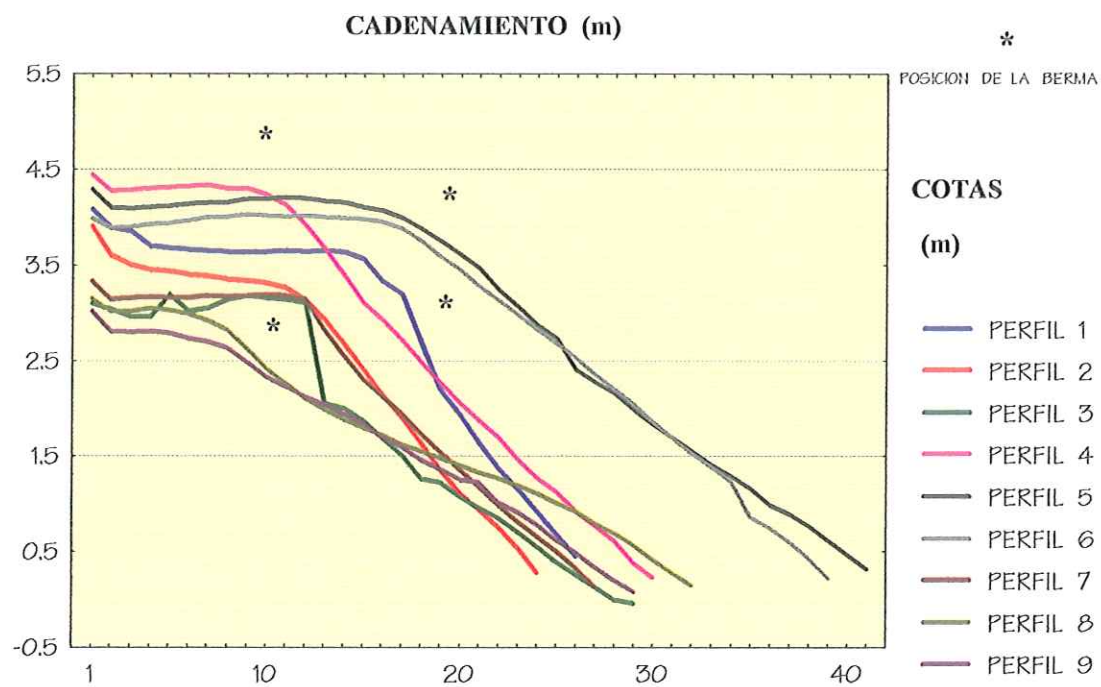


FIGURA-23 GRÁFICA DE PERFILES TOPOGRÁFICOS CORRESPONDIENTES AL MES DE ABRIL INDICANDO EL CAMBIO DE POSICIÓN DE LA BERMA.

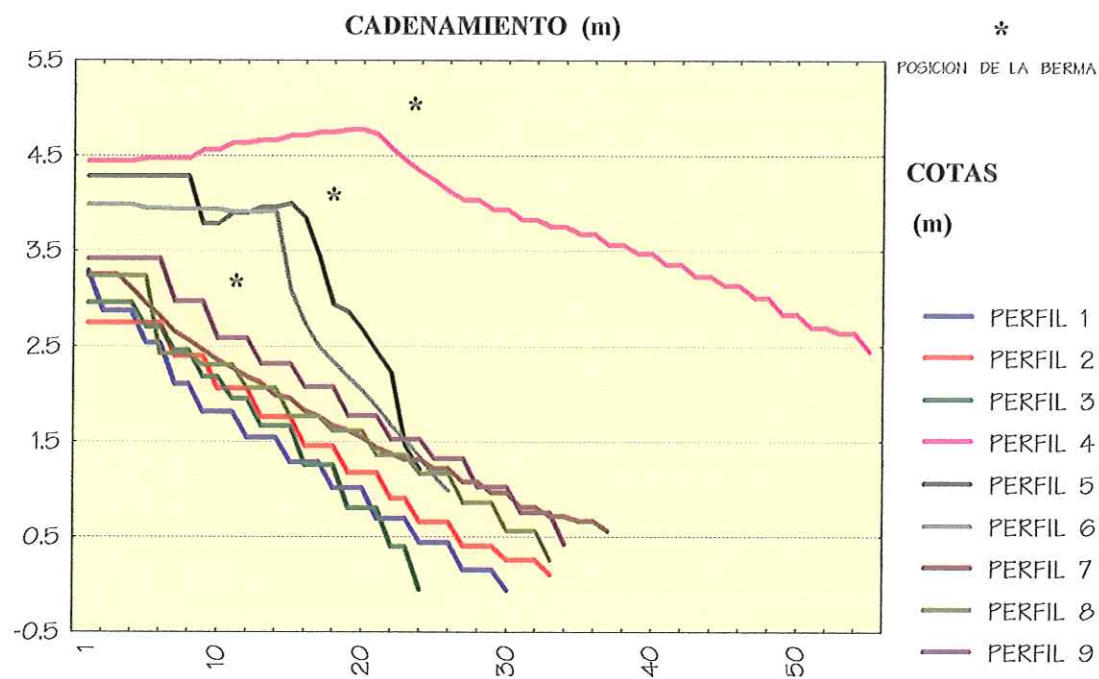


FIGURA 24 GRÁFICA DE PERFILES TOPOGRÁFICOS CORRESPONDIENTES AL MES DE JULIO INDICANDO EL CAMBIO DE POSICIÓN DE LA BERMA.

Los perfiles levantados sobre la porción de la Playa San Juan y los correspondientes a la Bahía de Chacahua, corresponden a perfiles de playas que exhiben en sus partes bajas un perfil cóncavo y en sus partes altas un perfil convexo, lo anterior se puede observar en la (Figura 22), donde para el mes de enero se puede apreciar una berma presente en todos los perfiles, en algunos más marcada que en otros, denotando un perfil convexo, por el contrario al sucederse el cambio de la pendiente hacia la base del perfil, la tendencia es a formar una barra arenosa antecedida por una concavidad; para el mes de abril, la presencia de la berma se hace patente (Figura 23), en lo que respecta al mes de julio, se observa que para todos los perfiles corresponde una forma cóncava en la base, la cual tiende a ser convexa hacia la cara de la playa, lo anterior puede ser explicado de acuerdo con Ottman (en Carranza-Edwards *et al.*, 1988), donde se menciona que este tipo de playas con perfiles cóncavo-convexo, son playas que se encuentran en crecimiento.

Lo anterior es explicable dada la proximidad de las playas estudiadas al sitio de descarga, el cual corresponde al Río Verde.

ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Como resultado del análisis de contenido de los diferentes temas desarrollados en el presente trabajo, así como de las aportaciones de los lugareños de la Laguna de Chacahua, se derivan las siguientes alternativas de solución:



CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE PROTECCION COSTERA.

El aporte de sedimentos por ambos lados de la boca en esta zona hacen necesaria, por una parte, la conclusión del espigón del lado oriente de la bocabarra, la implementación de una escollera de tablaestaca y la construcción de un espigón aprovechando las salientes rocosas presentes en la zona conocida como Punta Galera.

Al considerar que la región de Punta Galera es la más adecuada para la posición del espigón (Figura 24), el material a utilizar en la obra propuesta, podría contemplar el uso de material rocoso de la localidad para la colocación del núcleo, utilizando el enrocamiento natural y rellenando los espacios presentes entre éstos. Con el objeto de proteger el espigón contra la socavación de la zona donde se apoya la obra, se recomienda emplear una capa protectora de la cimentación, la cual dependiendo del tamaño de los elementos de las capas secundaria y de coraza podrá ser de material sintético suficientemente resistente o de grava y se extenderá al menos 1.5 m hacia afuera del pie de la estructura, denominándose a esto delantal.

Con respecto a este último objetivo y con base en los resultados obtenidos del transporte litoral (Tabla X), así como de los datos reportados por (OWS) y empleando el criterio sugerido por CERC (1984), el que se basa en la teoría de oleaje de pequeña amplitud y se aplica a arenas de cuarzo en agua de mar, se

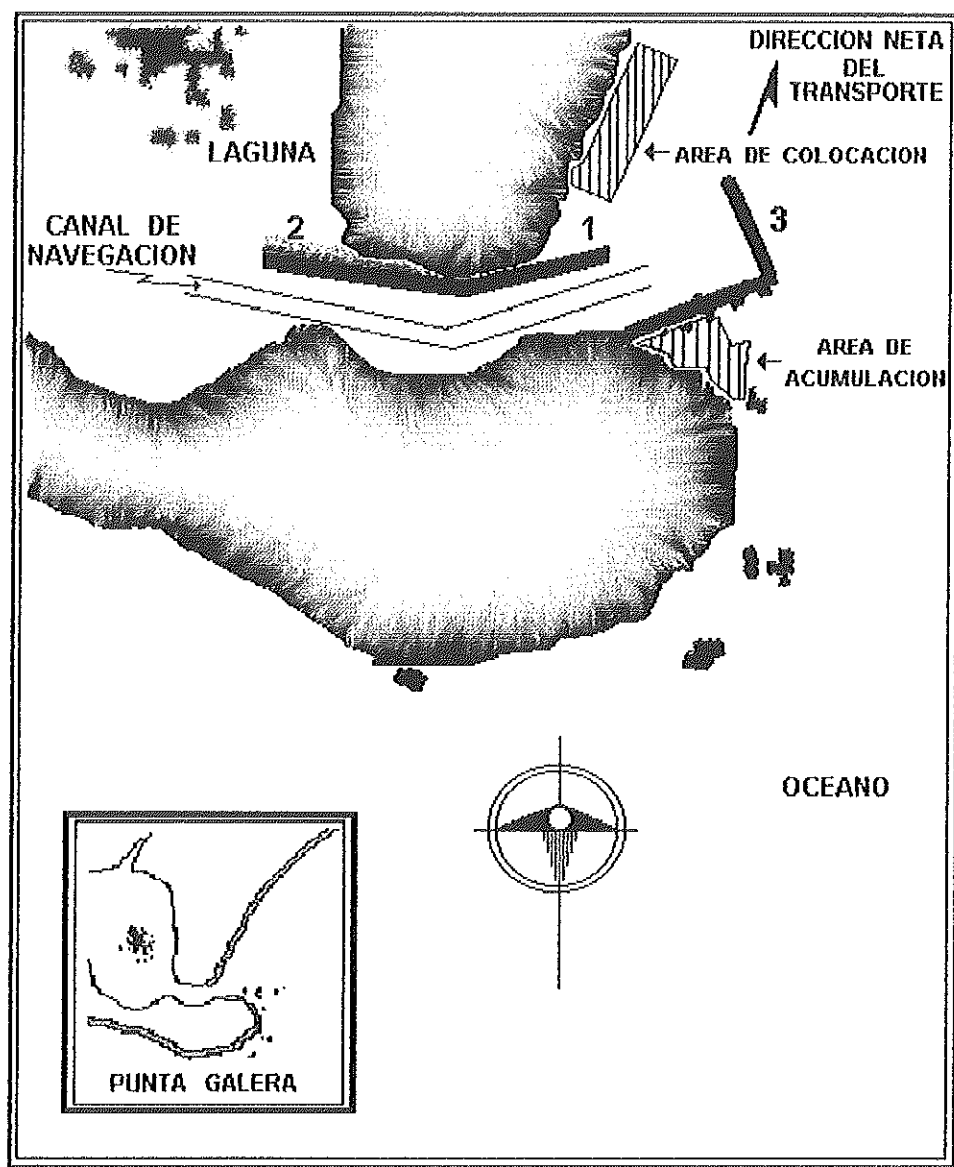


FIGURA 25.- OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA PROPUESTAS:

- 1 ESPIGÓN DE BOLSACRETO CONCLUIDO.
- 2 AREA PARA INTRODUCCIÓN DEL MANGLE Y ESCOLLERA DE TABLAESTACA CONECTADA AL ESPIGÓN.
- 3 ESPIGÓN ADYACENTE A PUNTA GALERA.

Tabla X. Cuadro comparativo de los promedios del tamaño de sedimento para las zonas estudiadas.

PERIODO	PROMEDIOS	d ₅₀ (mm)
ENERO	CH	0.3415
ABRIL	CH	0.3635
	CH *	0.1934
	CH Y PA *	0.1539
	PROM *	0.1719
JULIO	CH	0.3560

CH = CHACAHUA.

* Ledesma-Vazquez et al., 1993

PA = PASTORIA.

PROM= PROMEDIO DE LA CAMPAÑA

sugiere que la estructura propuesta tenga una extensión que se prolonge como mínimo hasta la línea batimétrica de los 11.6 m, ya que a esta profundidad se asegura que la ola con altura y período significativo de primavera no afectará el tamaño promedio de las partículas, propiciando con esto que el sedimento transportado se deposite al no ser suficiente la energía de la ola como para seguir transportando el material a esa profundidad y por ende no permitiendo que el sedimento continúe su curso y se desplace hacia el interior de la laguna; es conveniente señalar que la longitud propuesta deberá tomarse como una primera etapa con opción a ser única. Será sólo primera si, de acuerdo con los resultados observados en modelo reducido y posteriormente en la naturaleza, se ve la necesidad de prolongar más la estructura. En caso contrario, la longitud dada será definitiva.

En la colocación de las capas secundaria y de coraza, se recomienda la utilización de elementos tales como bloques cúbicos precolados de mortero cemento-arena de playa para la capa secundaria y para la coraza, se recomienda el uso de tetrapodos.

Los cubos de mortero de cemento-arena de playa representan amplia ventaja económica, cuando los bancos de enrocamiento se encuentran muy alejados de la obra, o las vías de acceso son insuficientes. Mayor es su ventaja cuando la obra a construir es de bajas dimensiones, como en este caso, porque no hay necesidad de utilizar grandes máquinas para la colocación, ni todos los recursos que son indispensables para la explotación de una cantera, ni construir el camino de acceso para llevar los materiales desde el banco al lugar de la obra.

El proyecto deberá indicar el peso de los elementos que serán utilizados al construir la obra y la elección de los mismos se basará en el análisis económico de las posibles alternativas.

Si los taludes del material rocoso sobre el núcleo no cumplen con la pendiente que marca el proyecto, se tendrá que agregar piedra, por medio de grúa equipada con charola o bote.

Para evitar que la acción del oleaje remueva el material de los taludes o corona del núcleo al terminar un cierto tramo de éste, se procederá de inmediato a cubrirlo con los elementos de la capa secundaria, de tal manera que la cubierta de elementos de la capa secundaria impida el desalojo del material del tramo de núcleo en cuestión; si la construcción se está realizando con cierto grado de agitación del mar, deberá procederse a recubrir de inmediato la capa secundaria con la primera capa de elementos de la coraza.

Al suspender las actividades de construcción de cada día, se recomienda no dejar al núcleo sin la protección de la capa secundaria.

Puesto que existen factores naturales tales como la acción del oleaje y la precipitación, que pudieran presentar algún tipo de problema, se recomienda que las obras a realizar se ajusten, en la medida de lo posible, al período comprendido entre los meses de noviembre - marzo, debido a que en este período se presentan las condiciones idóneas para realizar las maniobras correspondientes a la construcción del espigón, por el contrario, entre los meses de mayo - septiembre las condiciones tanto de oleaje, como de precipitaciones son extremas, dificultando por ende las maniobras de construcción, con esta recomendación se pretende reducir al mínimo los problemas que se pudieran presentar por los factores antes mencionados.

En lo que respecta a la parte oriental del acceso a la laguna, y dadas las condiciones sedimentológicas de transporte litoral, se recomienda la ampliación del espigón de bolsacreto, de preferencia, a una extensión que se prolonge hasta la línea batimétrica que coincida con el nivel del fondo del canal de navegación.

Por otra parte se propone la construcción de una línea de escollera, con el objeto de propiciar el intercambio de aguas entre la laguna y el mar, el material a utilizar en la obra propuesta (Figura 24), podría contemplar el uso de las estructuras conocidas como escolleras de flablaestaca.

Para la estructura propuesta, se sugiere utilizar tecnología adecuada y acorde a la zona, aprovechando los recursos materiales disponibles localmente.

La estructura que se propone està formada por dos lineas de tablaestaca de madera usando viguetas de troncos de palmera como guías y reforzadas mediante amarres; estos troncos de palmera se sugieren debido a la resistencia y durabilidad del material, esta última aseveración queda limitada a lo que el autor tuvo ocasión de observar, ya que dicho material es de uso común y frecuente entre los lugareños de la región para múltiples y variados usos, dandoles excelentes resultados; en lo que respecta al interior de la estructura, se colocará un relleno de arena y en la parte superior una losa de coronamiento.

En relación a la ubicación y dado que con la obra se pretende mantener abierta la boca de la laguna, se sugiere que la estructura quede trazada convergiendo de tierra y se conecte con el espigón (Figura 24), se recomienda que la separación en el arranque sea igual a 2 o 3 veces el ancho del canal de comunicación. Esta geometría permite que parte de la arena que entre frente a las escolleras se deposite entre ellas, sin entrar hasta el interior de la laguna.

El proyecto de la obra deberá indicar el nivel del fondo del canal de navegación, así como el ancho del canal de comunicación.

La propuesta de la estructura de tablaestaca, además de ofrecer una alternativa hidráulica para mantener abierta la boca de la laguna, presenta las ventajas de disponibilidad de los recursos locales con el menor costo ecológico, con la consiguiente ventaja de no alterar de manera significativa el valor estético de la zona.



APLICACION DE METODOS EN BIOINGENIERIA.

De acuerdo con Allen (1993), la bioingeniería es donde se usa la vegetación en combinación con varios materiales de construcción de bajo costo, los cuales ofrecen una alternativa para prevenir la erosión, con un menor costo que los métodos tradicionales de protección costera.

En los últimos 20 años, el auge de la agricultura en terrenos ejidales al norte del Parque Nacional Lagunas de Chacahua, ha causado un gran impacto sobre el ecosistema de manglar, lo anterior se presenta como consecuencia del desvío hacia las zonas de cultivo mediante sistemas de riego, propiciando que el aporte natural del Río Verde hacia las lagunas se vea disminuido.

El ecosistema de manglar no solo ofrece hábitats propicios para muchas especies, sino que también protegen el litoral del impacto del oleaje y controlan la erosión estabilizando el suelo; además, los manglares aportan nutrientes y material orgánico de vital importancia para la productividad primaria y secundaria en las aguas costeras.

La propuesta que se dará a continuación está basada en la aplicación de métodos en bioingeniería, los que incluyen la introducción de mangle del género *Rhizophora mangle* en los márgenes del canal de acceso a la Laguna de Chacahua en combinación con materiales de tablaestaca propuestos anteriormente, con la consecuente prevención de la erosión y ofreciendo una alternativa para la estabilización de bocas de marea en lagunas costeras con menores costos ecológicos que los métodos tradicionales de protección costera y el mayor beneficio posible.

Dicha propuesta tiene por objeto el desarrollar con prioridad la investigación científica y la demostración de nuevas tecnologías de aprovechamiento sostenible

dentro de un marco de orden ecológico y acorde a las realidades económicas de nuestro país.

Asimismo, resulta conveniente señalar que justamente a través de las acciones de desarrollo que al respecto se tomen representará un ejemplo metodológico en el país y un punto de partida para desarrollar estrategias en el planteamiento del uso sostenible de estos recursos.

En relación a la ubicación y dado que con la introducción de mangle se pretende por medio de la estabilización del suelo mantener abierta la boca de la laguna controlando la erosión, se sugiere que la introducción de la especie sea por trasplante de ejemplares de pequeña talla (1 m) a ambos costados del canal de acceso hacia la Laguna de Chacahua (Figura 24).

Lo anterior se realizará posterior a un análisis de estabilidad del canal de acceso para determinar el ancho del mismo y así poder tener una referencia

La sucesión natural de las especies de mangle se verá controlada dadas las características del suelo; al respecto Horna (en UNESCO, 1980) menciona que en suelos rocosos (sedimentarios) el género *Rhizophora mangle* es la única especie cuyas semillas (hipocotilos) tienen capacidad de germinar y desarrollar una nueva planta, a pesar de que su crecimiento es limitado y ralo. No así en suelos de característica arenosa en que su sistema radicular, foliar, etc. aumenta paulatinamente.

Por lo tanto la competencia con las otras especies de mangle se verá disminuida dadas las características del suelo presentes en la zona donde se pretende introducir el género de mangle anteriormente mencionado.

De acuerdo con Thom (en Snedaker, 1983) también existe una estrecha relación entre el proceso de sedimentación natural y la sucesión vegetal. Una alteración del patrón normal de sedimentación puede tener consecuencias apreciables.

Estas alteraciones, como menciona, pueden deberse a procesos geomorfológicos, a cambios en la línea de costa o a procesos de orden hidrológico ocasionado por fluctuaciones del volumen de las aguas de los ríos, por el azolvamiento de bocas y la disminución en el aporte de agua dulce.

También se menciona que los lugares idóneos para el desarrollo de mangles son en áreas cerca de la desembocadura de los ríos y lagunas adyacentes.

La solución propuesta permitirá resolver a la vez que el problema de intercambio de aguas entre la laguna y el mar, con las consiguientes ventajas ecológicas que esto conlleva, la repoblación del ecosistema de mangle.

Cabe señalar que todas aquellas zonas en que por su lejanía a la boca de Chacahua no participaran en el intercambio de agua de laguna con la del mar, podrían utilizarse para la explotación salinera.

Resumiendo, las alternativas propuestas constituyen una base firme para su análisis exhaustivo en modelo hidráulico reducido. De éste se obtendrán las características definitivas de la solución.

CONCLUSIONES

- ⌋ Las alternativas deberán verificarse, en la medida de lo posible, con un modelo numérico y con modelos reducidos de fondo fijo y móvil a fin de comprobar su eficiencia en cuanto al aporte de agua a través de la boca de la Laguna de Chacahua, tomando en consideración: el área de la sección transversal, las variaciones de marea, la batimetría del canal y de la Bahía de Chacahua y la relación longitud del espigón-transporte litoral.
- ⌋ Es necesario obtener información de campo complementaria a la que se tuvo con la campaña de medidas.
- ⌋ Para lograr los fines propuestos en los puntos anteriores se recomienda el siguiente programa de estudios complementarios, algunos de los cuales se sugiere adopten el carácter de sistemáticos.

 - Levantamiento de las secciones longitudinales en la Playa de San Juan y de la Playa de la Bahía de Chacahua, con el fin de complementar y comparar con la topografía obtenida en la campaña de mediciones.
 - Si las condiciones del mar lo permiten, se sondeará un frente de 500 m en la zona correspondiente a la Bahía de Chacahua.
 - Se observarán corrientes superficiales, en la medida de lo posible, una vez por mes, durante un lapso que se recomienda no sea menor de un año, mediante el método Lagrangeano.
 - Se construirá una caseta en la parte elevada al poblado de la Grua, en ella se instalará un mareógrafo, para definir con precisión un nivel de referencia.

- ⌘ La propuesta final deberá surgir del acuerdo mínimo de todos los sectores involucrados.
- ⌘ Esta información podrá fundamentar el establecimiento de consideraciones y proyectos económicamente viables y ecológicamente prudentes.

REFERENCIAS

- Allen, H. H. y Webb J. W. (1993) Erosion control with salt marsh vegetation, Proceedings of the third symposium on coastal and ocean management, American Society of Civil Engineers, San Diego, CA, 735-748.
- Carranza-Edwards, A., Gutiérrez-Estrada M. y Rodríguez-Torres R. (1975) Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. del Centro de Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autòn. Mèxico*, 2 (1): 81 - 88.
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L. y Lozano-Santa Cruz R. (1988) Estudio sedimentològico de playas del Estado de Oaxaca, Mèxico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autòn. Mèxico*, 15 (2): 23 - 38.
- Carver, R.E. (1971) Heavy Mineral Separation *En*: Carver, R.E. (Ed). Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley - Interscience, New York, pp 427 - 452.
- Comisión Nacional del Agua, Mèxico. (1990) Datos Hidromètricos de Mèxico 1937 - 1985. 1ª Ed; Diciembre 1990. Subdirección General de Administración del Agua. Base de datos en Disco Compacto (**CD_** **HIDRO Ver. 1.0**)

- Contreras, F. (1985) Las Lagunas Costeras Mexicanas. 1ª Ed; Centro de Ecodesarrollo, México, D.F., 253 pp.
- De La Lanza-Espino, G. y Cáceres-Martínez, C. (1994) Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano 1ª Ed; U.A.B.C.S., 525 pp.
- FitzPatrick (1985) Suelos: Su Formación, Clasificación y Distribución 2ª Ed; Edit. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México, D.F., 430 pp.
- Folk, R.L., y Ward, W.C. (1957) Brazos River Bar: A study on the significance of grain - size parameter, *J. Sediment. Petrol.*, 27 (1): 3 - 26.
- Frias-Valdéz, A. y Moreno-Cervantes G. (1988) Ingeniería de Costas 2ª Ed; Edit. Limusa, S.A. de C.V. México, D.F., 339 pp.
- Galvin, C. (1994) Surfing direction as a field indicator of longshore transport direction. *Shore & Beach*, Oct. 1994 pp 25-26.
- García, E. (1970) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 1ª Ed; Univ. Nal. Autónoma. México, 252 pp.
- Gobierno del Estado de Oaxaca, México. (1988) Centro Estatal de Estudios Municipales de Oaxaca 1ª Ed; México : Secretaría de Gobernación.

Hogben, N. y Lumb, F.E. (1967) Ocean Wave Statistics. A Statistical Survey of Wave Characteristics Estimated Visually from Voluntary Observing Ships Sailing Along the Shipping Routes of the World. Ministry of Technology. National Physical Laboratory. London: Her Majesty's Stationery Office 1967. Crown ©1967, 263 pp.

Horna-Zapata, R. H. (1980) Relación suelo y mangle (*Rhizophora mangle*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia nitida*.) en Estudio científico e impacto humano en el ecosistema de manglares. Memorias del seminario organizado por UNESCO, con el auspicio del Gobierno de Colombia. © UNESCO 1980.

I.N.E.G.I. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (1991) Datos Básicos de la Geografía de México. I.N.E.G.I. Aguascalientes, Ags., 142 pp.

I.N.E.G.I. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (1979-1988) Fotografías Aéreas Escala 1: 79,000 y 1: 80,000

I.N.E.G.I. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (1991)

Instituto de Geofísica. (1992) Tablas de Predicción de Mareas. Puertos del Océano Pacífico. Univ. Nal. Autòn. México, Servicio Mareográfico Nacional, 415 pp.

Komar, P.D. y Inman, D.L. (1970) Longshore sand transport on beaches. *J. Geophys. Res.*, 75 (30): 5914 - 5927.

- Krumbein, W.C. (1934) Size frequency distributions of sediments. *J. Petrol.* 4: 65 -77.
- Labeyrie, J. (1986) El Hombre y el Clima: Excelente síntesis entre la indagación del pasado por los métodos más avanzados y los descubrimientos científicos más actuales. 1ª Ed; Edit. GEDISA, S.A., Barcelona, España, 245 pp.
- Lankford, R.R. (1977) Coastal Lagoons of Mexico: Their Origin and Classification. In: Wiley, M. (Ed.). Estuarine Processes, Circulation, Sediment and Transfer of Materials in the estuary. *Academic Press Inc.* New York, 2: 182 - 215.
- Ledesma-Vazquez, J., Castro-Valdéz, R., Torres-Moye, G. y Ortega-del Valle, D. (1992) Diagnósis del Transporte Sedimentario para Tres Lagunas Costeras en el Estado de Oaxaca. Memorias del IX Congreso Nacional de Oceanografía. Noviembre, 1992 Veracruz, Ver., 246 pp.
- Ledesma-Vazquez, J., Castro-Valdéz, R., Torres-Moye, G. y Ortega-del Valle, D. (1993) Diagnósis ambiental lagunar, Reporte técnico inédito.
- López - Ramos, E. (1981) Paleogeografía y tectónica del Mesozoico en México. *Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geol. Rev.*, 5 (2): 158-177.
- López - Ramos, E. (1983) Geología de México 3ª Ed; Secretaría de Educación Pública. 453 pp.

- Montaño - Ley , Y., y Peraza - Vizcarra, R. (1986) Aplicación de un modelo de tipo predictivo para cuantificar el transporte litoral de arenas en dos playas de la costa sur de Sinaloa. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autòn. Mèxico*, 13 (1) : 305 - 314.
- Ortega-Gutierrez, F. (1978) Estratigrafia del Complejo Acatlàn en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca. *Univ. Nal. Autòn. Mèxico. Inst. Geol. Rev.*, 2 (2) : 112-131.
- - - (1981 a) Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance. *Geof. Int.* 20 (3) : 177-202.
- - - (1981 b) La evolució tectònica premisisipica del sur de Mèxico. *Univ. Nal. Autòn. Mèxico. Inst. Geol. Rev.*, 5 (2) : 140-157.
- Royse, C. (1970) An introduction to sediment analysis. *Arizona State University Publications*. (7): 102 - 180.
- Secretaría de Marina, Mèxico. (1974) Estudio Geogràfico de la Región de Salina Cruz, Oaxaca. 1ª Ed; MARINA / Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. Mèxico, D.F. 347 pp.
- Secretaría de Pesca, Mèxico. (1990) Bases para el Ordenamiento Costero-Pesquero de Oaxaca y Chiapas (Aspectos Generales) Instituto Nacional de la Pesca, Dirección General de Acuacultura. Mèxico D.F. SEPESCA.

- Secretaría de Programación y Presupuesto. DETENAL, México. (1979)
 Atlas de Huracanes: En el Océano Pacífico y en el Océano
 Atlántico: Coordinación General del Sistema Nacional de Información.
 49 pp.
- Servicio Meteorológico Nacional, México. (1979) Normales climatológicas 1941-
 1971 1ª Ed; SAG/ Dirección General de Geografía y Meteorología.
- Shepard, F.P. (1973) Submarine Geology 3ª Ed; Harper and Row. New York.
- Sunamura, T. y Horikawa, K. (1971) Predominant direction of littoral transport
 along Kuju-kuri Beach, Japan. *Coastal Engineering in Japan*, (14)
 : 107 - 117.
- Tamayo, J. L., 1950 Geografía de Oaxaca, 1ª Ed; Comisión
 Editora de *el Nacional*. Oaxaca, Oaxaca. 133 pp.
- Thom, B. G., 1983 Coastal Landforms and geomorphic processes. *En*: Snedaker,
 S.C. y Snedaker, J.G. (Ed.). The Mangrove ecosystem: research methods.
 4 -17
- Tibon, G., 1961, Pinotepa Nacional Mixtecos, Negros y Triques. 1ª Ed. *Univ.*
Nal. Autónoma de México, México, D.F. 275 pp.

Torres-Moye, G., Ledesma-Vázquez, J., Castro-Valdéz, R. y Ortega-del Valle D.
(1993) Tidal inlet closure effects on three mexican coastal lagoons.
En: Ferman-Almada J. L., Gómez-Morín Fuentes, L. y Fischer, D.W.
(Ed.). Coastal Management in Mexico: The Baja California
Experience. *American Society of Civil Engineers.* 156 - 164

APENDICE

Bajo la acción del oleaje, los sedimentos están sometidos a diferentes fuerzas: unas provienen directamente del movimiento orbital de las partículas de agua en las cercanías del fondo, otras de las corrientes en la capa límite y de las corrientes de compensación.

Cerca de la costa el oleaje produce una corriente paralela a la costa (Longshore current) debido a su incidencia oblicua. Adicionalmente, en la parte superior de las playas, al precipitarse sobre éstas el oleaje, se producen desplazamientos de los sedimentos en "diente de sierra" que llegan a ser de gran importancia (Frias-Valdéz *et al.*, 1988).

Con el objeto de conocer el umbral de la velocidad de flujo para la iniciación del movimiento del sedimento se hará uso de la fórmula propuesta por CERC (1984) la cual es :

$$U_{\max}(-d) = [8(\gamma_s/\gamma - 1)gd_{50}]^{1/2} \quad \text{Ec. [1.0]}$$

Donde:

$U_{\max}(-d)$ = Velocidad máxima del sedimento en el fondo

γ_s = Gravedad específica del sólido (Cuarzo 2.65)

γ = Gravedad específica del fluido (Agua de mar 1.026)

g = Aceleración de la gravedad (9.81)

d_{50} = Diámetro medio del sedimento

De la Ec. [1.0] para los diferentes diámetros medios del sedimento (Tabla X) de cuarzo, en agua de mar y teoría de pequeña amplitud del oleaje se tiene:

$$U_{\max}(-d) \mathbf{1} = 0.1382 \text{ m}^{\text{s}^{-1}}$$

$$U_{\max}(-d) \mathbf{2} = 0.1549 \text{ m}^{\text{s}^{-1}}$$

$$U_{\max}(-d) \mathbf{3} = 0.0466 \text{ m}^{\text{s}^{-1}}$$

$$U_{\max}(-d) \mathbf{4} = 0.0657 \text{ m}^{\text{s}^{-1}}$$

$$U_{\max}(-d) \mathbf{5} = 0.0678 \text{ m}^{\text{s}^{-1}}$$

$$U_{\max}(-d) \mathbf{6} = 0.0671 \text{ m}^{\text{s}^{-1}}$$

Para la obtención de la altura mínima de la ola que moverá los diferentes tamaños de sedimento, se hace uso de la ecuación (CERC, 1984):

$$\frac{U_{\max}(-d)T}{H} = \frac{\pi}{\sinh(\frac{2\pi d}{L})} \quad \text{Ec. [2.0]}$$

Utilizando el miembro izquierdo de la igualdad:

$$\frac{U_{\max}(-d)T}{H} \quad \text{Ec. [2.1]}$$

Donde:

$U_{\max}(-d)$ = Velocidad máxima del sedimento en el fondo

T = Periodo del oleaje

H = Altura del oleaje

De la Ec. [2.1] e interpolando las curvas de la figura 4-29 (CERC, 1984) para una profundidad de 10 m y un periodo de verano $T = 10$ seg (Tabla VI).

Se obtiene:

$$\frac{U_{\max}(-d)T}{H} = 4.4 \quad \text{Despejando } H:$$

$$H = \frac{U_{\max}(-d)T}{4.4}$$

Obteniendo H para los diferentes tamaños de sedimento:

$$H_1 = 0.314 \text{ m}$$

$$H_2 = 0.352 \text{ m}$$

$$H_3 = 0.106 \text{ m}$$

$$H_4 = 0.149 \text{ m}$$

$$H_5 = 0.154 \text{ m}$$

$$H_6 = 0.152 \text{ m}$$

De igual forma aplicando la ξ_c [2.1] con la finalidad de encontrar la profundidad d a la cual comenzará a sentir la influencia el sedimento, con las combinaciones de T y H (Tabla, VI):

$$U_{\max}(-d) = 0.1382 \text{ m}^{s^{-1}}$$

$$\text{con } T = 8 \text{ seg y } H = 1.94 \text{ m}$$

$$\text{caso } 1a = 0.569$$

$$\text{con } T = 7 \text{ seg y } H = 1.33 \text{ m}$$

$$\text{caso } 1b = 0.727$$

$$\text{con } T = 10 \text{ seg y } H = 2.46 \text{ m}$$

$$\text{caso } 1c = 0.561$$

$$U_{\max}(-d) = 0.1549 \text{ m}^{s^{-1}}$$

$$\text{con } T = 8 \text{ seg y } H = 1.94 \text{ m}$$

$$\text{caso } 2a = 0.638$$

$$\text{con } T = 7 \text{ seg y } H = 1.33 \text{ m}$$

$$\text{caso } 2b = 0.815$$

$$\text{con } T = 10 \text{ seg y } H = 2.46 \text{ m}$$

$$\text{caso } 2c = 0.629$$

$$U_{\max}(-d) = 0.0466 \text{ m}^{s^{-1}}$$

$$\text{con } T = 8 \text{ seg y } H = 1.94 \text{ m}$$

$$\text{caso } 3a = 0.192$$

$$\text{con } T = 7 \text{ seg y } H = 1.33 \text{ m}$$

$$\text{caso } 3b = 0.245$$

$$\text{con } T = 10 \text{ seg y } H = 2.46 \text{ m}$$

$$\text{caso } 3c = 0.189$$

$$U_{\max}(-d) = 0.0657 \text{ m}^{s^{-1}}$$

con $T = 8 \text{ seg}$ y $H = 1.94 \text{ m}$

caso **4 a** = 0.271

con $T = 7 \text{ seg}$ y $H = 1.33 \text{ m}$

caso **4 b** = 0.345

con $T = 10 \text{ seg}$ y $H = 2.46 \text{ m}$

caso **4 c** = 0.267

$$U_{\max}(-d) = 0.0678 \text{ m}^{s^{-1}}$$

con $T = 8 \text{ seg}$ y $H = 1.94 \text{ m}$

caso **5 a** = 0.279

con $T = 7 \text{ seg}$ y $H = 1.33 \text{ m}$

caso **5 b** = 0.356

con $T = 10 \text{ seg}$ y $H = 2.46 \text{ m}$

caso **5 c** = 0.275

$$U_{\max}(-d) = 0.0671 \text{ m}^{s^{-1}}$$

con $T = 8 \text{ seg}$ y $H = 1.94 \text{ m}$

caso **6 a** = 0.276

con $T = 7 \text{ seg}$ y $H = 1.33 \text{ m}$

caso **6 b** = 0.353

con $T = 10 \text{ seg}$ y $H = 2.46 \text{ m}$

caso **6 c** = 0.272

Interpolando las curvas de la figura 4-29 (CERC, 1984) para encontrar la profundidad d a la cual comenzará a sentir la influencia el sedimento

Se tiene que la profundidad d para :

caso **1 a** $d = 39.6 \text{ m}$

caso **1 b** $d = 33.5 \text{ m}$

caso **1 c** $d = 60.9 \text{ m}$

caso **2 a** $d = 45.7 \text{ m}$

caso **2 b** $d = 29.8 \text{ m}$

caso **2 c** $d = 54.8 \text{ m}$

caso **3 a** $d = 65.5 \text{ m}$

caso **3 b** $d = 51.8 \text{ m}$

caso **3 c** $d = 85.3 \text{ m}$

caso **4 a** $d = 47.2 \text{ m}$

caso **4 b** $d = 42.6 \text{ m}$

caso **4 c** $d = 76.2 \text{ m}$

caso **5 a** $d = 48.7 \text{ m}$

caso **5 b** $d = 41.1 \text{ m}$

caso **5 c** $d = 76.2 \text{ m}$

caso **6 a** $d = 44.1 \text{ m}$

caso **6 b** $d = 39.6 \text{ m}$

caso **6 c** $d = 76.2 \text{ m}$

Con la finalidad de obtener los límites extremos de la estructura propuesta se hará uso de las fórmulas propuestas por CERC, 1984 .

$$[U_{\max}(-d)]_{s0.137} = [0.03(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1)gd_l]^{1/2} \quad \text{Ec. [3.0]}$$

De la Ec. [2.1] se obtiene la solución aproximada:

$$\tilde{d}_l \approx 2H_{s50} + 12\sigma_H \quad \text{Ec. [3.1]}$$

$$[U_{\max}(-d)]_{s50} = [8(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1)gd_{50}]^{1/2} \quad \text{Ec. [4.0]}$$

La solución aproximada a la Ec. [4.0] es:

$$\tilde{d}_i \approx H_{s50} \bar{T}_s \left(\frac{g}{5000d_{50}} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. [4.1]}$$

Donde para Ec. [3.0 , 3.1] y Ec. [4.0 , 4.1]:

$\tilde{d}_l$ = Profundidad en el extremo de la zona de rompiente que afecta el sedimento

$\tilde{d}_i$ = Profundidad límite de agitación del sedimento

H_{s50} = Media del oleaje significativo anual

σ_H = Desviación estándar anual de la altura del oleaje

$\bar{T}_s$ = Promedio anual del oleaje significativo

$U_{\max}(-d)$ = Velocidad máxima del sedimento en el fondo

γ_s = Gravedad específica del sólido (Cuarzo 2.65)

γ = Gravedad específica del fluido (Agua de mar 1.026)

g = Aceleración de la gravedad (9.81)

d_{50} = Diámetro medio del sedimento

Dados:

$$\begin{array}{ll} \bar{H}_{s1} = 1.94 \text{ m} & \bar{T}_{s1} = 9 \text{ seg} \\ \bar{H}_{s2} = 1.94 \text{ m} & \bar{T}_{s2} = 8 \text{ seg} \\ \bar{H}_{s3} = 1.33 \text{ m} & \bar{T}_{s3} = 7 \text{ seg} \\ \bar{H}_{s4} = 2.46 \text{ m} & \bar{T}_{s4} = 10 \text{ seg} \\ \bar{H}_{s5} = 1.68 \text{ m} & \bar{T}_{s5} = 8 \text{ seg} \end{array}$$

y :

$$H_{s50} = \bar{H}_s - 0.307^\sigma H$$

$$^\sigma H \approx 0.62 H_s$$

Calculando con $d_{50} = 0.1539 \text{ mm}$ se tiene :

$$\begin{array}{ll} ^\sigma H1 = 1.2 \text{ m} & ^\sigma H4 = 1.5 \text{ m} \\ H_{s50}1 = 1.5 \text{ m} & H_{s50}4 = 1.9 \text{ m} \\ \tilde{d}_I1 = 17.4 \text{ m} & \tilde{d}_I4 = 21.8 \text{ m} \\ \tilde{d}_i1 = 48.2 \text{ m} & \tilde{d}_i4 = 67.8 \text{ m} \\ \\ ^\sigma H2 = 1.2 \text{ m} & ^\sigma H5 = 1.0 \text{ m} \\ H_{s50}2 = 1.5 \text{ m} & H_{s50}5 = 1.3 \text{ m} \\ \tilde{d}_I2 = 17.4 \text{ m} & \tilde{d}_I5 = 14.6 \text{ m} \\ \tilde{d}_i2 = 42.8 \text{ m} & \tilde{d}_i5 = 37.1 \text{ m} \\ \\ ^\sigma H3 = 0.8 \text{ m} & \\ H_{s50}3 = 1.0 \text{ m} & \\ \tilde{d}_I3 = 11.6 \text{ m} & \\ \tilde{d}_i3 = 24.9 \text{ m} & \end{array}$$

Calculando con $d_{50} = 0.1934$ mm se tiene :

$$\sigma H1 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}1 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l1 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i1 = 42.9 \text{ m}$$

$$\sigma H4 = 1.5 \text{ m}$$

$$H_{s50}4 = 1.9 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l4 = 21.8 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i4 = 60.5 \text{ m}$$

$$\sigma H2 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}2 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l2 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i2 = 38.2 \text{ m}$$

$$\sigma H5 = 1.0 \text{ m}$$

$$H_{s50}5 = 1.3 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l5 = 14.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i5 = 33.1 \text{ m}$$

$$\sigma H3 = 0.8 \text{ m}$$

$$H_{s50}3 = 1.0 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l3 = 11.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i3 = 22.2 \text{ m}$$

Calculando con $d_{50} = 0.1719$ mm se tiene :

$$\sigma H1 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}1 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l1 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i1 = 45.6 \text{ m}$$

$$\sigma H4 = 1.5 \text{ m}$$

$$H_{s50}4 = 1.9 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l4 = 21.8 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i4 = 64.1 \text{ m}$$

$$\sigma H2 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}2 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l2 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i2 = 40.5 \text{ m}$$

$$\sigma H5 = 1.0 \text{ m}$$

$$H_{s50}5 = 1.3 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l5 = 14.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i5 = 35.1 \text{ m}$$

$$\sigma H3 = 0.8 \text{ m}$$

$$H_{s50}3 = 1.0 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l3 = 11.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i3 = 23.6 \text{ m}$$

Calculando con $d_{50} = 0.3415$ mm se tiene :

$$\sigma H1 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}1 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l1 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i1 = 32.3 \text{ m}$$

$$\sigma H4 = 1.5 \text{ m}$$

$$H_{s50}4 = 1.9 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l4 = 21.8 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i4 = 45.5 \text{ m}$$

$$\sigma H2 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}2 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l2 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i2 = 28.7 \text{ m}$$

$$\sigma H5 = 1.0 \text{ m}$$

$$H_{s50}5 = 1.3 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l5 = 14.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i5 = 24.9 \text{ m}$$

$$\sigma H3 = 0.8 \text{ m}$$

$$H_{s50}3 = 1.0 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l3 = 11.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i3 = 16.7 \text{ m}$$

Calculando con $d_{50} = 0.3635$ mm se tiene :

$$\sigma H1 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}1 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l1 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i1 = 31.3 \text{ m}$$

$$\sigma H4 = 1.5 \text{ m}$$

$$H_{s50}4 = 1.9 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l4 = 21.8 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i4 = 44.1 \text{ m}$$

$$\sigma H2 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}2 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l2 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i2 = 27.8 \text{ m}$$

$$\sigma H5 = 1.0 \text{ m}$$

$$H_{s50}5 = 1.3 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l5 = 14.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i5 = 24.1 \text{ m}$$

$$\sigma H3 = 0.8 \text{ m}$$

$$H_{s50}3 = 1.0 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l3 = 11.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i3 = 16.2 \text{ m}$$

Calculando con $d_{50} = 0.3560$ mm se tiene :

$${}^{\circ}H1 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}1 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l1 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i1 = 31.6 \text{ m}$$

$${}^{\circ}H4 = 1.5 \text{ m}$$

$$H_{s50}4 = 1.9 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l4 = 21.8 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i4 = 44.6 \text{ m}$$

$${}^{\circ}H2 = 1.2 \text{ m}$$

$$H_{s50}2 = 1.5 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l2 = 17.4 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i2 = 28.1 \text{ m}$$

$${}^{\circ}H5 = 1.0 \text{ m}$$

$$H_{s50}5 = 1.3 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l5 = 14.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i5 = 24.4 \text{ m}$$

$${}^{\circ}H3 = 0.8 \text{ m}$$

$$H_{s50}3 = 1.0 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_l3 = 11.6 \text{ m}$$

$$\tilde{d}_i3 = 16.4 \text{ m}$$