



**Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología**

**Universidad Nacional Autónoma de México**



**“VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LAS BACTERIAS COLIFORMES  
FECALES Y SU RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA  
CALIDAD DEL AGUA (O<sub>2</sub> DBO, T°C, pH, S y VISIBILIDAD): EN EL  
PUERTO INTERIOR Y BAHÍA DE MANZANILLO, COL. MÉXICO.  
DURANTE 1991-1995.”**

**T E S I S**

**que para obtener el grado académico de**

**DOCTOR  
(Oceanografía Biológica y Pesquera)**

**p r e s e n t a**

**MARÍA DEL CARMEN ESPERANZA NÚÑEZ FERNÁNDEZ**

**Codirector de Tesis:**

**Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez  
Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta**

**Jurado:**

**Dra. Guadalupe de la Lanza Espino  
Dra. María Leticia Rosales Hoz  
Dra. Marisa Mazari Hiriart  
Dr. Ingvar Emilsson Jonatansdottir  
Dr. Luis A. Maldonado Manjarrez**

**México, D. F. 2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A todas aquellas personas que confiaron en mí  
y de una manera directa o indirecta  
me apoyaron para la consecución  
de esta tesis.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme permitido ser parte de ella como alumna a lo largo de toda mi formación académica.

A la Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía, Instituto Oceanográfico del Pacífico por el apoyo y estancia para formar parte de su personal y en la realización de esta investigación y al apoyo cordial proporcionado por el personal de dicha institución

Mi sincero agradecimiento al Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez codirector por el apoyo y dirección de la tesis al darme a través del Laboratorio de Fisicoquímica las facilidades para efectuar este trabajo y por sus apreciables comentarios, sugerencias y amistad.

Al Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta codirector por sus apreciables sugerencias, orientaciones, asesorías, apoyo y sobre todo paciencia para el manejo estadístico, matemático y contenido de la tesis, pero sobre todo por su invaluable amistad y confianza.

A mi comité tutorial y miembros del jurado: Dra. Guadalupe de la Lanza Espino, Dra. María Leticia Rosales Hoz, Dra. Marina Mazari Hiriart, Dr. Ingvar. Emilsson Jonatansdottir y Dr. Luis Ángel Maldonado Manjarrez por su paciencia, comentarios y sugerencias muy valiosas y oportunas en la revisión del trabajo final.

# ÍNDICE

	Págs.
<b>CONTENIDO</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE FIGURAS Y CUADROS</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS	10
1.2 ANTECEDENTES	11
<b>CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>13</b>
2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	13
2.2 CLIMA	13
2.3 OLEAJE	15
2.4 MAREAS	16
2.5 PATRÓN DE CIRCULACIÓN	17
2.6 BATIMETRÍA	21
2.7 ASPECTOS GEOLÓGICOS	22
2.8 RECURSOS PESQUEROS	25
<b>CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1 ESTACIONES DE MUESTREO	27
3.2 MATERIAL Y MÉTODOS	28
a) Métodos de campo	28
b) Métodos experimentales	29
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>31</b>
4.1 MODELO DE DIFUSIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE BACTERIAS COLIFORMES FECALES	35
4.1.1 Difusión espacial	35
4.1.2 Radiación solar	36
4.1.3 Salinidad	36
4.1.4 Efecto del pH	37
4.1.5 Temperatura	37
4.1.6 Modelo espacial de la distribución de las coliformes	38
4.1.7 Aplicación del modelo a los datos de Manzanillo	39
4.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO	41
4.2.1 COMPORTAMIENTO ESPACIAL	41
4.2.1.1 Bacterias coliformes totales	41
4.2.1.2 Bacterias coliformes fecales	44

4.2.1.3	Visibilidad	49
4.2.1.4	Salinidad	53
	a) Superficial	53
	b) Fondo	57
4.2.1.5	Temperatura	60
	a) Superficial	61
	b) Fondo	64
4.2.1.5	pH	68
	a) Superficial	68
	b) Fondo	72
4.2.1.6	Oxígeno disuelto	76
	a) Superficial	77
	b) Fondo	81
4.2.1.7	Demanda bioquímica de oxígeno	85
	a) Superficial	85
	b) Fondo	89
4.2.1.8	Profundidad	92
4.2.2	COMPORTAMIENTO TEMPORAL	93
4.2.2.1	Bacterias coliformes totales	95
4.2.2.2	Bacterias coliformes fecales	99
4.2.2.3	Visibilidad	104
4.2.2.4	Salinidad	108
	a) Superficial	108
	b) Fondo	112
4.2.2.5	Temperatura	116
	a) Superficial	116
	b) Fondo	120
4.2.2.6	pH	124
	a) Superficial	124
	b) Fondo	128
4.2.2.7	Oxígeno disuelto	132
	a) Superficial	132
	b) Fondo	136
4.2.2.8	Demanda bioquímica de oxígeno	140
	a) Superficial	140
	b) Fondo	144
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES		149
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES		153
REFERENCIAS		155

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Localización del área de estudio.

Figura 2.- Patrón estacionario de velocidades de corriente y de variaciones del nivel de agua producidas por los vientos de 15m/s, considerando términos de Coriolis y convectivos (tomado de Galicia 1987).

Figura 3.- Diagrama de refracción de oleaje con periodo de 10 s en la bahía de Manzanillo-Santiago. La flecha indica el sentido de propagación del oleaje en aguas profundas (tomado de Galicia, 1987).

Figura 4.- Patrón de velocidades de corriente y de variaciones del nivel del agua por octavos de periodo de la componente de marea  $M_2$  considerando los términos de Coriolis y convectivos, además una amplitud de 30 cm (tomado de Gaviño y Galicia 1993).

Figura 5.- Patrón de velocidades de corriente y de variaciones del nivel del agua por octavo de periodo de la componente de marea  $M_2$ , considerando los términos de Coriolis y convectivos, además una amplitud de 30 cm (tomado de Gaviño y Galicia 1993).

Figura 6a y 6b.- Patrón estacionario de velocidades y de variaciones del nivel del agua, ocasionados por vientos de 15 m/s (tomado de Gaviño y Galicia 1993).

Figura 7a y 7b.- Patrón estacionario de velocidades y de variaciones del nivel del agua, ocasionados por vientos de 15 m/s (tomado de Gaviño y Galicia 1993).

Figura 8.- Corrientes residuales a) de una marea  $M_2$  con amplitud de 36 cm. b) de una marea  $M_2$  con una amplitud de 36 cm. y la acción de un viento del S de 15 m/s. durante un periodo (Reyes, 1988).

Figura 9.- Corrientes residuales de una marea  $M_2$  con amplitud de 30 cm. y la acción de un viento del W de 6.6 m/s durante a) primer periodo y b) segundo periodo (Reyes 1988).

Figura 10.- Batimetría del área de estudio en metros.

Figura 11.- Asentamientos humanos en el área de estudio.

Figura 12.- Localización de las estaciones de muestreo.

Figura 13.- Relación de bacterias coliformes fecales y totales.

Figura 14.- NMP/100 mL de bacterias coliformes totales y coliformes fecales  $N = 735$ .

Figura 15.- Log. del NMP/100 mL de bacterias coliformes totales y fecales.  $N = 735$ .

Figura 16.- Distribución espacial de los promedios mensuales de las bacterias coliformes fecales en la bahía y puerto de Manzanillo, Col., durante 1991-1995.

Figura 17a.- Esquema de la dispersión radial. b) Dispersión observada en tres emisores.

Figura 18.- a) Efecto de los parámetros ambientales en la mortalidad de las coliformes tiempo aproximado de degradación. b) Coeficiente de mortalidad.

Figura 18c.- Comparación del modelo con los datos originales para el caso de febrero (Fig. 16b).

Figura 19.- Zonas que se forman con el análisis del Índice de Similitud del Log. del promedio del NMP/100mL, de bacterias coliformes totales.

Figura 20.- Log del promedio del NMP/100 mL de bacterias coliformes totales, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Figura 21.- Comportamiento de los promedios de las bacterias coliformes en época de secas y lluvias.

Figura 22.- Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales, en época de secas y lluvias; durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Figura 23.- Zonas que se forman con el análisis del Índice de Similitud del Log. del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales.

Figura 24.- Log. del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Figura 25.- Log. del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales.

Figura 26.- Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Figura. 27.- Comportamiento de los promedios de las coliformes fecales en época de secas y lluvias.

Figura 28.- Formación de las dos zonas de acuerdo con el Índice de Similitud de la visibilidad del agua.

Figura 29.- Comportamiento de la visibilidad del agua, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Figura 30.- Comportamiento de la visibilidad del agua, en época de secas y lluvias; durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos equivalen a las estaciones de muestreo).

Figura 31.- Comportamiento del promedio de la visibilidad del agua.

Figura 32.- Representación de las tres zonas formadas por el Índice de Similitud de la salinidad superficial.

Figura 33.- Comportamiento de la salinidad superficial, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 34.- Comportamiento de la salinidad superficial en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 35.- Comportamiento del promedio de la salinidad superficial.

Figura 36.- Representación de las tres zonas del Índice de Similitud de la salinidad en fondo.

Figura 37.- Comportamiento de la salinidad en fondo durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Figura 38.- Comportamiento de la salinidad en fondo en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidea, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Figura 39.- Comportamiento del promedio de la salinidad en fondo.

Figura 40.- Representación de las tres zonas formadas por el Índice de Similitud para la temperatura superficial del agua.

Figura 41.- Comportamiento de la temperatura superficial (°C), durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 42.- Comportamiento de la temperatura superficial (°C), época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana).

Figura 43.- Comportamiento del promedio de la temperatura superficial.

Figura 44.- Representación de las dos zonas formadas por el Índice de Similitud de la temperatura del agua en fondo.

Figura 45.- Comportamiento de la temperatura en fondo (°C), durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 46.- Comportamiento de la temperatura en fondo (°C), en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 47.- Comportamiento del promedio de la temperatura en fondo.

Figura 48.- Representación de las dos zonas del Índice de Similitud del pH en superficie.

Figura 49.- Comportamiento del pH en superficie durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 50.- Comportamiento del pH en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 51.- Comportamiento del promedio del pH en superficie.

Figura 52.- Representación de las cinco zonas formadas por el Índice de Similitud del pH en fondo.

Figura 53.- Comportamiento del pH en fondo durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 54.- Comportamiento del pH en fondo en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana).

Figura 55.- Comportamiento del promedio del pH en fondo.

Figura 56.- Representación de las tres zonas que se forman de acuerdo al Índice de Similitud del oxígeno disuelto en superficie.

Figura 57.- Comportamiento del oxígeno disuelto en superficie, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 58.- Comportamiento del oxígeno disuelto en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 59.- Comportamiento del promedio del oxígeno disuelto en superficie.

Figura 60.- Formación de las cuatro zonas de acuerdo al Índice de Similitud del oxígeno disuelto en fondo.

Figura 61.- Comportamiento del oxígeno disuelto en fondo durante 1991-1995. (Enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 62.- Comportamiento del oxígeno disuelto en fondo en época de secas y lluvias, durante 1991-1995. (Enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 63.- Comportamiento del promedio del oxígeno disuelto en fondo.

Figura 64.- Formación de las tres zonas de acuerdo al análisis del Índice de Similitud de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie.

Figura 65.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 66.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 67.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie.

Figura.68.- Formación de las tres zonas de acuerdo al análisis del Índice de Similitud de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo.

Figura 69.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Figura 70.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana).

Figura 71.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo.

Figura 72.- Logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 73.- Comportamiento del Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 74.- Comportamiento del Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales en época de secas y lluvias, durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 75.- Logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 76.- Logaritmo del promedio de NMP/100mL de bacterias coliformes fecales durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 77.- Comportamiento del logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 78.- Comportamiento del logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 79.- Logaritmo del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 80.- Visibilidad del agua durante 1991 -1995 (análisis de Fourier).

Figura 81.- Comportamiento de la visibilidad del agua durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 82.- Comportamiento de la visibilidad del agua en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 83.- Visibilidad (m) del agua en la bahía y puerto de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 84.- Salinidad superficial durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 85.- Comportamiento de la salinidad en superficie durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 86.- Comportamiento de la salinidad en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 87.- Salinidad (UPS) superficial en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 88.- Salinidad en fondo durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 89.- Comportamiento de la salinidad en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 90.- Comportamiento de la salinidad en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 91.- Salinidad en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 92.- Temperatura superficial durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 93.- Comportamiento de la temperatura superficial durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 94.- Comportamiento de la temperatura superficial en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 95.- Temperatura superficial (°C) en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 96.- Temperatura en fondo durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 97.- Comportamiento de la temperatura en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 98.- Comportamiento de la temperatura en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 99.- Temperatura (°C) en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 100.- pH en superficie durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 101.- Comportamiento del pH en superficie durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 102.- Comportamiento del potencial de hidrógeno en superficie en época de secas y lluvias durante 1991-1995 en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 103.- pH en superficie en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 104.- pH en fondo durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 105.- Comportamiento del pH en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 106.- Comportamiento del pH en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 107.- pH en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 108.- Oxígeno disuelto en superficie durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 109.- Comportamiento del oxígeno disuelto en superficie durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 110.- Comportamiento del oxígeno disuelto en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 111.- Oxígeno disuelto (mg/L) en superficie en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 112.- Oxígeno disuelto en fondo durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Figura 113.- Comportamiento del oxígeno disuelto en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 114.- Comportamiento del oxígeno disuelto en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la Bahía y Puerto de Manzanillo, México.

Figura 115.- Oxígeno disuelto (mg/L) en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 116.- Demanda bioquímica de oxígeno en superficie durante 1991 -1995 (análisis de Fourier).

Figura 117.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 118.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 119.- Demanda bioquímica de oxígeno en superficie en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 120.- Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en fondo durante 1991 -1995 (análisis de Fourier).

Figura 121.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 122.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Figura 123.- Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

Figura 124.- Localización de las tres zonas que se forman de acuerdo al Índice de Similitud en la bahía de Manzanillo.

## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro I.- Posición de los puntos de colecta de las muestras.

Cuadro II.- Coeficientes de Correlación de las variables ambientales.

Cuadro III.- Log del promedio del NMP/100MI de bacterias coliformes totales.

Cuadro IV.- Estadística básica del Log del NMP/100ml de bacterias coliformes en las diferentes zonas.

Cuadro V.- Log del promedio del NMP/100mL de coliformes fecales.

Cuadro VI.- Estadística básica del Log del NMP/100mL de coliformes fecales en las diferentes zonas.

Cuadro VII.- Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales.

Cuadro VIII.- Promedio de la visibilidad del agua (m).

Cuadro IX.- Estadística básica de la visibilidad del agua en las distintas regiones.

Cuadro X.- Promedio de la salinidad (UPS) en superficie.

Cuadro XI.- Estadística básica de la salinidad en superficie.

Cuadro XII.- Promedio de la salinidad en fondo.

Cuadro XIII.- Estadística básica de la salinidad en fondo.

Cuadro XIV.- Promedio de la temperatura (°C) en superficie.

Cuadro XV.- Estadística básica de la temperatura superficial en las distintas regiones.

Cuadro XVI.- Promedio de la temperatura (°C) en fondo.

Cuadro XVII.- Estadística básica de la temperatura en fondo.

Cuadro XVIII.- Promedio del pH en superficie.

Cuadro XIX.- Estadística básica el pH en superficie.

Cuadro XX.- Promedio del pH en fondo.

Cuadro XXI.- Estadística básica del pH en fondo.

Cuadro XXII.- Promedio del oxígeno disuelto (mg/L) en superficie.

Cuadro XXIII.- Estadística básica del oxígeno disuelto en superficie.

Cuadro XXIV.- Promedio del oxígeno disuelto (mg/L) en fondo.

Cuadro XXV.- Estadística básica del oxígeno disuelto en fondo.

Cuadro XXVI.- Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en superficie.

Cuadro XXVII.- Estadística básica de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie.

Cuadro XXVIII.- Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L en fondo).

Cuadro XXIX.- Estadística básica de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo.

Cuadro XXX.- Matriz de correlación de los parámetros ambientales y las bacterias coliformes en época de secas en superficie.

Cuadro XXXI.- Matriz de correlación de los parámetros ambientales y las bacterias coliformes en época de lluvias en superficie

Cuadro XXXII.- Estadística básica del Log. del NMP/100mL de bacterias coliformes.

Cuadro XXXIII.- Estadística básica del Log. del NMP/100mL de coliformes fecales.

Cuadro XXXIV.- Estadística básica de la visibilidad (m).

Cuadro XXXV.- Estadística básica de la salinidad (UPS) superficial.

Cuadro XXXVI.- Estadística básica de la salinidad (UPS) en fondo.

Cuadro XXXVII.- Estadística básica de la temperatura superficial (°C).

Cuadro XXXVIII.- Estadística básica de la temperatura en fondo (°C).

Cuadro XXXIX.- Estadística básica del pH superficial

Cuadro XL.- Estadística básica del pH en fondo.

Cuadro XLI.- Estadística básica del oxígeno disuelto (mg/L) en superficie.

Cuadro XLII.- Estadística básica del oxígeno disuelto en fondo (mg/L).

Cuadro XLIII.- Estadística básica de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie (mg/L).

Cuadro XLIV.- Estadística básica de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo (mg/L).

## RESUMEN

Con objeto de determinar el impacto de las bacterias coliformes en las aguas del puerto de Manzanillo y dado el incremento en la importancia comercial y turística que ha tenido en los últimos años dicho puerto, se realizó un proyecto de monitoreo de calidad de agua para determinar el aporte de bacterias coliformes fecales procedentes de las descargas del drenaje municipal e industrial tanto en el puerto como en la bahía.

El proyecto se desarrolló durante 5 años y se mantiene en la actualidad un seguimiento de los muestreos de coliformes por la Secretaría de Marina. Se realizaron 54 muestreos mensuales entre 1991-1995, en la dársena, puerto interior, zona costera y bahía de Manzanillo, Colima México, con objeto de determinar la presencia y el número más probable de bacterias coliformes fecales en el agua de mar y su distribución tanto espacial como temporal procedente del aporte de materia orgánica y aguas negras del área conurbana del Puerto.

Para el análisis de las bacterias coliformes se siguió la técnica del NMP/100mL y se determinaron parámetros ambientales de: t (°C), pH, salinidad, O<sub>2</sub> disuelto, DBO y visibilidad en superficie (0.50 m) y en el fondo (entre 5 y 20 m). Para el manejo de los datos se aplicó un modelo de dispersión con los parámetros que más influyen en la dispersión y sobrevivencia de estos microorganismos y para el análisis de componentes principales, series de tiempo de Fourier, así como mapas de cambios en espacio y tiempo.

Durante los años de muestreo siempre se encontraron bacterias coliformes fecales en toda el área de estudio. El área se puede dividir en tres zonas de acuerdo al grado de contaminación que se registró. La primera de ellas en la zona del Puerto Interior en donde la presencia de estos microorganismos es mucho muy elevada (<240,000 NMP/100mL), por lo que solo puede utilizarse como aguas para la navegación o de contacto secundario a lo largo de todos los ciclos anuales estudiados y es un cuerpo de agua contaminado por agua negras. La segunda tiene una contaminación menor en la Dársena con valores que fluctuaron entre (<240,000-<3 NMP/100mL), que también estuvieron fuera de la norma oficial mexicana. (NOM 003-ECOL-1997; DOF 1998). La tercera que se ubicó en la zona costera, centro y fuera de la bahía con valores en la mayor parte de los muestreos dentro de los establecidos por la norma oficial mexicana para aguas de contacto primario (<3 NMP/100mL), esto debido probablemente a la buena circulación que existe en la bahía, por lo que no se detectó un incremento temporal de estos microorganismos; en esta última se localiza la zona turística de Las Brisas, Salahua y Las Hadas.

La radiación solar es el factor que más influye en la tasa de mortalidad de las coliformes fecales. Valores bajos de visibilidad se registraron en el Puerto Interior y la Dársena (0.10 m), que indicaron la presencia de materia orgánica en suspensión. En cuanto a la salinidad, el choque halino en la descarga de aguas residuales, provoca una alta mortalidad de los microorganismos que proceden de dichas aguas por la contaminación fecal. En el ambiente oceánico los intervalos de variación de salinidad, pH y temperatura no afectan sustancialmente su presencia. Este tipo de bacterias son aeróbicas y anaeróbicas facultativas, los valores registrados de oxígeno disuelto y DBO en las zonas de alta densidad de estos microorganismos fueron cercanos a cero. En cuanto a los parámetros ambientales del agua no existe una correlación directa con la presencia de bacterias fecales. El T<sub>90</sub>, que es el tiempo necesario para que la presencia de bacterias coliformes fecales disminuya en un 90%, calculada con el modelo fue de 3h 23 min.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años, el puerto de Manzanillo ha sido objeto de numerosas obras de infraestructura tanto turística como industrial, minera, generadora de energía, como empacadoras y procesadoras de alimentos marinos, entre otras, en cumplimiento a lo dispuesto en el Plan Nacional de Desarrollo de los últimos 20 años e incorporándose como uno de los puertos más importantes para la entrada y salida de mercancías en el pacífico mexicano. Esto ha traído como consecuencia el incremento de los desechos industriales y domésticos que por diversos conductos son acarreados a las aguas de la bahía y zona litoral.

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, en el censo de 2000, reportó para el municipio de Manzanillo, 124,014 habitantes y estima una población de 287,000 habitantes al final de la siguiente década, con un vertimiento aproximado de 70,000 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales; ello, sin considerar aquellas provenientes de instalaciones turísticas o portuarias que posiblemente se establezcan en la zona, por lo que el aumento en dichas descargas incrementará el deterioro de la calidad del agua de la bahía debido a los vertimientos al mar por descargas de drenajes y escurrimientos provenientes de la ciudad y zonas conurbadas, muelles y barcos en tránsito. También hay que considerar, que la mayoría de la población de las márgenes del puerto de Manzanillo no cuenta con un sistema de drenaje municipal y sus desechos los depositan en fosas sépticas que no son tratadas adecuadamente.

Las descargas de aguas residuales y domésticas están reglamentadas por diversos ordenamientos tanto federales como estatales y municipales entre las que destacan: la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL 1996 (DOF, 1997), Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y NOM-003-ECOL-1997 (DOF, 1998), Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público y La Ley Federal de Derechos, Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales (CNA, 2005). En ambas normatividades definen como aguas residuales a las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas y los valores permisibles de los contaminantes inorgánicos y orgánicos en dichas aguas y sus posibles usos.

Uno de los aspectos importantes que hay que mencionar dentro de las descargas de aguas residuales es el biológico. El agua residual contiene altas concentraciones de materia orgánica y poblaciones de microorganismos patógenos para el ser humano que pueden, al ser introducidos al ecosistema marino, alterar los roles normales establecidos naturalmente al: a) disminuir el oxígeno disuelto en el agua y por ende la densidad y diversidad de las especies que allí habitan, b) competencia por la materia orgánica, c) intoxicación y muerte de las especies y d) contaminación bacteriológica de los organismos y del hombre, como es el caso del cólera, entre otras. Por lo antes mencionado, la presencia de organismos patógenos en aguas de consumo directo, de recreación o de aprovechamiento para explotación pesquera, es prueba de contaminación por aguas residuales no tratadas.

Entre los microorganismos procedentes de las descargas de aguas residuales y que están presentes en el agua se encuentran los virus, diferentes tipos de bacterias, protozoarios y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tífus, gastroenteritis diversas, hepatitis, entre otras. En los países en vías de desarrollo, como es el caso del nuestro, las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños en edad preescolar y en especial en zonas costeras, en donde no se da el tratamiento adecuado a las aguas residuales municipales ya que son vertidas directamente al mar.

Las coliformes abarcan un amplio grupo de bacterias que se encuentran comúnmente en la capa superficial del agua, en los sedimentos del fondo, las plantas, el suelo, los animales y el hombre e incluye a bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas Gram-negativas, que no forman esporas y que fermentan la lactosa, con producción de gas dentro de 48 horas a 35°C, acidificando el medio y son consideradas como mesófilas, debido a que su intervalo de crecimiento es entre 15°C y 45°C, con su temperatura óptima de crecimiento de 37°C (American Public Health Association, 1992; Koneman *et al.*, 1999; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006). Sus formas pueden ser de bacilos cortos y ovales, las cuales predominan cuando se presentan directamente a partir de fuentes animales o humanas. Algunas se encapsulan, sobre todo cuando se encuentran en procesos patológicos. Su movilidad es variable por flagelos peritricos (Delaat, 1983).

Este grupo de bacterias coliformes incluye a los géneros *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* y *Klebsiella*, de las cuales las enterobacteras constituyen el 10% aproximadamente de los microorganismos del tracto digestivo de los humanos y de otros animales de sangre caliente. (Zinsser, 1992; Salyers y Whitt, 1994; Koneman *et al.*, 1999 y Prescott *et al.*, 2002).

El arrastre de desechos antropogénicos y vertimiento de aguas residuales directa o indirectamente al mar, favorece la presencia y distribución de microorganismos patógenos en las lagunas litorales y zonas costeras que incluye al grupo de coliformes fecales y a otros grupos que no fermentan la lactosa, (Ketchum *et al.*, 1952), tales como: *Klebsiella pneumoniae*, (Stenstrom y Kunn, 1988), *Salmonella typhi* (Van Donsel y Geldreich, 1971), *Escherichia coli*, (Vaccaro *et al.*, 1950), *Vibrio cholerae* (Xu, 1984), *Shigella* sp., entre otros; las cuales son agentes causales de enfermedades entéricas en humanos (Carpenter *et al.*, 1938); ya que la contaminación con enterobacterias es debida a la ingestión del microorganismo que está contenido en una gran variedad de organismos marinos destinados al consumo humano (Gaader y Saparck, 1931; Faulkner, 1961; Mason y Malean, 1962; Roth *et al.*, 1995 y Koneman *et al.*, 1999).

Para conocer su procedencia y poder diferenciarlas, las bacterias coliformes se han dividido en coliformes totales y coliformes fecales, ya que se encuentran habitualmente en las vías intestinales del hombre y de otros organismos de sangre caliente. La presencia de éste último grupo en las lagunas, estuarios y zona costera es debido a los aportes y escurrimientos de aguas residuales u otro tipo de desechos orgánicos en descomposición de las poblaciones y zonas turísticas asentadas en la zona costera (Waskman y Carey 1935; Waskaman y Vartiovaara, 1938; Coler y Litsky, 1977; Crane y Moore, 1986; Linton y Hinton, 1988; American Public Health Association, 1992; Koneman *et al.*, 1999; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

En el caso de las zonas costeras, la sobrevivencia de enterobacterias coliformes patógenas es baja, debido principalmente a que no pueden sobrevivir mucho tiempo fuera del huésped, ya que

les afectan los factores ambientales tales como luz, temperatura, salinidad, oxígeno, pH, la cantidad de materia orgánica en suspensión, el factor dilución, la disponibilidad de nutrientes, las corrientes y el consumo de las mismas por el pastoreo del zooplancton que las emplea como fuente de alimento, entre otros (Waskman y Carey 1935; Waskaman y Vartiovaara, 1938; ZoBell, 1936; Bergey *et al.*, 1939; Nusbaum y Gardner 1955; Pramer *et al.*, 1960; Saz, 1963; Jannash, 1968; Vaatanen, 1980; Delaat, 1983; Solic y Krstulovic, 1992 y Chan y Killick, 1995). *Escherichia coli*, muestra una mortalidad del 90% en el agua de mar en una hora (Cantera *et al.*, 1995), ya que los iones inorgánicos son de gran importancia para la actividad enzimática de las bacterias, tanto marinas como de origen terrestre (Roth *et al.*, 1995).

## **VULNERABILIDAD DE LAS BACTERIAS COLIFORMES FECALES**

Todos los organismos presentan su estructura, fisiología y comportamiento en base a las condiciones ambientales de su medio ambiente. En este caso, los microorganismos responden a las condiciones ambientales y se tratan de adaptar a cambios en la cantidad de nutrientes y a las variaciones en las características físicas y químicas de su entorno. Entender el impacto que tiene el ambiente puede ayudar para el control del crecimiento microbiano, e influir en la calidad del ecosistema y en el estudio de la distribución de los organismos (Solic y Krstulovic, 1992; Roth *et al.*, 1995; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

La capacidad de algunos organismos de adaptarse a ambientes extremos e inhóspitos es asombrosa. Los procariontes están presentes, donde quiera que haya vida, muchos hábitat en los cuales los procariontes prosperan, matarían a muchos otros organismos. Los procariontes tales como el *Bacillus infernus* parecen ser capaces de vivir a mas de 2.5 km. debajo de la superficie terrestre, sin oxígeno y a temperaturas sobre los 60°C, también en las ventilas hidrotermales se encuentra abundancia de vida microscópica como base de las comunidades macroscópicas, se han descubierto mas de 300 nuevas especies de organismos viviendo en condiciones extremas (400°C de temperatura y a mas de 2,000 m de profundidad) y las bacterias son las primeras en colonizar estos ambientes. A los microorganismos que crecen en tales condiciones a menudo se les llama extremófilos. Aunque a las bacterias coliformes fecales no se les considera como tales, las condiciones ambientales cambiantes les afectan de una manera directa y su crecimiento y mortalidad se ven alteradas (Roth *et al.*, 1995; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006)

Dentro de los parámetros ambientales que mas afectan a las bacterias coliformes fecales se encuentran: la radiación solar, salinidad, temperatura, pH, el agua, corrientes y nutrientes (Manzini, 1978; Solic y Krstulovic, 1992; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006). A continuación se mencionan algunas consideraciones relacionadas con estos parámetros ambientales.

### **RADIACIÓN SOLAR.**

La luz solar es la mayor fuente de radiación en la tierra. Incluye luz visible, radiación ultravioleta, rayos infrarrojos y ondas de radio.

La luz visible es uno de los factores abióticos más importantes del ecosistema, ya que

prácticamente toda la vida depende de la habilidad de los organismos fotosintéticos para almacenar la energía del sol en forma de moléculas biológicas. Casi el 60% de la radiación solar se encuentra en la zona infrarroja del espectro. El infrarrojo es la fuente más grande de calor de la Tierra. A nivel del mar se encuentra muy poca radiación ultravioleta debajo de 290 o 300 nm. La radiación ultravioleta de longitudes de onda menores que 287 nm se absorbe por el oxígeno en la atmósfera terrestre. Este proceso genera una capa de ozono entre 25 y 30 millas sobre la superficie terrestre. La capa de ozono absorbe de alguna manera rayos UV largos o más largos y produce O<sub>2</sub>. Esta eliminación de radiación UV es crucial debido a que es muy dañina a sistemas vivos (Zinsser, 1992; Roth *et al.*, 1995; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

Muchas formas de radiación electromagnética son muy dañinas a los microorganismos, en especial la radiación de longitud de onda muy corta o alta energía, que causa que los átomos pierdan electrones o se ionicen. Las dos formas más importantes de este tipo de radiación son los rayos X, producidos artificialmente, y los rayos gamma, que son emitidos por la desintegración de isótopos radiactivos. Aún niveles bajos de esta radiación producen mutaciones e indirectamente pueden resultar en la muerte, mientras que los más altos son letales. Aunque los microorganismos son más resistentes a la radiación de ionización que los organismos superiores, éstos serían destruidos por una dosis mayor. Esta radiación puede ser usada para esterilizar artículos. Algunos procariontes (ej. *Deinococcus radiodurans*), y endoesporas de bacterias pueden sobrevivir a dosis de radiación muy grande (Zinsser, 1992; Roth *et al.*, 1995; y Prescott *et al.*, 2002).

La radiación de ionización solar pone en marcha una gran cantidad de cambios en las células, rompe las ligas de hidrógeno, oxida los dobles enlaces, destruye estructuras de anillo y polimeriza algunas moléculas. El oxígeno aumenta estos efectos destructivos, probablemente mediante la generación de radicales de hidroxilo (OH). Aunque muchos tipos de constituyentes pueden ser afectados, es razonable suponer que la destrucción del ADN es la causa más importante de muerte (Zinsser, 1992 y Prescott *et al.*, 2002).

La radiación ultravioleta (UV) mata toda clase de microorganismos debido a su corta longitud de onda (10 a 400 nm) y alta energía. La radiación UV mas letal tiene una longitud de onda de 260 nm, el ADN la absorbe más eficientemente. El mecanismo primario de daño UV es la formación de un doble enlace de timina. Dos timinas adyacentes en una cadena de ADN forman un enlace covalente que inhibe su replicación y funcionamiento. Este daño puede ser reparado por el organismo de muchas maneras, por ejemplo: la foto reactivación, producida por una enzima que emplea la luz azul para destruir estos dobles enlaces. También si una secuencia corta contiene dobles enlaces de timina, ésta puede ser cortada y reemplazada por algún tipo de enzima. Cuando la exposición a la radiación UV es muy alta, el daño es tan extenso que no puede ser reparado (Zinsser, 1992; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

Aunque muy poca radiación UV debajo de los 290 o 300 nm alcanza la superficie terrestre, la radiación UV, entre 325 y 400 nm, puede dañar a los microorganismos. La exposición a esta radiación induce el rompimiento triptofano en productos tóxicos. Parece que estos fotoproductos derivados del triptofano tóxico, más la radiación UV por si misma producen cortes en la cadena de ADN. El mecanismo preciso no se conoce, aunque es diferente de aquel que se presenta con radiación UV de 260 nm (Zinsser, 1992 y Prescott *et al.*, 2002).

Las estimaciones numéricas de la tasa de mortalidad de las bacterias coliformes en agua de mar realizados por Manzini (1978), indican que la radiación solar tiene una influencia significativamente alta en la tasa de mortalidad. Crane y Moore (1986), en la revisión que hacen sobre los modelos propuestos por diversos autores sobre la tasa de mortalidad de las bacterias coliformes en diferentes medios ambientes, mencionan que existen múltiples factores que afectan la tasa de sobrevivencia de las coliformes, pero que la radiación solar, temperatura, pH, humedad y disponibilidad de nutrientes son de vital importancia para su sobrevivencia. Sarikaya y Saatci (1995), calculan un intervalo de radiación solar de entre 17 cal/cm<sup>2</sup> a 40 cal/cm<sup>2</sup> para que se remueva el 90% de las bacterias coliformes (este concepto del tiempo necesario para reducir en un 90% la población de microorganismos se denomina T<sub>90</sub>), a una temperatura entre 25 y 30°C y también estiman el T<sub>90</sub> bajo distintas condiciones ambientales. Canteras *et al.* (1995), calcularon el T<sub>90</sub> con valores mas bajos de 60 minutos, cuando la radiación solar era por arriba de 120 Wm<sup>-2</sup> con valores de 33.6 minutos para verano y de 116.8 minutos para invierno.

## **SALINIDAD**

Debido a que una membrana selectivamente permeable separa a los microorganismos de su medio ambiente, éstos pueden ser afectados por cambios en la concentración osmótica en su entorno. Si un microorganismo se coloca en una solución hipotónica, el agua entrará en la célula y la hará explotar a menos de que se haga algo para prevenir la entrada del fluido (agua). La concentración osmótica del citoplasma puede ser reducida usando cuerpos de inclusión. Los procariontes también contienen canales sensibles a la presión que se abren para permitir la salida de soluto cuando la osmolaridad del entorno se vuelve mas baja que la del citoplasma (Zinsser, 1992 y Prescott *et al.*, 2002).

La mayoría de las bacterias, algas y hongos tienen paredes celulares rígidas que conservan la forma e integridad de la célula. Cuando los microorganismos con paredes celulares rígidas son colocados en un ambiente hipertónico pierden agua (sale agua) y la membrana plasmática se encoge y se separa de la pared celular, proceso conocido como plasmólisis. Esto deshidrata la célula y puede dañar la membrana plasmática. Bajo estas circunstancias, la célula usualmente detiene su metabolismo y deja de crecer o, si las condiciones son extremas, muere. Este es el caso cuando las coliformes fecales son introducidas a un medio hipertónico en la descarga al medio marino (Zinsser, 1992; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006)

Por otro lado, la mayoría de los procariontes ponen a funcionar mecanismos fisiológicos, como incrementar su concentración osmótica interna en un ambiente hipertónico a través de la síntesis o adquisición de colina betaína, prolina, ácido glutámico y otros aminoácidos, o pueden estar involucrados altos niveles de iones de potasio, conservando la concentración osmótica de su protoplasma por encima de aquella de su entorno, de modo que la membrana plasmática siempre está firmemente pegada a la pared celular.

Por otro lado, Pratt (1974), menciona que las bacterias de agua dulce sufren una rápida histólisis cuando se colocan en una solución hipertónica (como es el caso del agua de mar), ya que no requieren concentraciones mayores de Na<sup>+</sup> para crecer y mantener su medio ambiente

osmótico, como es el caso de las bacterias marinas. La destrucción celular resulta del choque osmótico de las bacterias debido a que su pared celular tiene una fragilidad inherente al cambio de concentraciones de sales en su medio ambiente. Manzini (1978), Solic y Krstulovic (1992), Roth *et al.* (1995), Prescott *et al.* (2002), mencionan que las bacterias del tracto intestinal no sobreviven en un medio acuático ya que están en condiciones de estrés y gradualmente pierden su habilidad para formar colonias en medios selectivos y la tasa de mortalidad depende los efectos de la luz, temperatura del agua, la presencia de las poblaciones de otras bacterias y la composición química del agua.

## TEMPERATURA

Los microorganismos son particularmente sensibles a las variaciones de la temperatura porque su temperatura varía con la del medio ambiente en el que viven. Por esta razón, la temperatura de la célula o del microorganismo refleja directamente la de su entorno.

La sensibilidad de las reacciones catalizadas por las enzimas para la temperatura es un factor limitante en el crecimiento de los microorganismos. A bajas temperaturas, un incremento en ésta, incrementa la tasa de crecimiento, porque la velocidad de la reacción catalizada por enzimas, como cualquier otra reacción química, casi se duplicará por cada 10°C que aumente la temperatura. Debido a que la velocidad de cada reacción aumenta, el metabolismo es mucho más activo a altas temperaturas, y el microorganismo crece más rápido. Después de cierto punto, el aumento en la temperatura desacelera el crecimiento y por arriba de 45°C son mortales ya que las altas temperaturas dañan a los microorganismos al desnaturalizar las enzimas, los transportes celulares y otras proteínas (Roth *et al.*, Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

Las membranas microbianas también se rompen por temperaturas extremas. La doble capa de lípidos se derrite y se desintegra. De este modo, aunque las enzimas funcionales operan más rápido a altas temperaturas, el microorganismo puede ser dañado a tal grado que su crecimiento queda inhibido porque el daño no puede ser reparado. A bajas temperaturas, las membranas se solidifican y las enzimas no trabajan rápidamente. En resumen, cuando los organismos se encuentran por arriba de su temperatura óptima, sus funciones y su estructura celular se ven afectadas; si las temperaturas son muy bajas, su funcionamiento se afecta, pero no necesariamente su composición química y estructura (Zinsser, 1992; Roth *et al.*, 1995; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

Por lo anterior, podemos decir que el crecimiento de los microorganismos tiene una dependencia característica de la temperatura; mínima, óptima y máxima de crecimiento. Aunque la forma de la curva de la dependencia de la temperatura puede variar, la óptima siempre se encuentra más cerca del máximo que del mínimo. Las temperaturas para una especie en particular no son fijas, a menudo dependen hasta cierto punto de otros factores ambientales como pH y disponibilidad de nutrientes.

Existen grandes diferencias entre las temperaturas de los distintos organismos. El intervalo usualmente abarca desde 0°C hasta 75°C; sin embargo, el crecimiento de microorganismos puede suceder en temperaturas que van desde -20°C hasta más de 100°C. El

factor más importante que determina este intervalo de crecimiento parece ser el agua. Aún en las temperaturas mas extremas, los microorganismos requieren de agua líquida para crecer. El intervalo de temperaturas de crecimiento para un microorganismo en particular, usualmente es de 30°C. Algunas especies, como por ejemplo *Neisseria gonorrhoeae* tiene un intervalo pequeño; por otro lado la *Enterococcus faecalis*, tiene un intervalo de temperatura de crecimiento muy amplio (Zinsser, 1992; Koneman *et al.*, 1999; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

Con base en los intervalos de temperatura en los cuales pueden crecer las bacterias coliformes fecales se les consideran como mesófilas, cuyo óptimo crecimiento es alrededor de 20 a 45°C. A menudo tienen un mínimo de temperatura de 15 a 20°C; su máximo se encuentra por debajo de los 45°C. La mayoría de los microorganismos caen dentro de esta categoría y en particular las bacterias patógenas humanas están dentro de este intervalos, ya que la temperatura óptima es la del cuerpo humano (37°C; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

## POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Es una medida de la actividad de los iones hidrógeno en una solución y se define como el negativo del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno (expresado en términos de molaridad).

Crane y Moore (1985) comentan que las variaciones en el pH de acidez y alcalinidad alteran la tasa de sobrevivencia de las bacterias y particularmente el pH afecta de forma dramática el crecimiento microbiano. Cada especie tiene un intervalo de pH en el cual crece en condiciones adecuadas y un pH óptimo. Los organismos acidófilos tienen su crecimiento óptimo en el intervalo de pH entre 0 y 5.5, los neutrófilos entre pH 5.5 y 8 y los alcalófilos entre 8.5 y 11.5. Los alcalófilos extremos tienen óptimo crecimiento en pH 10 o mayor. En general, la mayoría de las bacterias y protozoarios son neutrófilos.

Aunque los microorganismos crecerán en intervalos muy amplios de pH y lejos de su pH óptimo, hay límites en su tolerancia. Las variaciones drásticas en el pH citoplasmático pueden dañar a los microorganismos, destruyendo la membrana o inhibiendo la actividad de las enzimas y proteínas de transporte y pueden alterar la ionización de las moléculas de los nutrientes y reduciendo con ello la disponibilidad de los mismos (Roth *et al.*, 1995; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

Los microorganismos deben adaptarse a cambios en el pH ambiental para sobrevivir. En las bacterias, los sistemas de antepuerto potasio-protón y sodio-protón, probablemente compensan pequeñas variaciones en el pH. Si el pH se hace muy ácido, se pueden activar otros mecanismos. Cuando el pH sube de 5.5. a 6.0 la *Salmonella typhimurium* y *Escherichia. coli* sintetizan un nuevo arreglo de proteínas como parte de lo que ha sido llamado su respuesta de tolerancia ácida. Una enzima ATPasa de translocación de protón contribuye a la respuesta protectora, ya sea haciendo mas ATP o bombeando protones fuera de la célula. Si el pH desciende por debajo de 4.5 se sintetizan unas proteínas comodines, como la de choque ácido o térmico. Esto previene la desnaturalización de las proteínas por el ácido y ayuda a la reutilización de las proteínas desnaturalizadas. Los microorganismos frecuentemente cambian el pH de su

ambiente produciendo desechos metabólicos ácidos o básicos. Los microorganismos de fermentación producen ácidos orgánicos a partir de carbohidratos (Zinsser, 1992; Roth *et al.*, 1995; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006)).

Para las bacterias coliformes fecales el pH óptimo de crecimiento es de 7 más o menos 0.5 aunque su intervalo varía de 5.5 a 8 y estos valores se encuentran en el agua dulce del cual proceden antes de hacer contacto con el agua de mar y cuyo pH fluctúa entre 7.5 y 8.5 debido a que las variaciones del pH en el agua de mar no es grande por lo que este factor en este caso puede no afectarles significativamente (Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006)).

## CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO.

Un organismo capaz de crecer en presencia de O<sub>2</sub> atmosférico es un organismo aeróbico, mientras que uno que puede crecer en ausencia de este elemento es un anaeróbico. El oxígeno sirve como el que acepta el electrón terminal para la cadena de transporte de electrones en la respiración aeróbica. Los anaeróbicos facultativos no requieren O<sub>2</sub> para crecer, pero crecen mejor en presencia de éste. Anaeróbicos tolerantes como *Enterococcus faecalis* simplemente ignoran el O<sub>2</sub> y de cualquier modo crecerán en presencia o ausencia. Por el contrario anaeróbicos obligados o estrictos (Ej. *Bacteroides*, *Fusobacterium*, *Clostridium pasteurianum*, *Methanococcus*) no toleran el O<sub>2</sub> y mueren. Los anaeróbicos aerotolerantes y estrictos no pueden generar energía a través de la respiración y deben emplear fermentación o rutas de respiración anaeróbicas para este propósito. Finalmente, existen aeróbicos como *Campylobacter*, llamado microaerofílicos, que son dañados por el nivel normal de oxígeno en la atmósfera (20%) y requieren niveles de O<sub>2</sub> en el intervalo por debajo de 2 a 10%. La naturaleza de la respuesta bacteriana al O<sub>2</sub> puede ser rápidamente determinada cultivando bacterias en tubos llenos con un medio de cultivo sólido o un medio especial como el caldo de tioglicolato que contiene un agente reductor para bajar los niveles de O<sub>2</sub> (Zinsser, 1992; Roth *et al.*, 1995; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

Un grupo microbiano puede mostrar más de un tipo de relación con el O<sub>2</sub>. Aunque a los anaeróbicos estrictos los mata el O<sub>2</sub>, en estos casos se asocian con anaeróbicos facultativos, que agotan el oxígeno y así hacen posible el crecimiento de los anaeróbicos estrictos. Por ejemplo, el anaeróbico estricto *Bacteroides gingivalis* vive en la boca, donde crece en los espacios anaeróbicos alrededor de los dientes (Koneman *et al.*, 1999).

Estas diferentes relaciones con el oxígeno aparecen debido a muchos factores, incluyendo la inactivación de proteínas y el efecto de derivados tóxicos del O<sub>2</sub> (Roth *et al.*, 1995)

Muchos microorganismos poseen enzimas que pueden protegerse de estos productos tóxicos de O<sub>2</sub>. Los aeróbicos obligados y los anaeróbicos facultativos usualmente contienen las enzimas superóxido dismutasa (SDO) y catalasa, las cuales catalizan la destrucción del radical superóxido y peróxido de hidrógeno, respectivamente. La peroxidasa puede ser usada también para destruir al peróxido de hidrógeno (Zinsser, 1992; Roth *et al.*, 1995; Prescott *et al.*, 2002 y Madigan *et al.*, 2006).

Los microorganismos aerotolerantes pueden carecer de catalasa, pero casi siempre tienen peróxido dismutasa. La aerotolerante *Lactobacillus plantarum* utiliza iones manganoso en lugar de la dismutasa para destruir el radical super óxido. Todos los anaerobios estrictos carecen de ambas enzimas o las tienen en muy bajas concentraciones y en consecuencia no toleran el O<sub>2</sub> (Prescott *et al.*, 2002).

## AGUA

La cantidad de agua disponible para los microorganismos también puede ser reducida por interacción con moléculas de soluto (efecto osmótico) o por adsorción a la superficie de sólidos (efecto matriz). Ya que la concentración osmótica de un hábitat presenta tales efectos, en los microorganismos resulta útil poder expresar cuantitativamente el grado de disponibilidad de agua. Los microbiólogos emplean generalmente actividad de agua ( $a_w$ ) para este propósito (la disponibilidad de agua puede ser expresada como potencial de agua (Koneman *et al.*, 1999; Prescott, 2002 y Madigan *et al.*, 2006)

Por último, en condiciones normales, parte de los microorganismos que resultan de los asentamientos urbanos y que son introducidos al ecosistema marino se degradan debido a la acción natural de microorganismos marinos (Waskman y Carey 1935; Waskaman y Vartiovaara, 1938; Capone y Bauer, 1992). Sin embargo, ante el aumento de la cantidad y variedad de sustancias contaminantes, consecuencia del crecimiento poblacional de la zona, es difícil depender exclusivamente de la función purificadora de la naturaleza así como de los procesos físicos y químicos presentes en el área de estudio. Por esto la presencia de estos microorganismos también es considerada como un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere al número de bacterias coliformes presentes en el agua (Roth *et al.*, 1995). La Organización Mundial de la Salud, (OMS, 2006) y la NOM-127 que emite la S.S. en México recomiendan que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 mL de agua

En las descargas de aguas negras sin tratamiento previo, el número de microorganismos puede ser muy elevado y variar en intervalos muy amplios, hasta más de 2,400,000 bacterias por 100 mL. Sin embargo, el contenido de bacterias coliformes fecales decrece a medida que se avanza y se aleja de las fuentes emisoras. De esto se puede inferir que las aguas contaminadas se van diluyendo y también haciéndose más limpias debido a la presencia cada vez mayor del agua de mar (Manzini, 1978; Solic y Krstulovic, 1992; Roth *et al.*, 1995 y Prescott *et al.*, 2002).

Es de todos sabido que la capacidad purificadora de las masas de agua marina, debido a que en ellas se pueden diluir, dispersar o degradar grandes cantidades de aguas residuales, hidrocarburos, desechos industriales e, incluso, materiales radiactivos. Por este motivo, es muy tentador recurrir al barato sistema de arrojar al mar los residuos de los que se quiere deshacer; pero en muchos lugares, los excesos cometidos han convertido grandes zonas del mar en desiertos de vida o en cloacas malolientes (Sverdrup *et al.*, 2003)

## **1.1 OBJETIVOS:**

### **a) GENERAL**

Evaluar el grado de contaminación que presenta la bahía y puerto de Manzanillo por bacterias coliformes fecales, su variación espacio temporal y su correlación con los parámetros ambientales de visibilidad, salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y demanda biológica de oxígeno.

### **b) OBJETIVOS PARTICULARES**

- I. Determinar la presencia de las bacterias coliformes fecales en los distintos tipos de agua dentro del puerto y bahía de Manzanillo, como una medida de la calidad del agua. Evaluar los sitios de mayor riesgo para la población humana con base en la presencia y cantidad de las bacterias coliformes fecales, como producto de los aportes de aguas residuales de la zona conurbada del puerto de Manzanillo a la bahía y puerto de Manzanillo.
- II. Calcular el porcentaje de bacterias fecales que se encuentran presentes dentro de las bacterias coliformes totales.
- III. Determinar la influencia de la radiación solar, la salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno sobre la sobrevivencia de las coliformes fecales, al calcular el  $T_{90}$  considerando los componentes físicos que las afectan
- IV. Determinar a través del análisis de series de tiempo, si existe algún componente natural cíclico que explique la presencia de las coliformes fecales y evaluar los cambios estacionales a través del análisis espectral, a lo largo de un ciclo anual.
- V. Aplicar un modelo matemático de dispersión en donde se establezcan las áreas críticas en las que se puede localizar una mayor abundancia de las coliformes fecales y el tiempo de decadencia de las mismas.
- VI. Determinar el tiempo en el cual el 90% de la población de coliformes fecales no ha sobrevivido ( $T_{90}$ ) como respuesta a las condiciones ambientales.
- VII. Localizar áreas críticas en donde la presencia de coliformes fecales se encuentra fuera de los límites permisibles para aguas recreativas con contacto primario de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997).

## 1.2 ANTECEDENTES

A nivel mundial son incontables los estudios que se realizaron y se están llevando a cabo con objeto de determinar la calidad del agua en los distintos cuerpos receptores, en especial dada la importancia económica, de recreación y biológica de las zonas costeras, de acuerdo con los criterios y normas de calidad de cada uno de los países.

Los estudios realizados en la bahía de Manzanillo y zona costera del estado de Colima, son numerosos y muy variados, entre los que se encuentran:

En los aspectos geográfico y geológico: Secretaría de Marina (1973), sobre el Estudio Geográfico de la Región de Manzanillo; Lancin y Carranza (1979), sobre el Estudio Geomorfológico de la bahía y de la Playa de Santiago en Manzanillo; Vallarino (1979), con el Estudio Geológico-marino de las Alternativas 1 y 5, para la obra de toma de la Planta Termoeléctrica Manzanillo; Zepeda y Luna (1982), caracterizaron la región de la Berma, zona de rompiente y anteplaya, evaluaron la población que comprende a la fracción arena utilizando y relacionando las variaciones de los parámetros texturales con las condiciones dinámicas del lugar. La Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, 1985), realizó un estudio sobre el desarrollo portuario y su influencia en el Municipio de Manzanillo. Mooser (1985), realizó estudios estructurales y tectónicos de Punta Santiago, determinando tres fallas en dirección hacia SW e inclinación de 75° y sugiere que se trata de fallas o de extensión, las cuales pueden estar asociadas con la tectónica de región; Zepeda y Fernández (1985), realizaron estudios geológicos y tectónicos de la costa colimense en los que describen los aspectos tectónicos geomorfológicos, estructurales, petrológicos y mineralógicos principalmente; Zepeda *et al.*, (1987), efectuaron estudios texturales de los sedimentos a lo largo de las playas del estado de Colima y, de manera general, los asocian con los rasgos geomorfológicos de los litorales.

En cuanto a los factores fisicoquímicos y calidad de agua en el puerto de Manzanillo y zonas aledañas se tienen los realizados por: Chávez (1982), sobre variaciones amplias del pH en el puerto interior y exterior de Manzanillo; Meyer *et al.*, (1985), sobre la preservación y control de la calidad de las aguas de la bahías de Manzanillo; Ochoa (1988), sobre evaluación de la calidad de las aguas en el área del puerto de Manzanillo, Contreras (1988), Variación espacial y temporal de algunos parámetros indicadores de la contaminación orgánica en el puerto Interior de Manzanillo; Álvarez (1989), sobre la evaluación anual de parámetros fisicoquímicos y biológicos en el área portuaria de Manzanillo; López (1990), sobre la variación temporal de algunos parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en el puerto interior y bahía de Manzanillo, Valencia (1991), sobre la evaluación de la alteración por la materia orgánica en el puerto de Manzanillo; Meyer (1992), hizo una evaluación de grasas y aceites producidos por derrames de hidrocarburos en el puerto Interior, San Pedrito, el Túnel, puerto Exterior, bahía de Manzanillo, canal de Ventanas, el Tapo, Campamento, entrada Termoeléctrica I y II y salidas de las aguas de la Termoeléctrica; Valencia (1992), sobre la evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del puerto de Manzanillo; Cacho (1995), sobre el análisis de datos sobre la contaminación bacteriológica en el área de bañistas de las bahías de Manzanillo y Santiago.; Cuevas (1995), sobre la calidad del agua en áreas costeras del Pacífico Central y Sur Mexicano, en el que se menciona la zona costera del puerto de Manzanillo; Secretaría de Marina (2000a), sobre contaminación marina en el mar territorial y zonas costeras de la República Mexicana; Secretaría de Marina (2000b), sobre Diagnóstico Portuario 2000 en distintos puertos del Pacífico Mexicano; Cano (2001), sobre evaluación ambiental del área

portuaria de Manzanillo y Secretaría de Marina (2002), presentó un Atlas de Contaminación Marina en el Mar Territorial y Zonas costeras de la República Mexicana, entre otros.

En los aspectos biológico y ecológico se tienen los estudios de: Gluyas y Chávez (1982), que encontraron tres clases del phylum *Mollusca*, de las cuales 50.8% fueron Gasterópodos (con 36 especies), 45.2% *Pelecipodos* (con 42 especies) y 3.8% de *Escafopodos* (con tres especies); Chávez (1982), reporta 15 especies de peces correspondiendo a 11 familias, en la bahía de Santiago; Chávez (1983), realizó cuatro muestreos en la bahía de Manzanillo con draga Van Veen, en donde indica un claro dominio de los poliquetos (*annelida*) sobre los crustáceos (*artropodos*) y Moluscos (*mollusca*) en cuanto a la variación temporal de la densidad y biomasa, siendo mayores en febrero y menores en julio y octubre, y concluye que, las depresiones tropicales, así como los huracanes, son el factor físico que regula la densidad y biomasa de la bahía de Manzanillo; Ortiz (1984), realizó un estudio sobre la productividad orgánica primaria en Manzanillo y su vinculación con las condiciones del pacífico tropical mexicano; Quijano y Vidaurri (1987), hacen un análisis y distribución del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y la abundancia relativa de algunas especies del fitoplancton; Quijano y Salinas (1995), en el que presentan resultados preliminares de parámetros fisicoquímicos en cuatro estaciones de las bahías de Manzanillo y Santiago, con 57 especies de fitoplancton silicio entre otros.

Dentro de los estudios de física y meteorología se tienen los de: Galicia (1987), sobre Modelación Numérica de las bahías de Manzanillo y Santiago; Reyes (1988), realiza estudios hidrodinámicos en el puerto Interior de Manzanillo; Clemente (1991), sobre el Análisis de la corriente subsuperficial de marea en dos puntos fijos de la bahía de Manzanillo; Morales (1991), sobre hidrología descriptiva de las bahías de Manzanillo y Santiago; Gaviño y Galicia (1993), sobre Modelación Hidrodinámica Numérica sobre algunos cuerpos de agua de la Zona Económica Exclusiva de México; Gaviño (1994), efectuó un estudio de refracción de Oleaje en el puerto de Manzanillo; Galicia (1994), sobre un estudio de Análisis Espectral en el puerto de Manzanillo y Gámez (1994), en la obtención de datos mareográficos y metereológicos del puerto de Manzanillo, en cooperación con la NOAA.

En los aspectos socioeconómico y de impacto ambiental, se tienen entre otros los trabajos de: Ortiz (1989), sobre el desarrollo costero del municipio de Manzanillo; Cárdenas (1990), sobre la elaboración de un estudio de impacto ambiental; Lara (1993), sobre planta de tratamiento de aguas negras en Manzanillo; Ruiz (1994), Características socioeconómicas y ambientales de la zona costera del estado de Colima y Olvera (1996), con un ejemplo de procedimiento sistemático para establecer las medidas de prevención ante la alarma de un maremoto en la costa oeste de México.

En base a lo anterior, es importante determinar la calidad bacteriológica que presenta la bahía de Manzanillo y continuar con los estudios que se realizan en forma sistemática para caracterizar el aspecto de sanidad de dicha bahía y por consiguiente la de los habitantes de la región y turistas que la visitan a lo largo del año.

## CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

La bahía de Manzanillo se localiza entre los  $19^{\circ}05'27''$  y  $19^{\circ}03'01''$  de latitud norte y  $104^{\circ}17'25''$  y  $104^{\circ}21'01''$  de longitud oeste, con una abertura de boca de 3.04 MN aproximadamente en dirección NW-SE entre Punta Santiago y Punta Ojo de Agua, con profundidad promedio de 42.5 m y máxima de 60 m entre Punta Santiago y Punta Ventanas y mínimos menores de 10 m cerca de la línea de costa. Dentro de esta bahía se encuentra el Puerto Interior y la Dársena (Fig. 1).

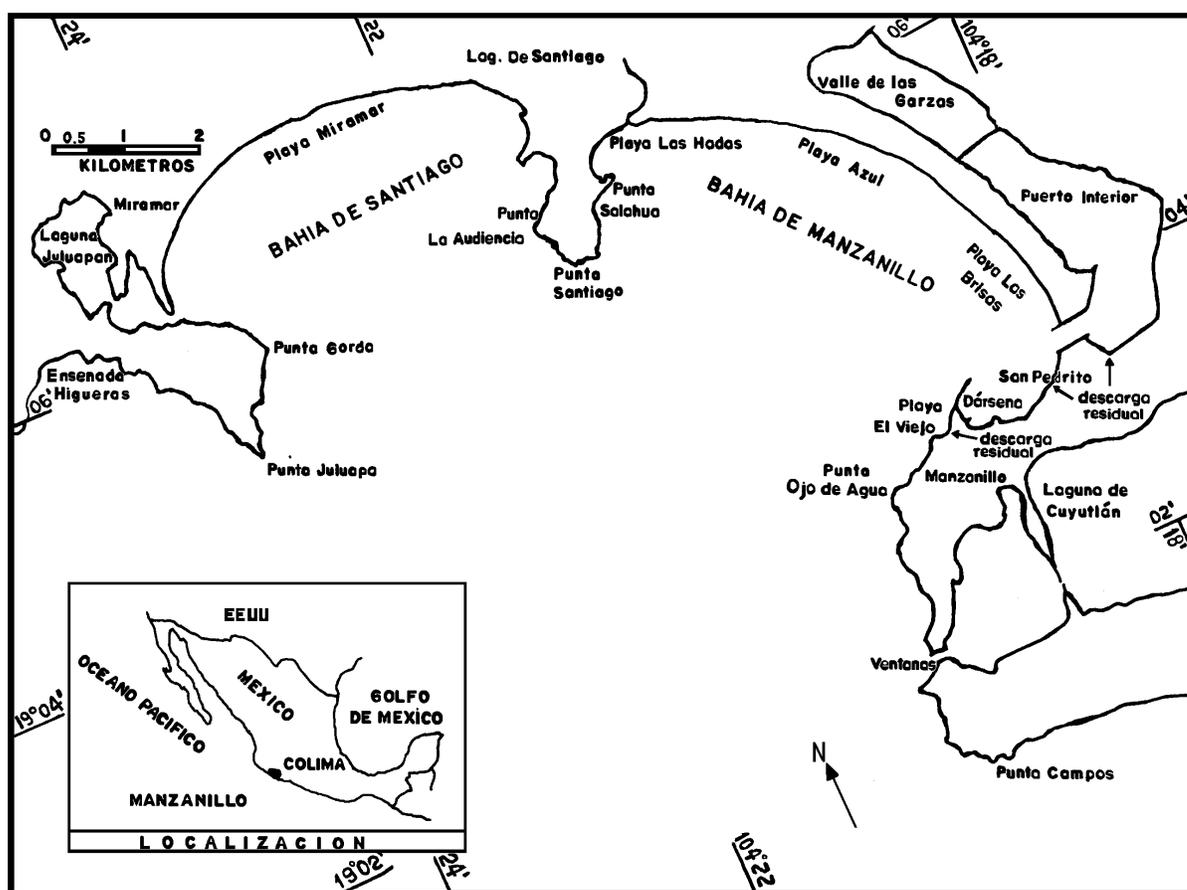


Figura 1. Localización del área de estudio.

### 2.2 CLIMA

El clima de la región es de tipo Aw (m) que significa tropical subhúmedo con lluvias en verano (García, 1973). Sin embargo, no hay un cambio térmico bien definido, la temperatura del aire presentó en 1994 valores medios de  $27^{\circ}\text{C}$  en verano y  $23^{\circ}\text{C}$  en invierno, con promedios anuales de  $25.38^{\circ}\text{C}$ , máximos de  $27.62^{\circ}\text{C}$  y mínimos de  $23.13^{\circ}\text{C}$ , así como registros mínimos extremos de  $15.8^{\circ}\text{C}$  en el mes de marzo, y máximos de  $33.5^{\circ}\text{C}$  en agosto, Gámez (1994 NOAA y SM.), aunque se han reportado temperaturas extremas de  $38.6^{\circ}\text{C}$  como máxima y  $11.4^{\circ}\text{C}$  como mínima (García, 1973).

La presión atmosférica en 1994 presentó un promedio anual de 1010.98 mb, con un ciclo de 2 mínimos y 2 máximos observados por día, máximo promedio de 1012.7 mb y mínimo promedio de 1008.6 mb, así como registros mínimos extremos de 990.01 mb (durante el huracán Calvin, julio 1993) y máximos extremos de 1018.09 mb en noviembre (Gámez, NOAA y SM, 1994, reporte técnico). El promedio anual de la precipitación pluvial es de 943.7 mm en época de lluvias de junio a octubre y de noviembre a mayo prácticamente no se presenta precipitación alguna (García, 1973; SMN, Estación Manzanillo, SARH, 1991-1995).

Los vientos dominantes del W y WNW de 6.8 m/s ocurren generalmente de noviembre a junio y del S y SSE de 15 m/s, de julio a octubre, aunque se han detectado vientos del NE, SE, y SSW en épocas de tormentas (Galicia, 1987 y Reyes, 1988; Fig. 2).

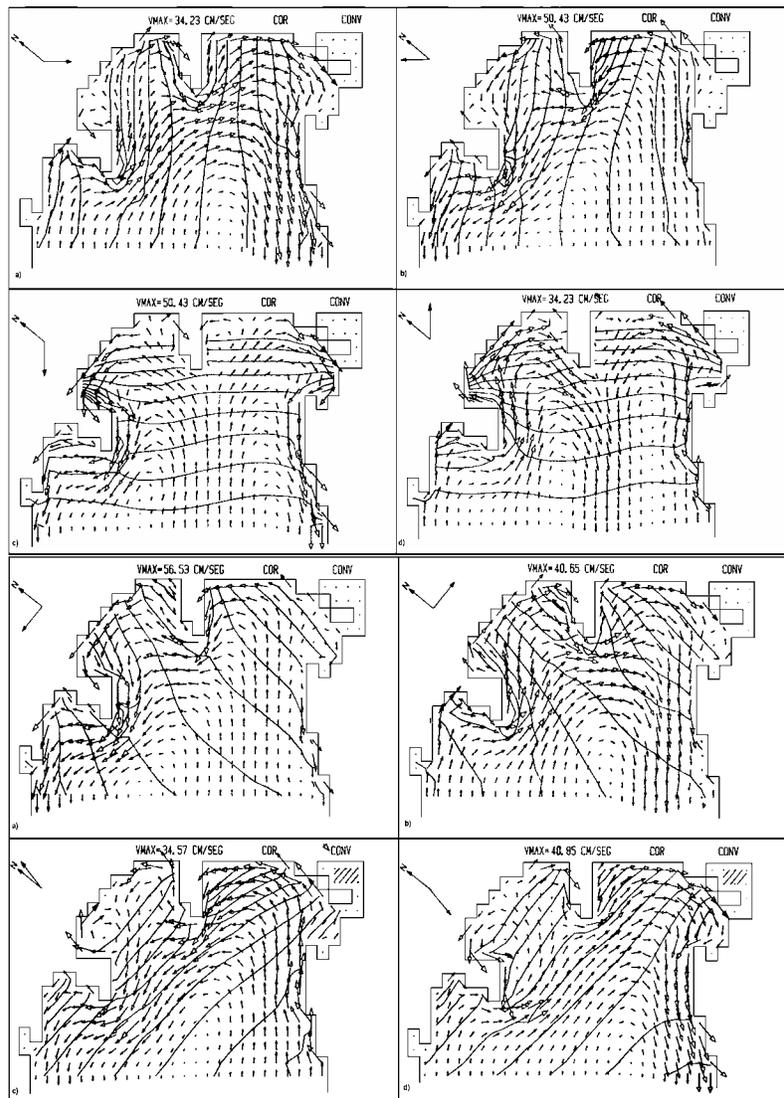


Figura 2. Patrón estacionario de velocidades de corriente y de variaciones del nivel de agua producidas por los vientos de 15m/s, considerando términos de Coriolis y convectivos (basado en Galicia 1987).

### 2.3 OLAJE

El oleaje se comporta estacionalmente; la altura media anual de la ola se estima menor o igual a 2.75 m, y son predominantes durante el año las provenientes del W, con un 22%, del NW con un 17.8 % y del sur con un 12.1%. Olas con alturas mayores de 2.75 m llegan procedentes del N y NNW principalmente durante el invierno y las provenientes del S y SW durante el verano. Las condiciones del oleaje y Swell en la entrada al Puerto Interior, son: oleaje del WNW: dirección S 85 W; con una altura de 1.43 m; Swell del S: dirección S 86 W; altura de 0.39 m y Swell del SW: dirección N 87 W; altura 0.63 m (JICA, 1985; Galicia, 1987 y Reyes, 1988; Fig. 3).

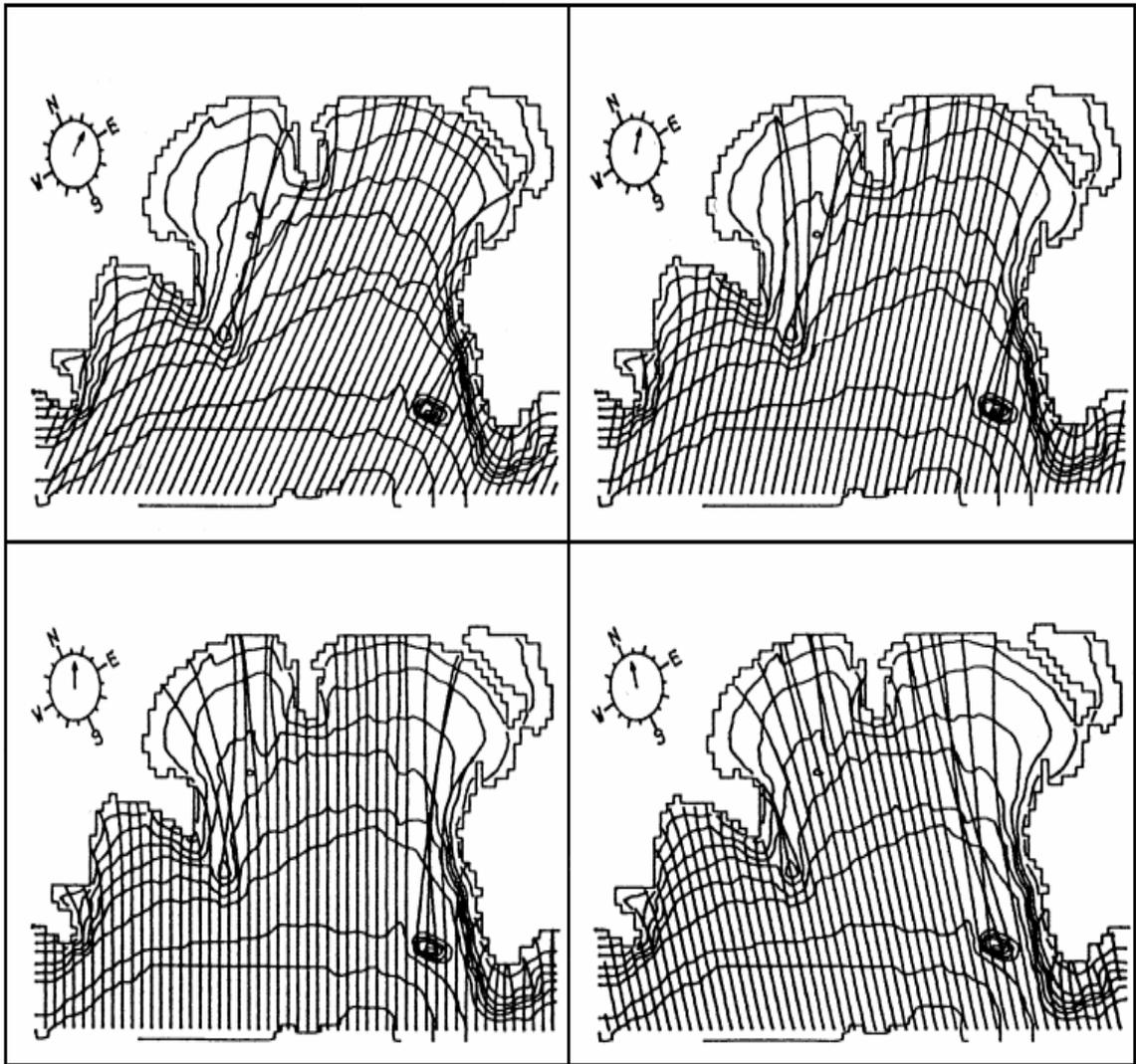


Figura 3. Diagrama de refracción de oleaje con periodo de 10 s en la bahía de Manzanillo-Santiago. La flecha indica el sentido de propagación del oleaje en aguas profundas (basado en Galicia, 1987).

## 2.4 MAREAS

El régimen de mareas para el puerto de Manzanillo es mixto semidiurno, ocurriendo dos pleamares y dos bajamares al día. Unos días antes y después del cuarto creciente y menguante la marea se convierte en diurna. La amplitud media es de 0.36 m con promedio de amplitud entre los rangos de pleamar a bajamar media de 0.54 m y de pleamar media superior a bajamar media inferior de 0.73 m (Calendario de Mareas, Inst. Geofis. UNAM, 1994).

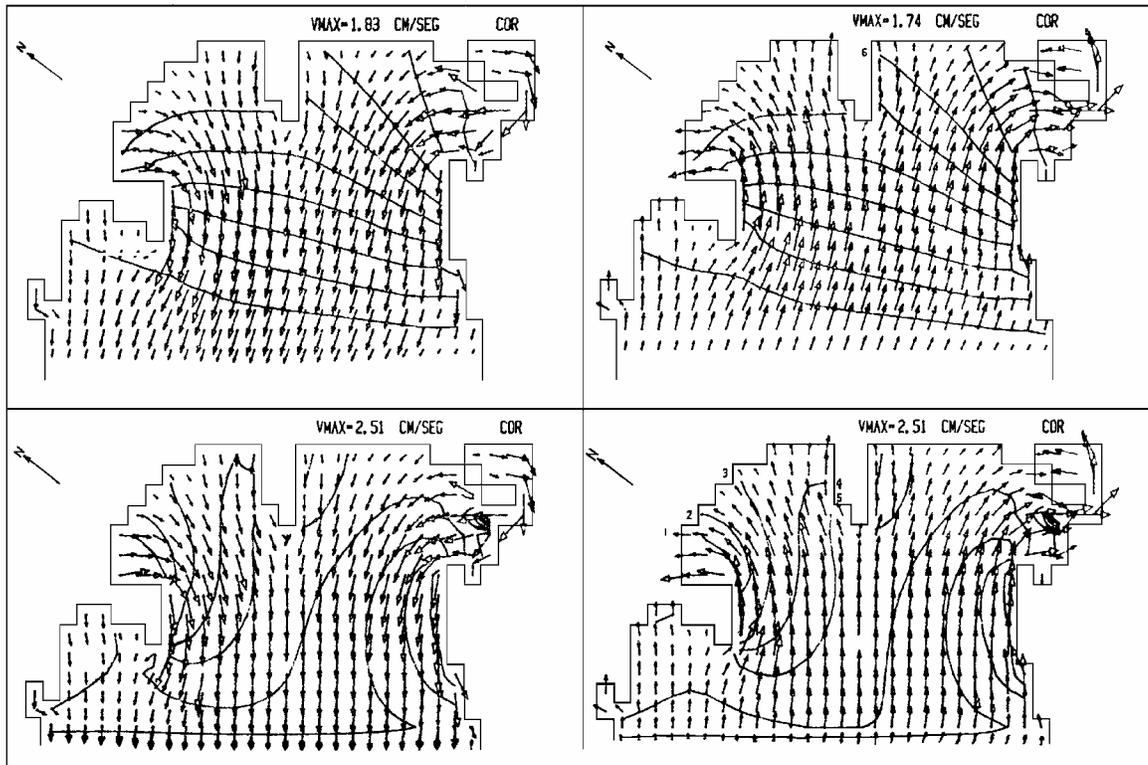


Figura 4. Patrón de velocidades de corriente y de variaciones del nivel del agua por octavos de período de la componente de marea  $M_2$  considerando los términos de Coriolis y convectivos, además una amplitud de 30 cm (basado en Gaviño y Galicia 1993).

Con base en los estudios realizados por Galicia (1987); Reyes (1988); Gaviño y Galicia (1993), en las bahías de Manzanillo y Santiago la marea se propaga de una manera homogénea, esto es, no existe desfase en la entrada de las pleamares y bajamares entre puntos en el interior de las bahías. Las corrientes de marea durante el flujo, muestran una tendencia ciclónica en el área de Santiago y anticiclónica en la de Manzanillo; mientras que en el refluo esta tendencia se invierte y la dirección de la corriente tiende a ser perpendicular a la línea de costa, siendo la corriente de marea del orden de 1.5 cm/s. Las mínimas velocidades se presentan en pleamar y bajamar así como sus máximos en los nodos (Fig. 4 y 5).

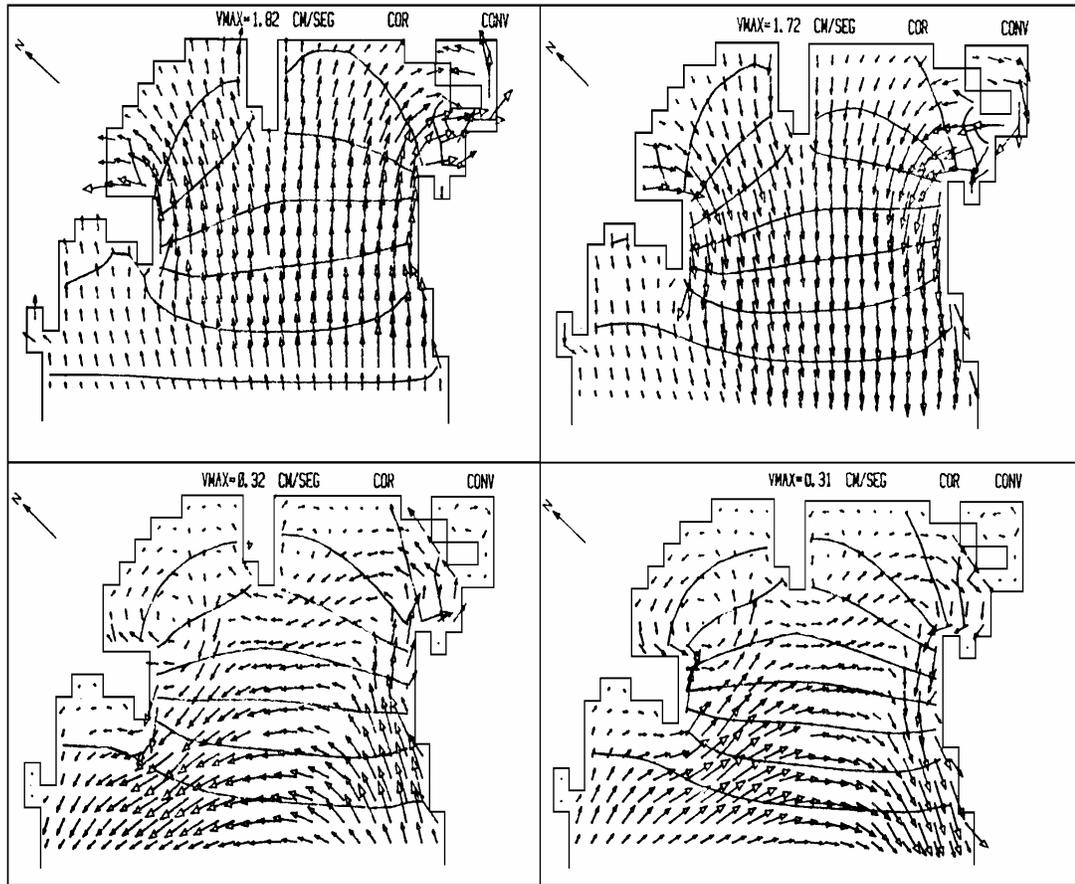
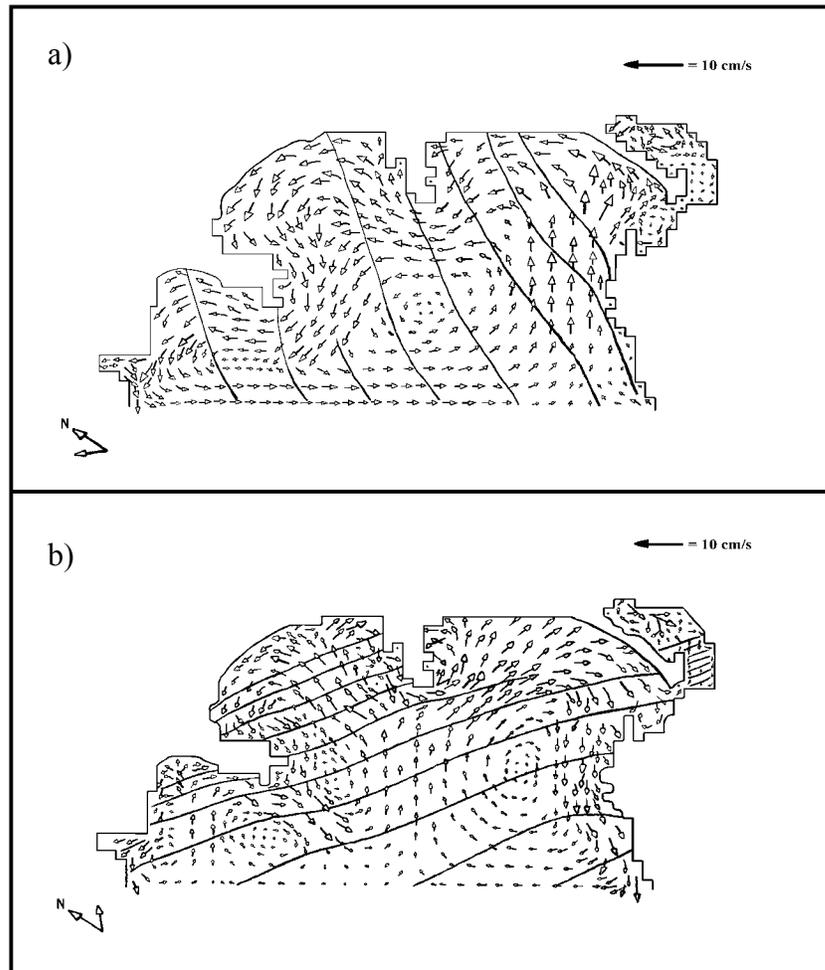


Figura 5. Patrón de velocidades de corriente y de variaciones del nivel del agua por octavo de período de la componente de marea  $M_2$ , considerando los términos de Coriolis y convectivos, además una amplitud de 30 cm. (basado en Gaviño y Galicia 1993).

## 2.5 PATRÓN DE CIRCULACIÓN

El área marina cercana al puerto de Manzanillo es afectada por una rama de la Contracorriente Ecuatorial que avanza a lo largo de la costa oeste de México hasta la altura de la boca del Golfo de California en verano y la corriente de California que presenta aguas frías y de baja salinidad hacia el sur a lo largo de la costa de Baja California y que en invierno alcanza la costa oeste de México, por lo que fuera de esta bahía, en verano la corriente es predominantemente hacia el norte y en invierno hacia el sur (SM, 1973; JICA, 1985; Galicia, 1987 y Reyes, 1988; Figs. 6 y 7).

El patrón de circulación de la corriente marina ocasionada por la acción de los vientos dominantes en el área, forma giros ciclónicos y anticiclónicos, dependiendo de la dirección y velocidad del viento y topografía de la costa, pudiendo alcanzar hasta 56.53 cm/seg. con un viento del ESE de 15 m/s.



Figuras 6a y 6b.- Patrón estacionario de velocidades y de variaciones del nivel del agua, ocasionados por vientos de 15 m/s (basado en Gaviño y Galicia, 1993).

Para un viento del NE, la corriente entra por el centro de la bahía, divergiendo a la altura de punta Santiago y sale por las márgenes de ambas bahías. Este tipo de corrientes genera tres giros, uno anticiclónico en la bahía de Manzanillo, otro ciclónico en el área de la bahía de Santiago y otro en la ensenada de Higueras (Figura 6a).

Con viento del SE la corriente penetra por punta Ventanas abarcando la mitad de la entrada a la bahía donde se localiza el centro de un giro ciclónico, sigue la configuración de la costa bordeando el área de Manzanillo, la península de Santiago, el área de Santiago, la punta Juluapan y la ensenada Higueras por donde sale (Figura 6b).

Las corrientes producidas por los vientos procedentes del SW penetran por las márgenes de la bahía convergiendo a la altura de la península de Santiago, donde inicia su salida por el centro de

la bahía originando tres giros: un anticiclónico hacia el área de Santiago, otro ciclónico en la ensenada Higuera y un tercero ciclónico hacia el área de Manzanillo. (Figura 7a)

El viento del NW invierte el proceso, la corriente penetra por la ensenada de Higuera, continua por Punta Juluapan bordeando la línea de costa, la bahía de Santiago y Manzanillo y sale por punta Ventanas en donde se forma el giro anticiclónico desplazándose hacia Punta Ventanas en el centro de las dos bahías y donde se observan las mayores velocidades de la corriente de salida (Figura 7b).

Y por último con viento del WNW la corriente penetra desde la mitad de la bahía, donde se localiza un giro anticiclónico hasta ensenada Higuera, bordeando por Punta Juluapan, las playas del área de Santiago y Manzanillo fluye a la altura de Punta Ventanas, en donde se crea una pequeña contracorriente. Con viento del ESE se invierte el patrón pero se crea una contracorriente desde el Muelle de PEMEX hasta Punta Ventanas (Galicia, 1987; Gaviño y Galicia, 1993).

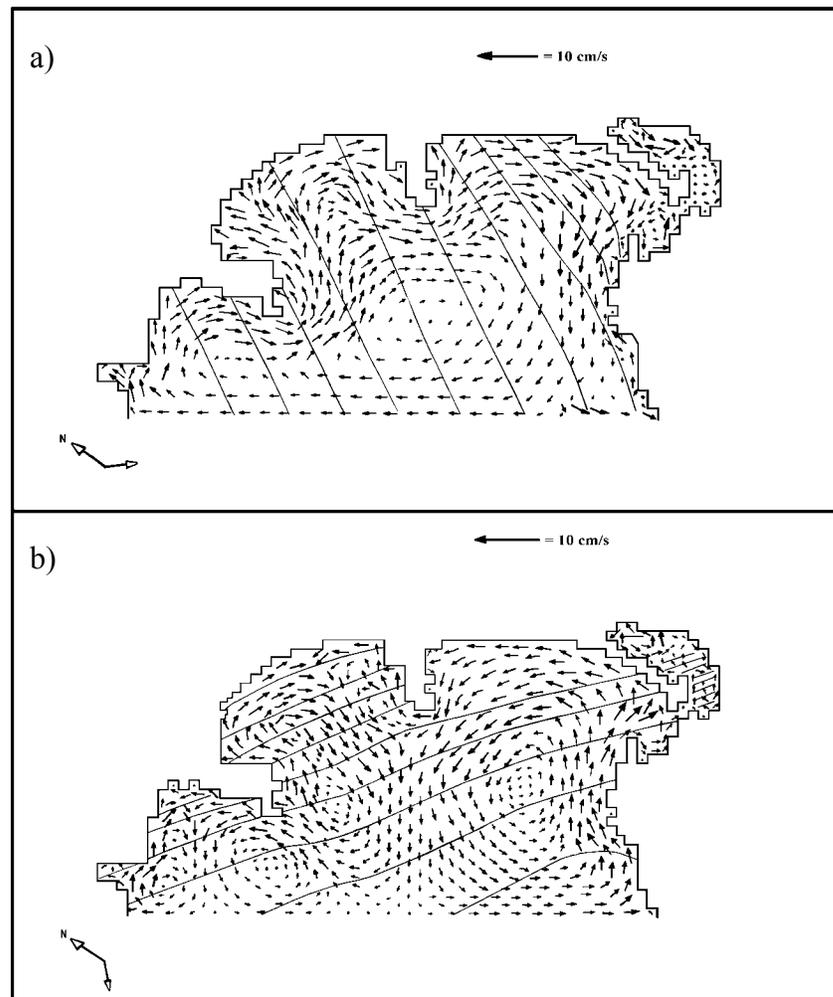


Figura 7a y 7b. Patrón estacionario de velocidades y de variaciones del nivel del agua ocasionado por vientos de 15 m/s (basado en Gaviño y Galicia, 1993).

En el Puerto Interior, la acción de los vientos dominantes del oeste (W 6.8 m/s), muestra ser favorable a la circulación por marea, mientras que los vientos fuertes del sur (15 m/s), que soplan paralelos al eje longitudinal, favorecen el arrastre de agua hacia el extremo cerrado cuando un gradiente de presión se le contraponen. Las velocidades son de aproximadamente 4 cm/s y la acción de los vientos ocasiona giros en las masas de agua, considerándose como un cuerpo marino de deficiente autolavado, favoreciendo procesos de sedimentación y concentración de contaminantes (Reyes, 1988; Figs. 8 y 9).

De acuerdo con Gaviño (1993), los puertos interior y exterior no son afectados considerablemente por el oleaje directo que penetra en la bahía; sin embargo, en las cercanías de la dársena, muelle de PEMEX, en ocasiones se presentan ciertas oscilaciones del nivel del mar que provocan movimientos en los barcos y llegan a ocasionar choques contra el muelle o entre ellos y parece que dichas oscilaciones corresponden a modos de resonancia (o seiches) debido a la topografía y construcciones de esta zona.

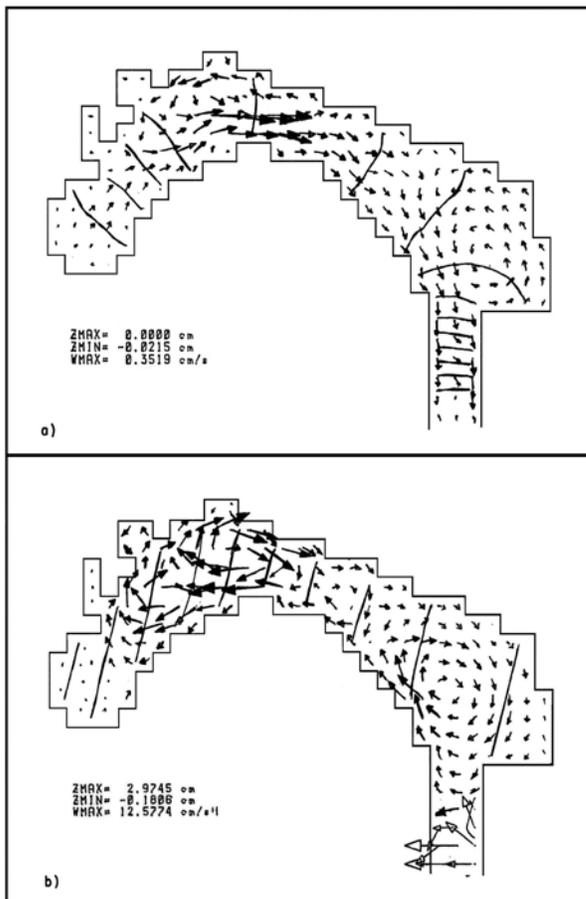


Figura 8. Corrientes residuales en el puerto interior a) de una marea  $M_2$  con amplitud de 36 cm b) de una marea  $M_2$  con una amplitud de 36 cm y la acción de un viento del S de 15 m/s durante un período (basado en Reyes, 1988).

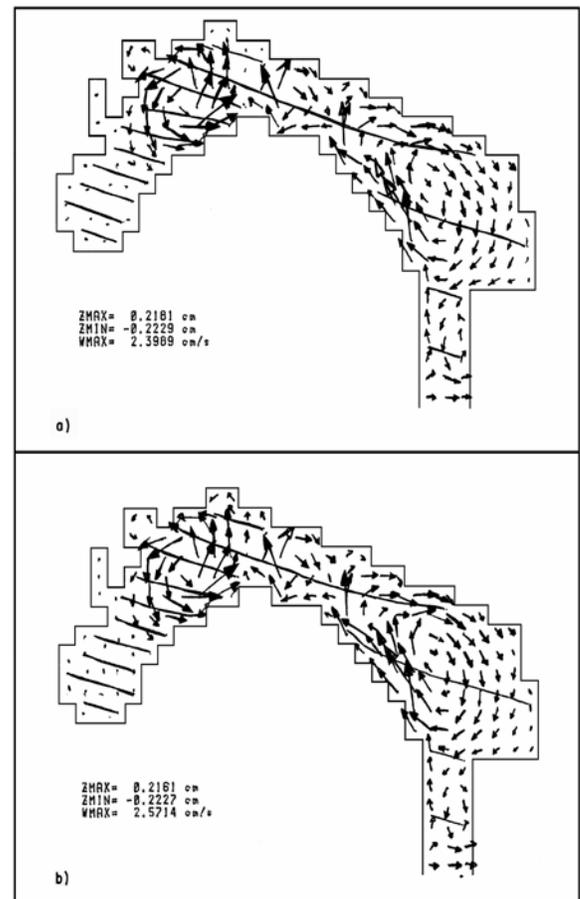


Figura 9. Corrientes residuales en el puerto interior de una marea  $M_2$  con amplitud de 30 cm y la acción de un viento del W de 6.6 m/s. Durante a) primer período y b) segundo período (basado en Reyes 1988).

Galicia (1994), en su "Estudio de Análisis Espectral en el puerto de Manzanillo" concluye que de acuerdo a los espectros calculados mediante la Transformada Rápida de Fourier, los registros del nivel de la superficie del mar muestran claramente los efectos de resonancia en el Puerto Interior y Exterior; el período más significativo se encuentra alrededor de los 36 minutos.

## 2.6 BATIMETRÍA

La batimetría de la bahía presenta isóbatas más o menos paralelas a la línea de costa, hasta una profundidad aproximada de 30-40 m. Sin embargo, por abajo de las 50 brazas (91 m), se observa la presencia de tres cañones submarinos paralelos, cuyos ejes están dirigidos el primero hacia la bahía de Manzanillo, el central hacia la bahía de Santiago y el tercero corre paralelo a la costa noroeste de la ensenada Higueras (Fig. 10).

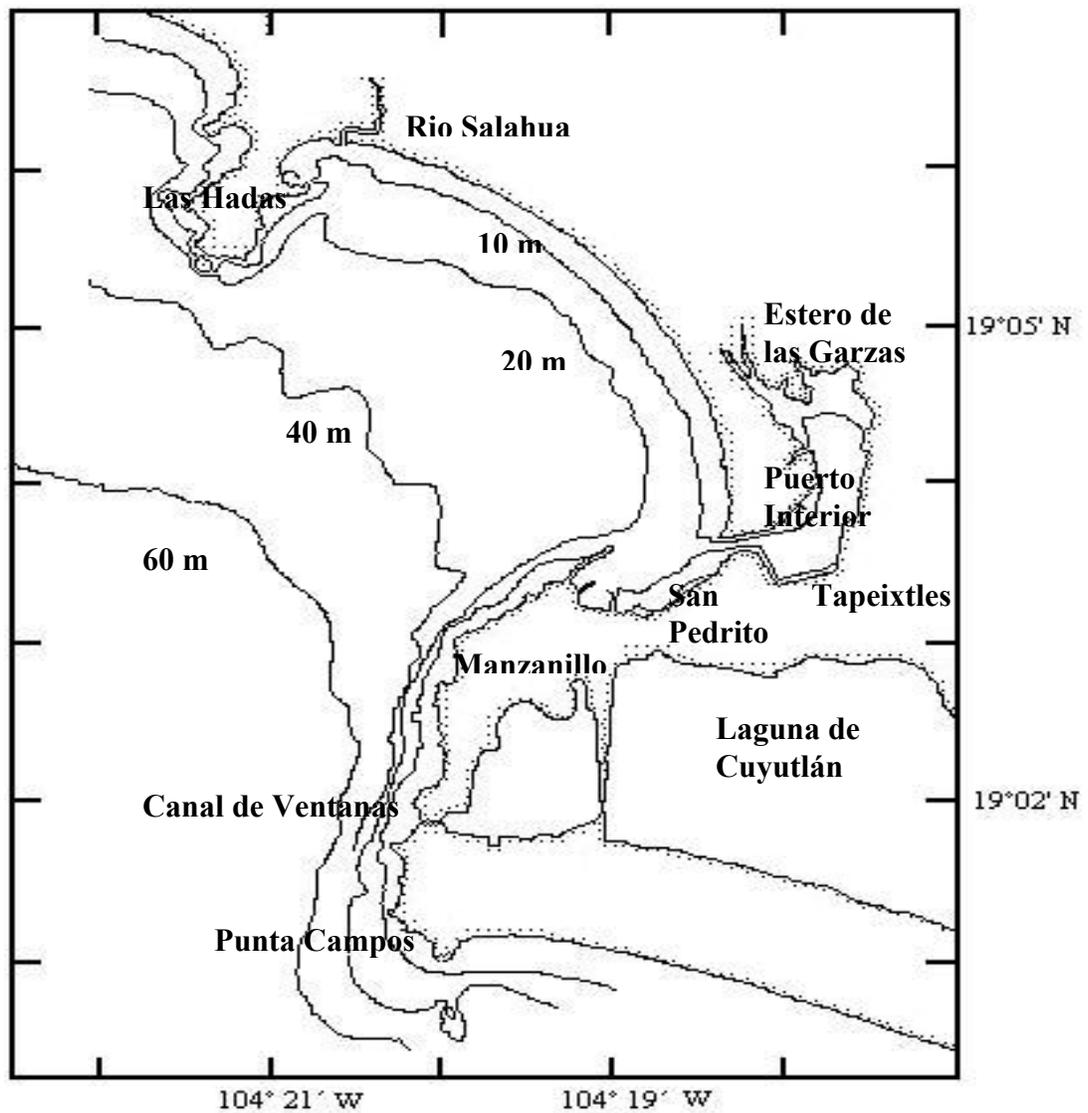


Figura 10.- Batimetría del área de estudio en metros.

La bahía de Manzanillo contiene a las Lagunas de San Pedrito, Tapeixtles y Estero de las Garzas, el cual corre paralelo a la bahía y está limitado por una barra arenosa. Dentro de dicha laguna se encuentra establecido el Puerto Interior de San Pedrito, el cual se abre a la bahía por un canal de acceso de 200 m de amplitud.

## 2.7 ASPECTOS GEOLÓGICOS

De acuerdo con la clasificación de las Unidades Morfotectónicas continentales de las costas Mexicanas (Carranza *et al.*, 1975), la bahía de Manzanillo se ubica en la VIII Unidad Morfotectónica, que comprende una longitud aproximada de 1,260 km, desde Puerto Vallarta, Jalisco, hasta Tehuantepec, Oaxaca. Se encuentra en la Planicie Costera Sur Occidental, la cual limita al norte con la Sierra Madre del Sur, al oeste con la Cordillera Neovolcánica y al este con el Portillo Ístmico (Tamayo, 2002). Las provincias fisiográficas (Álvarez, 1962), 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 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.

Las rocas más abundantes en la parte continental son metamórficas e ígneas con edades paleozoicas y posiblemente precámbricas.

La costa del estado de Colima posee un relieve montañoso, a excepción de las cuencas de Colima y Tecomán, fuertemente disecado por erosión lineal. La orientación de las cadenas montañosas es preferentemente NW-SE, pero ésta dirección dominante está recortada por sierras N-S, lo que engendra una topografía relativamente compleja (Lancin y Carranza, 1976).

La zona de Manzanillo se encuentra dentro de cuatro provincias geológicas diferentes. Al NW se ubica el batolito granítico de Jalisco, al N se encuentra la terminación de las ingnimbritas de la sierra Madre Occidental, al E con los volcanes Nevado de Colima y el Volcán del Fuego que forman parte del Eje Neovolcánico; al SE se encuentra el complejo metamórfico sedimentario de la Sierra Madre del Sur (Lancin y Carranza, 1979).

De acuerdo con la clasificación de Inman y Nordstrom (1971), estas costas son de colisión continental. Se trata de una zona tectónica activa, localizada cerca del contacto entre la Placa de Cocos y la Placa de América del Norte.

La caracterización geomorfológica y genética de Shepard (1973), indica que predominan las costas primarias, formadas por movimientos diastróficos, con fallas y costas de escarpes de falla. En menor grado, en éstas se presentan 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.

Debido a que la orografía de la región es muy accidentada, los cauces menores y escurrimientos provenientes de los cerros adyacentes descargan a la bahía, de los cuales derivan

materiales provenientes de las puntas de Juluapan, Santiago, los macizos rocosos de San Pedrito, Manzanillo, así como los de los cerros el Vigía, Ventanas y el de Punta Campos.

Las puntas rocosas y pequeñas penínsulas son típicas del litoral. Así, se tiene a las Puntas Juluapan, Gorda, Salahua, La Audiencia, Santiago, Chiquita, Del Viejo, Ojo de Agua, Ventanas y Campos. En éste tipo de costas rocosas un rasgo morfológico distintivo está indicado por las playas de bolsillo tales como las de Tortugas, Del Viejo, de Ventanas, etc., situadas hacia el NW del Canal de Ventanas y formadas por la acumulación de arena, precisamente entre dos puntas rocosas. Las playas son arenosas, a excepción de una pequeña playa, dispuesta al NNE de Punta Juluapan formada por guijarros (Vallarino, 1979).

En torno a la bahía afloran rocas ígneas intrusivas dioríticas, tanto ácidas e intermedias como básicas de edad mesozoica en la parte septentrional, nororiental y al oriente, cuyos macizos rocosos constituyen los cerros localizados en las inmediaciones de los poblados de Camotlán, Jalipa y Francisco Villa principalmente, cuyos materiales sedimentarios son transportados por los arroyos de Punta de Agua y el Jalipa.

Al sur de la bahía, el macizo rocoso que conforma las puntas de Campos, Ventanas, el Cerro del Vigía, al pie de los cuales se asienta la Ciudad y Puerto de Manzanillo, el Pico de San Pedrito y el Cerro de Tapeixtles. Al sur de dicho poblado está constituido por rocas ígneas extrusivas ácidas, como riolitas intermedias o basálticas principalmente, cuya edad geológica corresponde al Cenozoico Superior volcánico del Terciario.

La bahía de Manzanillo presenta cantidades mayores de minerales ligeros destacando el cuarzo y feldespato. Sin embargo, son considerables también las magnetitas que se concentran durante las temporadas de tormentas, formando laminaciones alternadas de minerales pesados y ligeros o intermezclados (Zepeda *et al.*, 1987).

En cuanto a sedimentología, Zepeda *et al.* (1987), reporta que las playas de la bahía de Manzanillo se encuentran constituidas por arenas medias o gruesas con sorteo pobre en la región central y tendencias a mejor sorteamiento hacia el noroeste y sureste respectivamente. Los sedimentos del fondo están constituidos por arenas finas, o medias, que van desde moderadas a pobremente clasificadas con el aumento de la profundidad. La fracción arena incluye el 34.28% y la fracción arena lodosa el 57.14%. Zepeda *et al.* (1987) efectuaron estudios texturales de los sedimentos a lo largo de las playas del estado de Colima y, de manera general, los asocian con los rasgos geomorfológicos de los litorales, el tamaño medio de las partículas y con las condiciones de energía ejercidas sobre las bermas formadas a lo largo de las bahías de Manzanillo y Santiago después del paso de una tormenta, encontrando con esto una buena asociación, sugieren además, que la kurtosis es muy significativa en bermas localizadas en playas con mayor exposición al oleaje donde se registraron valores de kurtosis de 0.91-1.10 cuyo término verbal corresponde ser para curvas mesokurticas. Carranza (2001), considera la zona en la que incluye al puerto de Manzanillo como en la región 8 caracterizada por un clima subhúmedo con playas compuestas por arena media moderadamente bien clasificada con fuerte influencia del oleaje y en menor medida de la corriente litoral.

Esta zona es considerada de alta sismicidad debido a que la costa oeste de México está asociada con una de las zonas sísmicas más activas del hemisferio norte, como es la subducción entre la Placa de Cocos y la Placa de Norteamérica, que es responsable de la actividad tectónica de la región (Carranza, 2002) y que ha generado durante este siglo aproximadamente 35 terremotos de magnitud mayor de 7.0 grados en la escala de Richter (Ms), de los cuales 22 han sido generadores de maremotos locales y seis han dejado sentir sus efectos en la costa de Manzanillo y el último en octubre de 1995, generó ondas estacionarias que penetraron al puerto interior con un efecto sobre el espigón y estructuras de ingeniería dentro del mismo (Olvera, 1996).

Los asentamientos urbanos terrestres a lo largo de la bahía son: las Hadas, Salahua, Valle de Las Garzas, Las Brisas, Tapeixtles, San Pedrito y el Puerto de Manzanillo (Ortiz Guerra, 1989; Fig. 11).

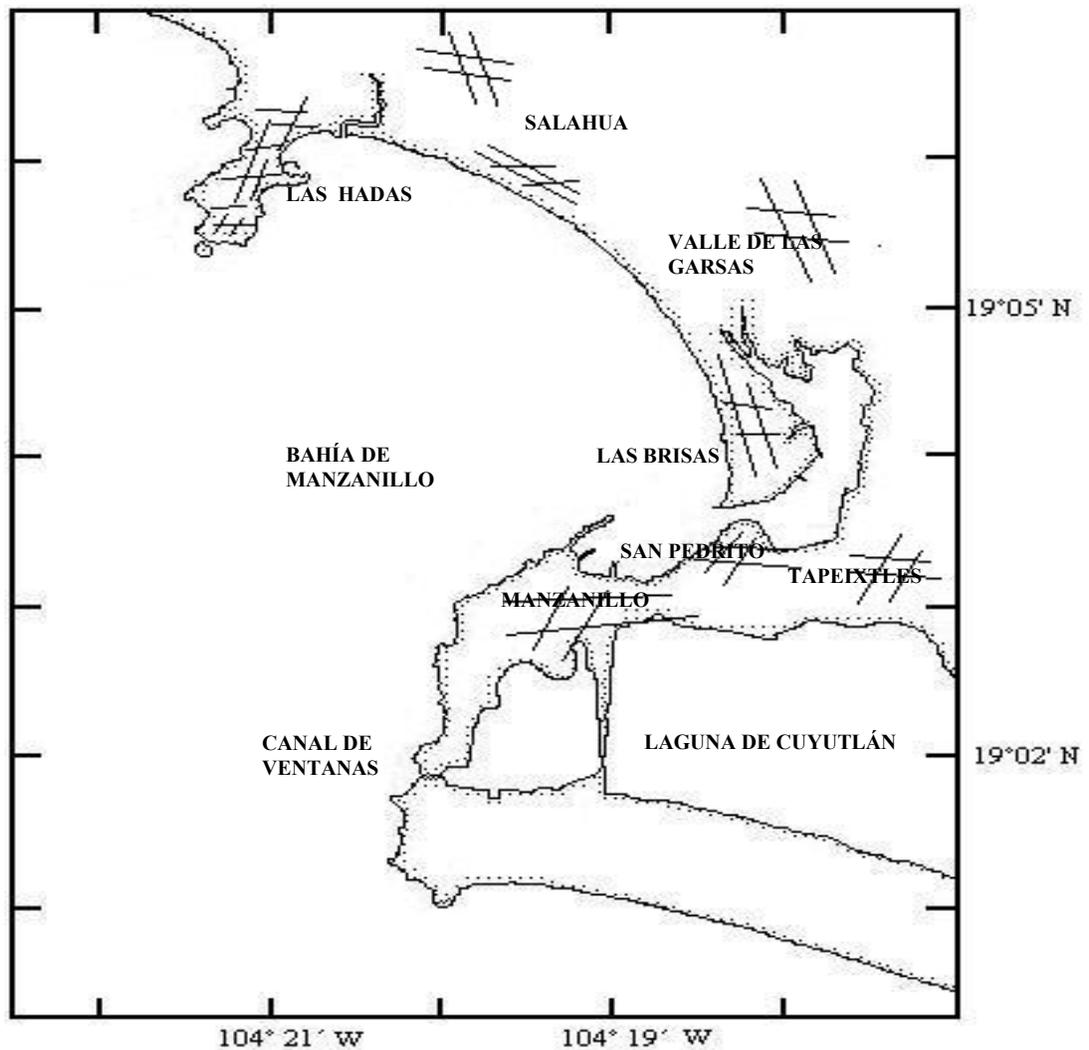


Figura 11. Asentamientos humanos en el área de estudio.

## 2.8 RECURSOS PESQUEROS

La región del Puerto de Manzanillo cuenta con diferentes recursos pesqueros que se extraen en forma artesanal principalmente en el Puerto Interior y zona costera o mediante un avío de pesca cuando la actividad se realiza en la zona costera o fuera de la bahía. Espino *et al.* (2003), mencionan que se capturan alrededor de 109 especies en los litorales del estado de Colima y entre los que se encuentran: Anchoa (*Anchoa panamensis*); Anchoa ó Sardina (*Anchovia macrolepidota*); Cuatete (*Arius seemani*); Jurel o Zopilote (*Caranx vinctus*); Robalo Prieto o Constantino (*Centropomus nigrescens*); Sábalo (*chanos chanos*); Curvina (*Cynoscion xanthulus*); Mojarra charra o Blanquita (*Eucinostomus sp.*); Malacapa (*Diapterus peruvianus*); Mojarra rayada (*Gerres cinereus*); Guavina (*Gobiomorus maculatus*); Chupalado (*Gobionellus microdon*);. Aguja (*Hyporhamphus patris*); Gualicoche (*microgobius miraflorensis*); Lisa boca dulce (*Mugil cephalus*); Lisa o Liseta (*Mugil curema*); Piña o Palmilla (*Oligoplies altus*); y Chile (*Synodus sp.*); Núñez (1983), y Espino, *et al.* (2003), por mencionar algunos.

También, en las costas de este puerto se practica desde 1957 la pesca deportiva a nivel internacional y las especies que califican en los torneos son: Dorado (*Coryphaena hippurus*); Pez Vela (*Istiophorus platypterus*); Marlin (*Makaira spp*) ; Pez Sierra (*Scomberomorus sierra*); Barracuda (*Sphyrnaena barracuda*); y Atún (*Thunnus alalunga*), y ejemplares que pueden pescarse y estar entre los 2.5 a los 4 metros de largo (según la especie que se trate), llegando a capturar hasta 336 ejemplares en los distintos torneos que se realizan en febrero, mayo y noviembre.

## CAPITULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 ESTACIONES

La localización geográfica de las estaciones de muestreo en la Bahía de Manzanillo, es la siguiente: las cuatro primeras en el Puerto Interior, tres en el Puerto Exterior o Dársena y siete en la zona costra, centro y fuera de la bahía (Fig. 12).

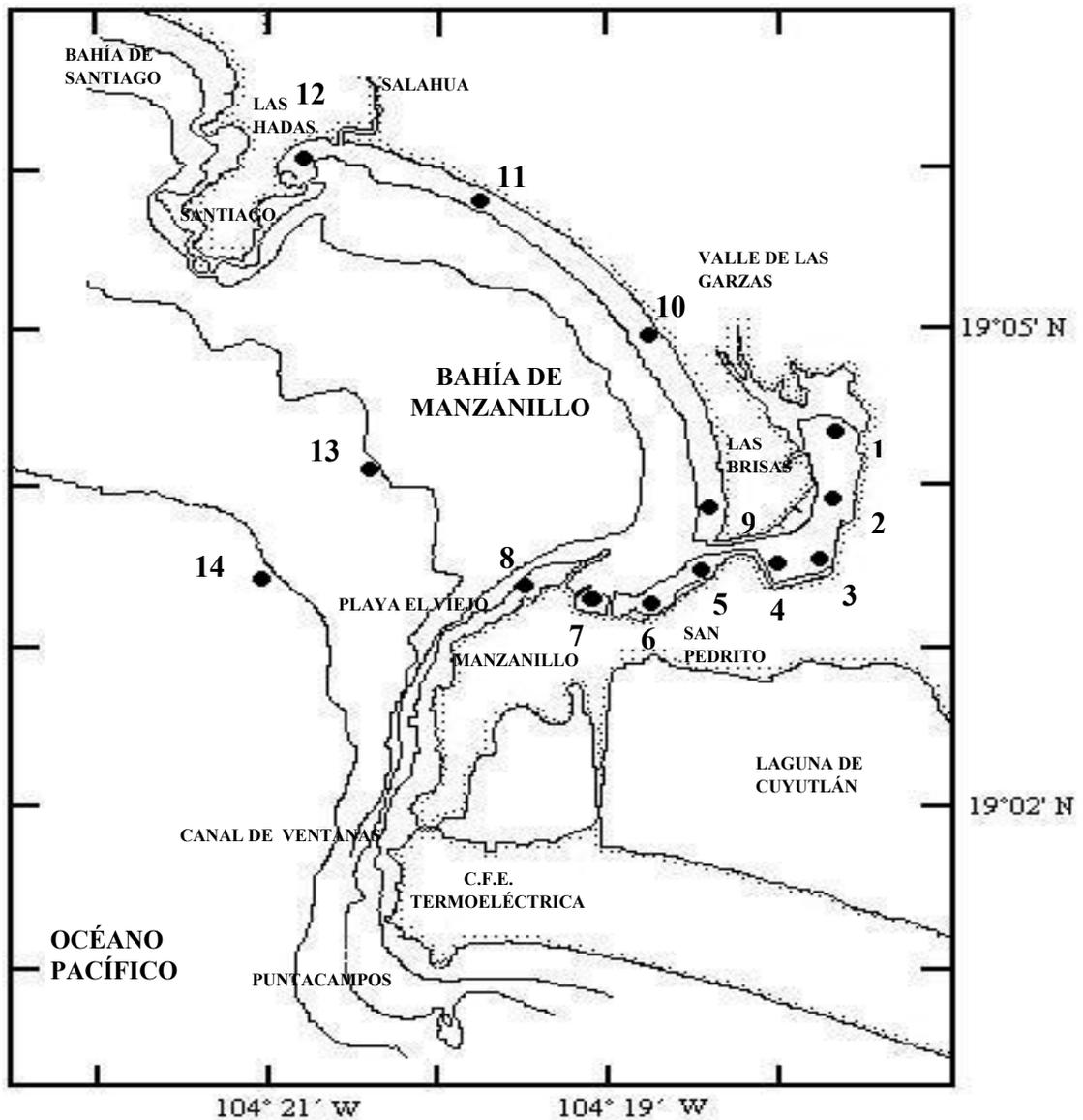


Figura 12.- Localización de las estaciones de muestreo  
(Los números indican la identificación de la estación de muestreo).

## CUADRO I.- Posición de los puntos de colecta de las muestras

	LATITUD (N)	LONGITUD (W)
1.- Puerto Interior parte mas interna	19° 04' 40"	104° 17' 43"
2.- Puerto Interior parte interna	19° 04' 04"	104° 17' 39"
3.- Puerto Interior banda 4 y 5	19° 03' 28"	104° 17' 43"
4.- Puerto Interior banda 3 y 4	19° 03' 24"	104° 18' 01"
5.- Playa de San Pedrito	19° 03' 22"	104° 18' 35"
6.- Dársena	19° 03' 14"	104° 18' 46"
7.- Dársena muelle de Pemex	19° 03' 16"	104° 19' 11"
8.- Playa el Viejo	19° 03' 25"	104° 19' 20"
9.- Zona costera frente a las Brisas	19° 04' 00"	104° 18' 25"
10.- Zona costera frente al crucero de las Brisas	19° 05' 04"	104° 18' 56"
11.- Zona costera cerca del río Salahua	19° 05' 49"	104° 19' 45"
12.- Zona costera en la playa de las Hadas	19° 05' 58"	104° 20' 51"
13.- Centro de la bahía	19° 04' 24"	104° 20' 44"
14.- Fuera de la bahía	19° 03' 48"	104° 22' 46"

### 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

La información obtenida en forma mensual y sistemática durante 5 años (1991-1995), permitió observar el comportamiento de las bacterias coliformes y evaluar el grado de deterioro ambiental así como de la calidad de agua que presentan los distintos cuerpos de agua en la bahía de Manzanillo, de acuerdo al aporte de terrígenos y materia orgánica de las poblaciones asentadas en las márgenes de la bahía de Manzanillo. Por otro lado, se corroboran los resultados con los obtenidos de los muestreos que realiza la Secretaría de Marina en forma continua en las bahías y puertos de la República Mexicana dentro de su proyecto de Protección al Medio Ambiente Marino.

#### a) Métodos de campo

Para la salida al campo, se recibió apoyo de la Oficina Coordinadora de Programas de Protección al Medio Ambiente Marino (PROMAM) de la Secretaría de Marina, con una lancha tipo boa de 5 m de eslora y motor fuera de borda de 50 Hp, que fue utilizada para realizar el recorrido y toma de muestras. El análisis fisicoquímico de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Contaminación del Instituto Oceanográfico del Pacífico de la misma Secretaría.

En campo se ubicó la estación por referencia con los rasgos fisiográficos de la costa y zona portuaria y en las estaciones del centro y fuera de la bahía con un GPS portátil. En los casos en que se observó la descarga de aguas residuales como fue en la zona de San Pedrito y la playa El Viejo (est. 5 y 8; Fig. 1) se trató de acercar lo más posible al emisor. La toma de la muestra se realizó cuando se tenía suficiente profundidad a dos niveles en la columna de agua (superficie y fondo). Para la muestra de fondo se determinó primero la profundidad, si era mayor de 20 m aproximadamente (est. 13 y 14; Fig. 12), en esta profundidad se obtuvo la primera muestra y en aquellos en donde era de 10 metros aproximadamente se tomó a un metro por encima del fondo aproximadamente (est. 1-4, 7 y 12; Fig. 12). Para las estaciones con profundidades menores a 10 metros (est. 5, 6, 8-11) la muestra superficial se colectó a medio metro de la superficie del agua aproximadamente.

La muestra para el análisis bacteriológico se colectó en un frasco de vidrio de boca ancha previamente esterilizado (ALPHA 1989), por debajo de la superficie del agua aproximadamente a medio metro teniendo cuidado de abrir y cerrar el frasco dentro del agua en el nivel deseado y se colocó en una hielera para mantener un ambiente fresco y su traslado al laboratorio.

Para los análisis físicos y químicos la muestra fue colectada con una botella Niskin de 1.7 litros de capacidad con un termómetro de inversión. Esta botella se sujetó a un cabo de polipropileno de 1/4" y en el extremo terminal el disco de Secchi y un muerto para tratar de mantenerla vertical. *In situ* se determinaron: temperatura con un termómetro de inversión y un termómetro de cubeta con rango de 0°C a 50°C, se tomó la muestra para oxígeno en una botella Wheaton fijándose inmediatamente en campo de acuerdo con el método Winkler modificado, se colocó en una reja protegida y se puso un sello de agua. Para determinar DBO y pH se colectó la muestra en un frasco de plástico con capacidad de un litro aproximadamente y para la salinidad en una botella de plástico de 300 mL. Se determinó la visibilidad con el disco de Secchi.

## **b) Métodos experimentales**

Para la determinación de los datos bacteriológicos se siguió el método del Número más Probable de bacterias coliformes /100 mL (NMP/100 mL) a través de los tubos de fermentación múltiple en series de tres tubos en 1991 y 1992 y en serie de 5 tubos en 1993, 1994 y 1995 propuesta por la APHA 1989 y 1992. Durante los primeros muestreos de 1991 se hicieron los ajustes en cuanto a las diluciones necesarias para determinar en qué zonas era conveniente hacerlas debido a que las tres primeras diluciones salieron positivas y a la abundancia de bacterias coliformes fecales.

La determinación del oxígeno se realizó el mismo día tan pronto se estuvo en el laboratorio mediante el método Winkler 1888 y modificado por Carpenter en 1965 utilizando 50 mL de la muestra por duplicado o triplicado cuando el caso lo requiso. Para el cálculo de la DBO<sub>5</sub> se siguió el método directo que consiste en airear la muestra por 10 minutos, se toman dos muestras de 300 mL en botellas Wheaton una se encuba a 20°C en la oscuridad por 5 días y la otra se deja en reposo por 15 minutos determinándose el oxígeno inicial con un oxímetro Mod. 54ª marca YSI y después de los 5 días se le determinó el oxígeno a la muestra encubada y se obtiene la diferencia entre el oxígeno inicial y el final dando el valor de la DBO expresado en mg/L. La salinidad se obtuvo utilizando un salinómetro digital Autosal 8400; (en 1978, los oceanógrafos redefinen la salinidad en Unidades Prácticas de Salinidad (PSU en inglés o UPS en español, como la relación de conductividad de una muestra de agua de mar con una solución estándar de KCl por lo tanto 35 UPS exactamente equivale a 35 g de sal por L de solución, aunque algunos autores mencionan que no es necesario poner unidades ya que se sobreentiende que es la salinidad y esta ya no tiene unidades, sin embargo pueden ser utilizadas). El pH se determinó con un potenciómetro Corning 220 (UpH) y la visibilidad de la columna de agua con el disco de Secchi de cara blanca de 20 cm de diámetro.

Se efectuaron 10 muestreos en 1991; 11 en 1992; 10 en 1993; 11 en 1994, y 12 en 1995, haciendo un total de 53 muestreos mensuales en el área de estudio, procurando que coincidieran

con la fecha del mes anterior, de acuerdo a las condiciones ambientales en el momento del muestro y a lo largo de todos los meses del año, excepto en diciembre que en la mayoría de los casos no se contaba con el personal de apoyo logístico para la realización del muestreo.

Se aplicó un modelo matemático que permite calcular la tasa de mortalidad de las bacterias coliformes y el  $T_{90}$  para el área de estudio de manera que permita conocer la distribución que pueden tener las bacterias con base en la velocidad y dirección del viento, corrientes y marea en la zona de estudio, así como la influencia de los parámetros ambientales sobre la supervivencia de estos organismos (Manzini, 1987; Crane y Moore 1986; Canteras *et al.* 1995 y Sarikaya y Saatci, 1995).

En el procesamiento de la información se empleó el análisis de Fourier que consiste en que cualquier serie temporal se puede considerar como la suma de componentes periódicos senoidales cuya frecuencia es un número entero o sea de una componente igual al período total, la siguiente componente con periodo a la mitad, la siguiente a la tercera parte, y así sucesivamente. A mediados del siglo XX dos matemáticos diseñaron un método para el cálculo rápido denominado transformada rápida de Fourier (FFT) que ha tenido mucha aceptación y se utiliza actualmente en forma generalizada para determinar si existe alguna periodicidad que obedezca a algún ciclo natural en los datos obtenidos. El software para el cálculo de la transformada rápida de Fourier se encuentra incluido en el programa de Windows Microsoft Excel.

En el análisis de Fourier para cada frecuencia o período da dos resultados: la amplitud y la fase, de ésta manera se determinan cuales componentes son los más relevantes. La amplitud no corresponde estrictamente a la amplitud de la onda sino a un valor proporcional a la energía (amplitud al cuadrado) y se le denomina densidad de energía. Los resultados de FFT se grafican usualmente en el eje horizontal la frecuencia (mas que el período) y en las ordenadas la densidad de energía. Lo anterior nos permite obtener en un espectro los distintos componentes de la función y su contribución a ésta. El espectro permite analizar la periodicidad de los distintos eventos, así como qué tanto aportan cada uno al parámetro observado y si éstos están determinados por algún factor cíclico.

Con objeto de determinar si existe correlación entre la presencia y NMP/100 mL de bacterias coliformes fecales con relación a los parámetros ambientales de temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, DBO y transparencia, se calculó la correlación de Pearson.

Para el análisis de componentes principales se utilizó el software de estadística (Statistic 99' StatSoft Inc.), que permite conocer y agrupar a los sitios con características similares y el comportamiento en forma mensual a través de los años de muestreo.

Para determinar la distribución y comportamiento anual se realizó el análisis del NMP/100 mL de bacterias coliformes fecales mediante un paquete de interpolación Surfer 8 (Golden Software Inc. USA 2002).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los cinco años de estudio, se sembraron 735 muestras en donde se determinó un intervalo de  $< 3$  a  $< 2,400,000$  NMP/100mL de bacterias coliformes. Debido a que la presencia de bacterias fecales está directamente relacionada con el aporte de materia orgánica procedente del tracto digestivo de los organismos de sangre caliente, se determinó dentro de este estudio, el porcentaje que representa este grupo dentro de las bacterias coliformes totales y de las cuales se encuentran los géneros: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Escherichia*, *Salmonella*, *Proteus*, *Shigella*, *Yersinia* y *Klebsiella* (Prescott *et al.*, 2002) y se encontró que en 144 muestras el NMP/100mL de bacterias coliformes fecales fue de  $< 3$  que corresponde al 19.59%; en 221 muestras el NMP/100mL se encontró entre  $> 3$  y  $< 1,100,000$ , que representa el 30.07% y en 370 muestras el NMP/100mL de bacterias fecales fue del 100%, esto significa que, de acuerdo a la técnica todas fueron bacterias fecales (Fig. 13).

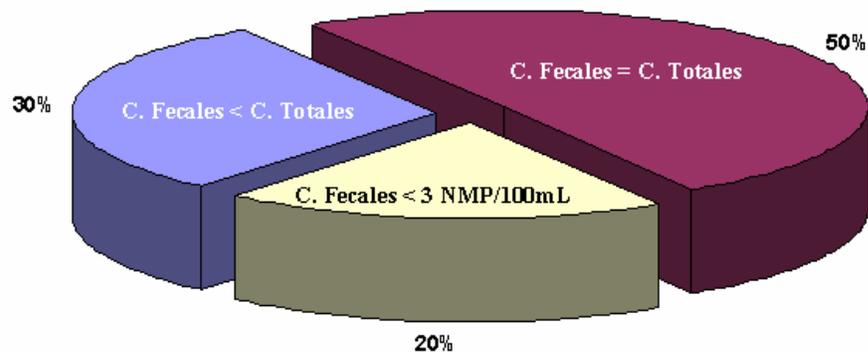


Figura 13.- Relación de bacterias coliformes fecales y totales en el estudio.

Para evaluar la relación entre las dos variables se determinó el índice de correlación de Pearson entre el NMP/100mL de bacterias coliformes totales y fecales; se calculó un índice de 0.840, por lo que se puede decir que existe una relación directa entre unas y otras, esto es, una variable es dependiente de la otra, de hecho como se menciona arriba en el 50% de las muestras las coliformes fecales representaron el 100%.

Al graficar el NMP/100mL de bacterias coliformes totales y fecales como se observa en la Figura 14, se encontró que la nube de puntos resultante de la representación gráfica de 735 muestras del NMP/100mL de las bacterias coliformes totales y fecales se ubica prácticamente en el punto de intersección del eje de las X y Y y muestra la dependencia entre las dos variables, ya que una está incluida en la otra. Sarikaya y Saatci (1995), mencionan que se puede utilizar a las bacterias coliformes totales como indicadores de contaminación ya que las tasas de mortalidad de las totales y fecales son iguales en agua de mar y ambas son utilizadas en los estudios de calidad de agua en zonas costeras.

Asimismo como se aprecia en la Figura 15 y para corroborar lo antes mencionado, homogeneizar los datos y ajustarlos a una distribución normal, (APHA, 1989), se graficó el log del NMP/100mL de bacterias coliformes totales y fecales y se encontró que las bacterias coliformes fecales se encuentran dentro de las totales.

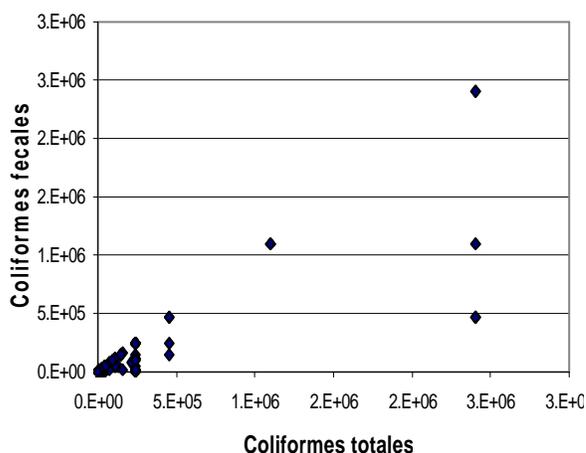


Figura 14.- NMP/100 mL de bacterias coliformes totales y fecales N = 735.

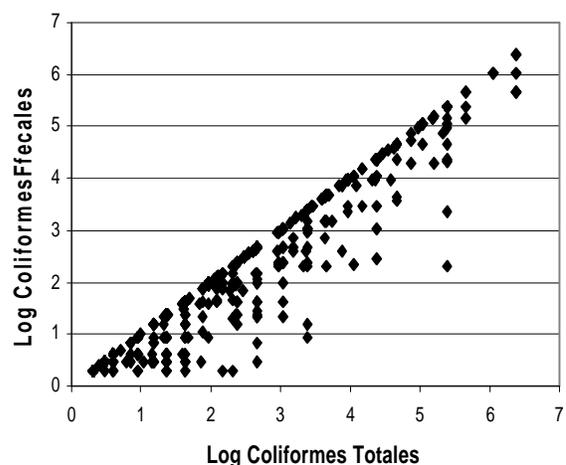


Figura 15.- Log del NMP/100mL de bacterias coliformes totales y fecales N = 735.

Con los datos de los parámetros ambientales que se registraron junto con las bacterias coliformes como fueron temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y transparencia, se elaboró la matriz de correlación para obtener la relación entre cada una de las variables obtenidas y las coliformes fecales. (Cuadro II).

**CUADRO II.-** Coeficiente de correlación de las variables ambientales.

	COL/FEC NMP/100mL	COL/TOT NMP/100mL	TEM/SUP °C	pH/SUP Unidades	SAL/SUP UPS	OXI/SUP mL/L	DBO/SUP mL/L	VISIBILIDAD m.
COL/FEC	1	<b>0.9774</b>	-0.1798	-0.2451	-0.2886	-0.4706	0.09	-0.3592
NMP/100mL	p= ---	<b>p=.000</b>	p=.539	p=.398	p=.317	p=.089	p=.760	p=.207
COL/TOT		1	-0.1775	-0.1867	-0.2476	-0.4089	0.0529	-0.3635
NMP/100mL		p= ---	p=.544	p=.523	p=.393	p=.147	p=.857	p=.201
TEM/SUP			1	-0.5093	<b>-0.6216</b>	0.1002	<b>0.8083</b>	-0.5082
°C			p= ---	p=.063	<b>p=.018</b>	p=.733	<b>p=.000</b>	p=.064
pH/SUP				1	<b>0.9272</b>	<b>0.719</b>	<b>-0.5624</b>	<b>0.5975</b>
Unidades				p= ---	<b>p=.000</b>	<b>p=.004</b>	<b>p=.036</b>	<b>p=.024</b>
SAL/SUP					1	0.5596	<b>-0.7078</b>	<b>0.5654</b>
UPS					p= ---	p=.037	<b>p=.005</b>	<b>p=.035</b>
OXI/SUP						1	0.0922	0.2492
mL/L						p= ---	p=.754	p=.390
DBO/SUP							1	-0.6279
mL/L							p= ---	p=.016
VISIBILIDAD								1
m.								p= ---

N = 14, 735 muestras.

COL/FEC = coliformes fecales; COL/TOT = coliformes totales; TEMP/SUP = temperatura superficial; pH/SUP = Potencial de hidrógeno; SAL/SUP = salinidad superficial; OXI/SUP = oxígeno superficial; DBO/SUP = demanda bioquímica de oxígeno en superficie; VIS = visibilidad.

La correlación es significativa a una  $p < 0.05$ . El valor de p representa un índice decreciente de la confiabilidad del resultado, entre más alto sea el valor de p, la probabilidad de que la relación entre las variables seleccionadas sea fortuita es más alta.

En el Cuadro II también se puede observar que la correlación entre el promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales y fecales es muy buena con un valor de 0.9774 y valor de p de 0.0, mientras que las correlaciones entre los parámetros ambientales determinados fluctuaron entre 0.09 para la demanda bioquímica de oxígeno y de -0.4706 para el oxígeno disuelto, lo que significa que la presencia o ausencia y cantidad de las bacterias coliformes fecales es independiente del comportamiento de los parámetros ambientales (Prescott *et al.* 2002).

Sin considerar algún otro factor que pueda alterar la presencia, abundancia y tiempo de residencia (tasa de supervivencia) de las bacterias coliformes fecales en el agua de mar, la distribución de los promedios mensuales en los años de muestreo en el área de la bahía de Manzanillo, la Figura 16a-l muestra que en condiciones en las cuales no hay intervención del viento, oleaje y corrientes de marea se tienen valores altos cercanos a las descargas de aguas residuales en la playa El Viejo, en San Pedrito y en el Puerto Interior banda 4 y 5 del muelle fiscal en todos los meses del año y desde estos puntos se distribuye a través de la bahía, esperando tener valores altos de estos microorganismos en las playas de Las Brisas, a lo largo de la zona costera y en el centro de la bahía. Sin embargo, los valores encontrados en las zonas muestreadas que corresponden a la zona costera (est. 9-11) no presentaron valores altos de coliformes fecales y estuvieron siempre dentro de los límites permisibles para aguas recreativas con contacto primario. En el área de Las Hadas y fuera de la bahía (est. 12-14), en algunas ocasiones se presentaron coliformes fecales, esto se puede explicar debido a que las bahías de Manzanillo y Santiago se ven favorecidas por los patrones de corrientes producidas por los vientos dominantes procedentes del W y WNW con velocidad de 6.8 m/s aproximadamente de noviembre a junio y del S SSE de 15m/s aproximadamente de julio a octubre (Galicia, 1987 y Reyes, 1988), aunque se han detectado vientos W, NE, ESE, SE, NW Y WNW que permiten tener un flujo continuo con velocidades de hasta 56.53 cm/seg (Gaviño y Galicia 1993) y que produce varios patrones de corrientes dentro de la bahía que se podrían explicar la presencia de coliformes de la siguiente manera:

Un primer patrón de corrientes lo dan los vientos procedentes del NE, la corriente entra por el centro de la bahía, divergiendo a la altura de punta Santiago y saliendo por las márgenes de ambas bahías y formando tres ciclos, uno anticiclónico en la bahía de Manzanillo, otro ciclónico en el área de la bahía de Santiago y un tercero anticiclónico en la ensenada de Higuera lo que permitiría sacar las bacterias que son vertidas en la playa de San Pedrito, la Dársena y en la playa El Viejo hacia mar abierto por punta Ventanas y también acarreado bacterias al centro de la misma bahía (Figs. 6a y 16 ).

Un segundo patrón de corrientes lo dan los vientos del SE. La corriente penetra por punta Ventanas, abarca la mitad de la entrada a la bahía donde se localiza el centro de un giro ciclónico que prácticamente abarca las dos bahías, sigue la configuración de la costa bordeando el área de Manzanillo, la península de Santiago, el área de Santiago, la punta Juluapan y la ensenada Higuera lo que implica la distribución de las bacterias coliformes fecales procedentes del Puerto Interior, Dársena y Playa El Viejo a través de toda la zona costera de las dos bahías y sin embargo no se detectaron valores altos en la zona costera (est. 9-11), excepto en la ensenada de Las Hadas, lo que podría confirmar que están entrando al sistema por descargas de aguas residuales procedentes de los asentamientos humanos en la península (Figs. 6b y 16).

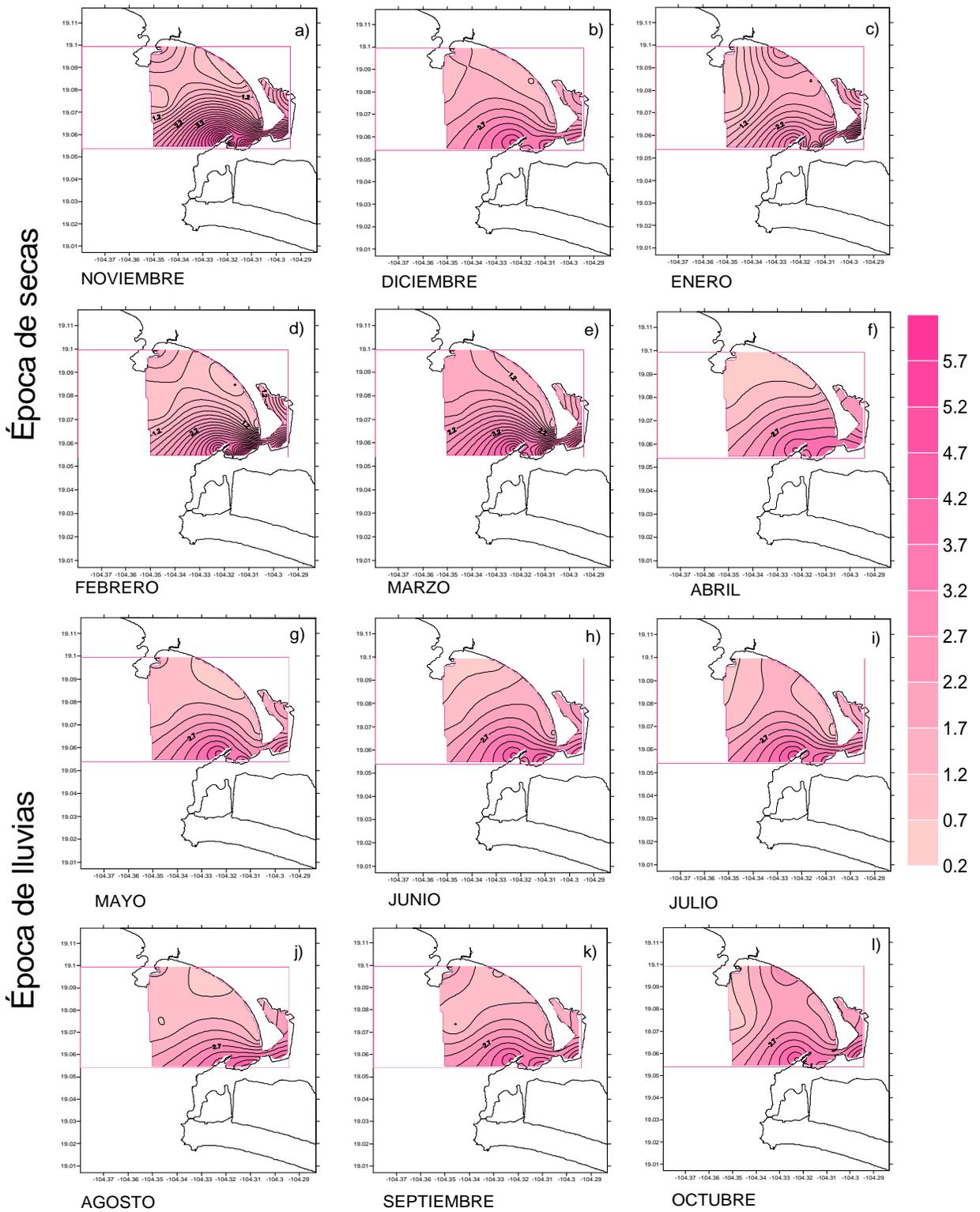


Figura 16.- Distribución espacial del Log de los promedios mensuales de las bacterias coliformes fecales en la bahía y Puerto de Manzanillo, durante 1991-1995.

El tercer patrón de corrientes lo da los vientos procedentes del SW, la corriente penetra por las márgenes de ambas bahías convergiendo a la altura de la península de Santiago, donde inicia la salida por el centro originando tres giros: uno anticiclónico en la bahía de Santiago, otro ciclónico en la ensenada Higuera y otro ciclónico en la bahía Manzanillo, este patrón de corrientes puede distribuir las bacterias a través de la costa desde la playa El Viejo las introduce en la Dársena y el Puerto Interior y hasta punta Santiago y saldrían hacia el centro de las dos bahías, sin embargo, nuevamente los valores obtenidos en la zona costera no corroboran este patrón ya que no se determinaron bacterias coliformes en la zona costera, pero si se observaron valores de coliformes fecales en la zona de Las Hadas, lo que se podría explicar por la aportación de aguas residuales procedentes de la península de Santiago que no tienen que ver con las aportadas en la playa El Viejo (Figs. 7a y 16).

Por último, con vientos procedentes del NW invierte el proceso, la corriente penetra por la ensenada Higuera, punta Juluapan, sigue bordeando la línea de costa de la bahía de Santiago y Manzanillo y sale por punta Ventanas en donde se observan las velocidades mayores de corriente de salida. Este patrón favorece un giro anticiclónico en el centro de las dos bahías y podrían distribuir parte de las bacterias hacia el centro y fuera de la bahía, lo que puede confirmarse por la presencia en determinadas épocas de estos microorganismos en el área del centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14; Figs. 7b y 16).

#### **4.1 MODELO DE DIFUSIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE BACTERIAS COLIFORMES FECALES.**

A continuación se plantea un modelo de difusión que explica los principales cambios que se presentan en la distribución encontrada de las bacterias coliformes fecales en la bahía de Manzanillo debidas al aporte de estos microorganismos por las descargas del drenaje urbano.

**4.1.1 Difusión espacial.** El gasto de la descarga del emisor depende fundamentalmente de la población urbana que prácticamente es constante excepto en los momentos de afluencia turística en épocas de vacaciones como Semana Santa, verano y diciembre o algún puente vacacional. Como no se cuenta con los datos diarios de la descarga se asume que la descarga es constante.

Cuando se tiene una fuente constante de contaminantes como en este caso, la dispersión de los contaminantes espacialmente sigue el patrón de dispersión radial de una fuente y por tanto la densidad de la sustancia emitida disminuye en razón inversa al cuadrado de la distancia que corresponde a una distribución circular. La difusión es esencialmente en dos dimensiones porque el coeficiente de difusión vertical es muy pequeño comparado con el horizontal (Neumann y Pierson, 1966). Sin embargo esta dispersión radial no explica el decaimiento de las observaciones que se presentan en la Figura 16 del capítulo IV que es mucho mayor.

Se conocen por los modelos numéricos los patrones de distribución de corrientes, en el caso de ser preponderantes modificarían la distribución circular deformándola en el sentido de la corriente. Las corrientes, en este caso en particular, no alteran en forma significativa la dispersión radial que se mantiene aproximadamente en los casos de la Figura 16.

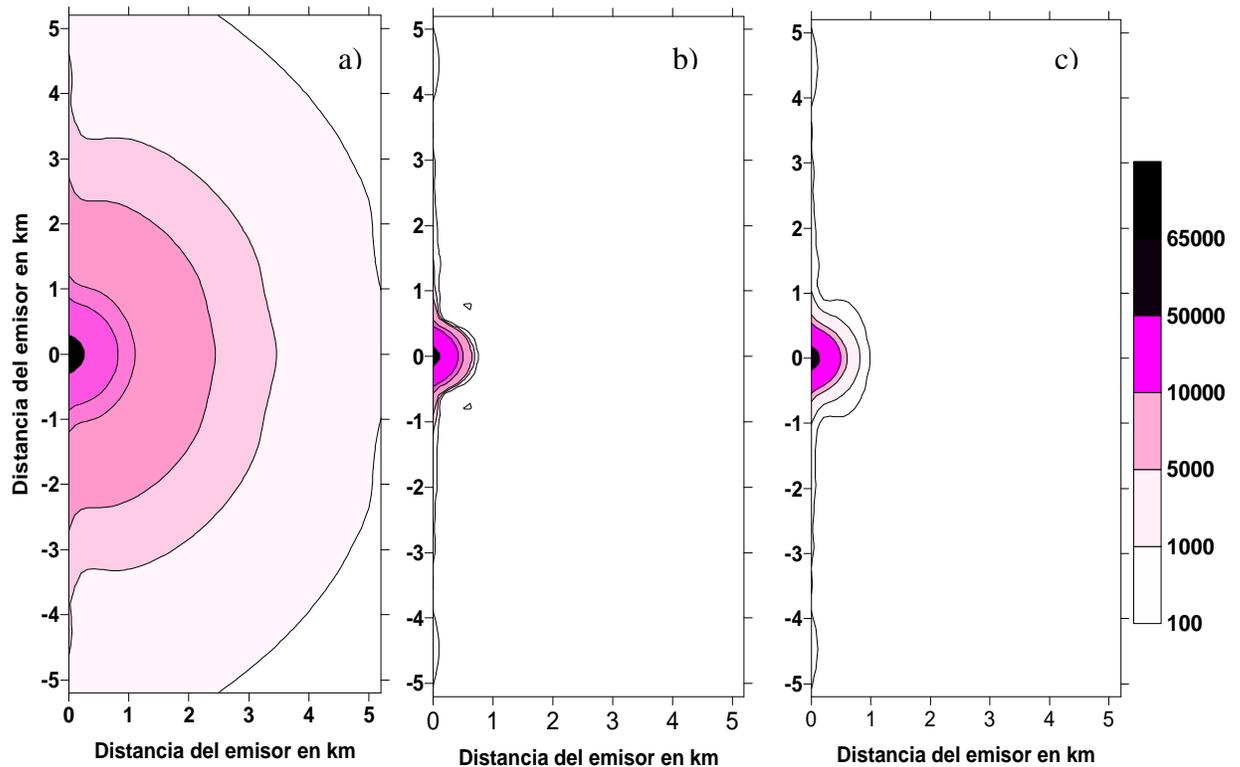


Figura 17.- a) Decaimiento radial exclusivamente  $A/r^2$  b) Decaimiento radial conjuntamente con decaimiento exponencial  $Be^{-Cr}/r^2$  debido a la exposición a la radiación solar y c) Observaciones reales.

En base a lo anterior, se tienen las siguientes consideraciones:

- Existe una fuente constante de coliformes (emisor) en una localidad muy cercana a la costa.
- Existe un decaimiento espacial radial que puede ser modificado por el patrón de oleaje o corrientes.
- Debe existir un decaimiento en tiempo a la vez que radial y este se debe a las condiciones ambientales que es del tipo exponencial decreciente (de oscuridad a luz, de agua dulce a salada, cambios en el pH) y el de la temperatura tiene un comportamiento *sui generis*. Dichos factores son los reportados en la literatura como los más importantes en la degradación de las coliformes en condiciones naturales (Manzini, 1978; Solic y Krstulovic, 1992; Crane y Moore, 1986). Se analizan los efectos de radiación solar (luz), salinidad, temperatura y pH.

**4.1.2 Radiación solar.** De acuerdo con los estudios realizados por diversos autores este es el efecto más importante en la mortalidad de las coliformes, el decaimiento es exponencial decreciente como se indica en la Figura 17 en la que se presenta solo un segmento ya que sale de la escala seleccionada para poder percibir el efecto de los otros parámetros.

**4.1.3 Salinidad.** Las coliformes cuando son sometidas a un cambio brusco de la salinidad se rompe la pared de las células que es el caso del agua residual que es dulce y

posteriormente su ingreso al agua de mar. El modelo de Manzini (1978) para la mortalidad  $K$  es:  
 $K = 0.8 + 0.006(\% \text{ de agua de mar})$  o en unidades UPS  $K = 0.8 + .0166667 * S(UPS)$

**4.1.4 Efecto del pH.** En el presente estudio el pH no afecta drásticamente a la mortalidad de las coliformes según lo indica la Figura 17, sin embargo, dada la pequeña variación del pH (Solic y Krstulovic, 1992), en el mar este factor es de pequeña importancia.

**4.1.5 Temperatura.** El punto más importante que es necesario resaltar es que las coliformes presentan crecimiento no mortandad a la temperatura ambiente. El coeficiente de mortalidad no tiene un comportamiento exponencial decreciente (Prescott *et al.*, 2002) y solo fuera de ciertos intervalos  $<14^\circ\text{C}$  o mayores a  $45^\circ\text{C}$  hay mortalidad. Otros autores obtuvieron datos de mortalidad en agua de mar (Manzini, 1978) que probablemente se deba al efecto dominante de la salinidad. Además el comportamiento del coeficiente  $K$  es parabólico y no exponencial decreciente. En la Figura 17 se muestra su comportamiento en relación con los otros parámetros. Por estas circunstancias y el valor de baja mortalidad el efecto térmico no se incluye en el modelo.

Para calcular la  $K$  a partir de  $T_{90}$  se utiliza la fórmula:  $K = -\frac{\ln(C/C_0)}{T_{90}}$  donde  $C/C_0 = 0.1$

#### Tiempo de decaimiento de las coliformes fecales para diferentes parámetros.

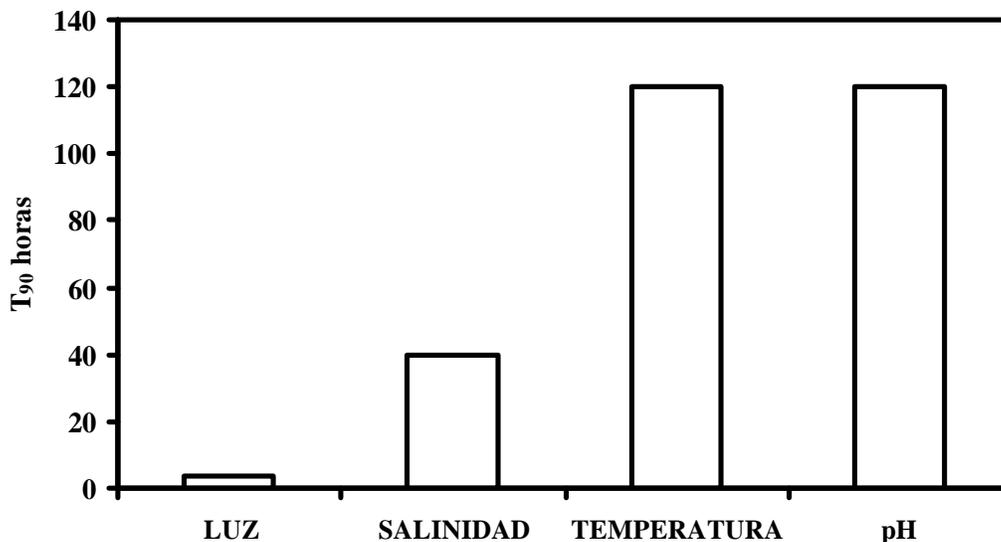


Figura 18.- a) Efecto de los parámetros ambientales en la mortalidad de las coliformes. (Tiempo aproximado de degradación.)

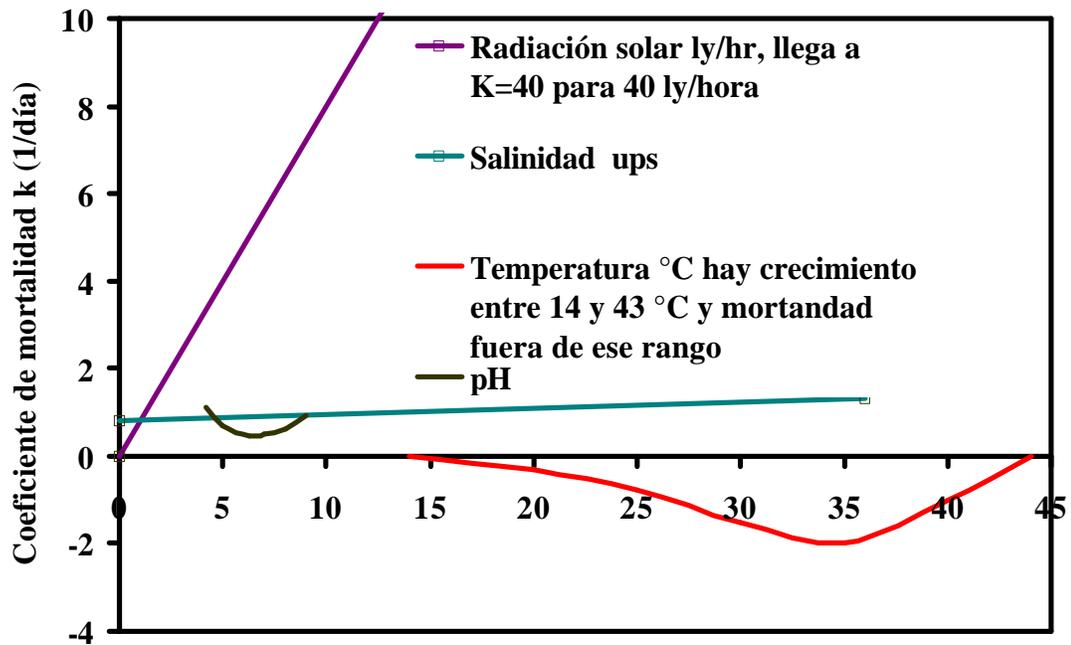


Figura 18.- b) Coeficiente de mortalidad vs diversos parámetros

#### 4.1.6 Modelo espacial de la distribución de las coliformes.

En resumen el modelo que se propone comprende los efectos de dispersión espacial, luz, y salinidad por medio de la siguiente ecuación.

$$C(x) = A \frac{C_0 e^{-D(Kl+ks)x}}{x^2} \quad \text{donde:}$$

$x$  es la distancia de la descarga.

$C_0$  es la cantidad de coliformes en la descarga

$D$  constante relacionada con la velocidad de dispersión

$C(x)$  es la cantidad de coliformes en la distancia  $x$

$A$  es una constante que varía en las distintas épocas.

$K_l$  es el coeficiente de decaimiento por la luz

$K_s$  es el coeficiente de decaimiento por choque salino

Para poder realizar la correspondencia entre tiempo y distancia se considera una velocidad constante de dispersión y la correlación es lineal  $x = Vt$ .  $x$  es la distancia del origen en metros,  $V$  es la velocidad de dispersión  $t$  es el tiempo en s. La constante  $V$  está contenida en la constante  $D$ .

La intensidad de la luz debe ser ajustada a la profundidad del muestreo según la ecuación de absorción:

$$I = I_0 e^{-Bd} \quad \text{donde:}$$

$I_0$  es la intensidad de la luz en cielo abierto (reportada por mediciones *in situ*).

$I$  es la intensidad de la luz en langley/día.

$B$  la constante de absorción que ha sido reportada en la literatura (Sverdrup *et al.* 2003) y es del orden de 0.51/m.

#### 4.1.7 Aplicación del modelo a los datos de Manzanillo.

Se toma como ejemplo el caso 2 de la Figura 16 que corresponde a los promedios de febrero.

Datos:

Mes. Febrero

Radiación solar 17 ly/h

Salinidad 33.73 ups (del cuadro 11)

Profundidad de muestreo 0.5m

Corrección de luminosidad

La luminosidad a 0.5m de profundidad es:

$$I = I_0 e^{-Bd} = 0.17^{-0.51 \cdot 0.5} = 13.17 \text{ ly/h}$$

coeficiente de mortalidad para esta intensidad según Manzini (1978) es:  $K_I=15$

#### Salinidad

Para  $S=33.73$  (que es un valor promedio para febrero)

$$K_S=0.8+0.016667 \cdot 33.73=1.362$$

Los valores de las constantes  $A$  y  $D$  se ajustan con los datos dando los siguientes valores para este caso:

$$A=2000$$

$$D=1.026e-6 \text{ día/m}$$

Con estos valores el  $T_{90}$  es **3h 23 min.**

Los resultados comparativos de este ejemplo se muestran en la Figura 18c

## Modelo de coliformes fecales

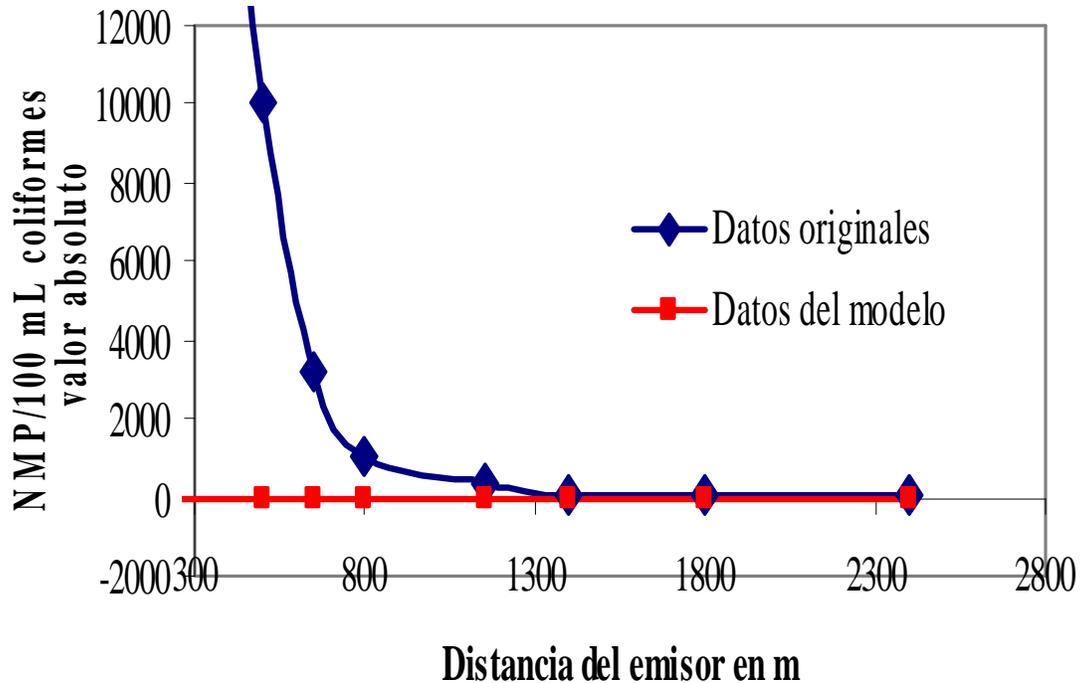


Figura 18.- c) Comparación del modelo y datos originales para el caso de febrero (Fig. 16b).

El modelo solo es válido para distancias muy pequeñas (valores cercanos a cero) por lo que se presenta a partir de cierta distancia del emisor.

Los valores del modelo son ligeramente superiores a los reales esto se debe seguramente a la influencia de los parámetros no considerados.

Por otro lado, es necesario hacer mención que los resultados del proyecto OEA AE 141, avances en tecnologías económicas solares para desinfección, descontaminación y remoción de arsénico en aguas de comunidades rurales de América Latina (métodos FH y RAOS), publicados por la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo, organismo dependiente de la OEA (Pulcini *et al.*, 2004), señalan la eficiencia del proceso de desinfección solar aunado a un catalizador que acelera el proceso sobre las bacterias coliformes con especial énfasis sobre *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae*.

## 4.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO

### 4.2.1 COMPORTAMIENTO ESPACIAL

#### 4.2.1.1 Bacterias coliformes totales

Con objeto de determinar si existen zonas con alto riesgo por estar contaminadas con materia fecal, se realizó el análisis de componentes principales mediante el cual se asocian las zonas que presentan una mayor similitud entre ellas y dando como resultado lo siguiente:

El análisis del índice de similitud del LOG (NMPBACOLTOT/100mL), muestra la formación de tres sitios con características propias. La zona 1 se localiza en la parte más interna del Puerto Interior y en la más resguardada de la Dársena y contigua al muelle de descarga de PEMEX (est. 1, 2 y 7). La distancia de enlace en esta zona es de 5.9 a 7.4, el promedio del NMP/100mL de los 5 años fue de 1,947 (Log. 3.289366), el máximo de 240,000 (Log. 5.380211) en la Dársena (est. 7) y la mínima menos de 3 (Log. 0.477121), en el Puerto Interior (est. 1 y 2; Figs. 12, 19 y 20, Cuadro III).

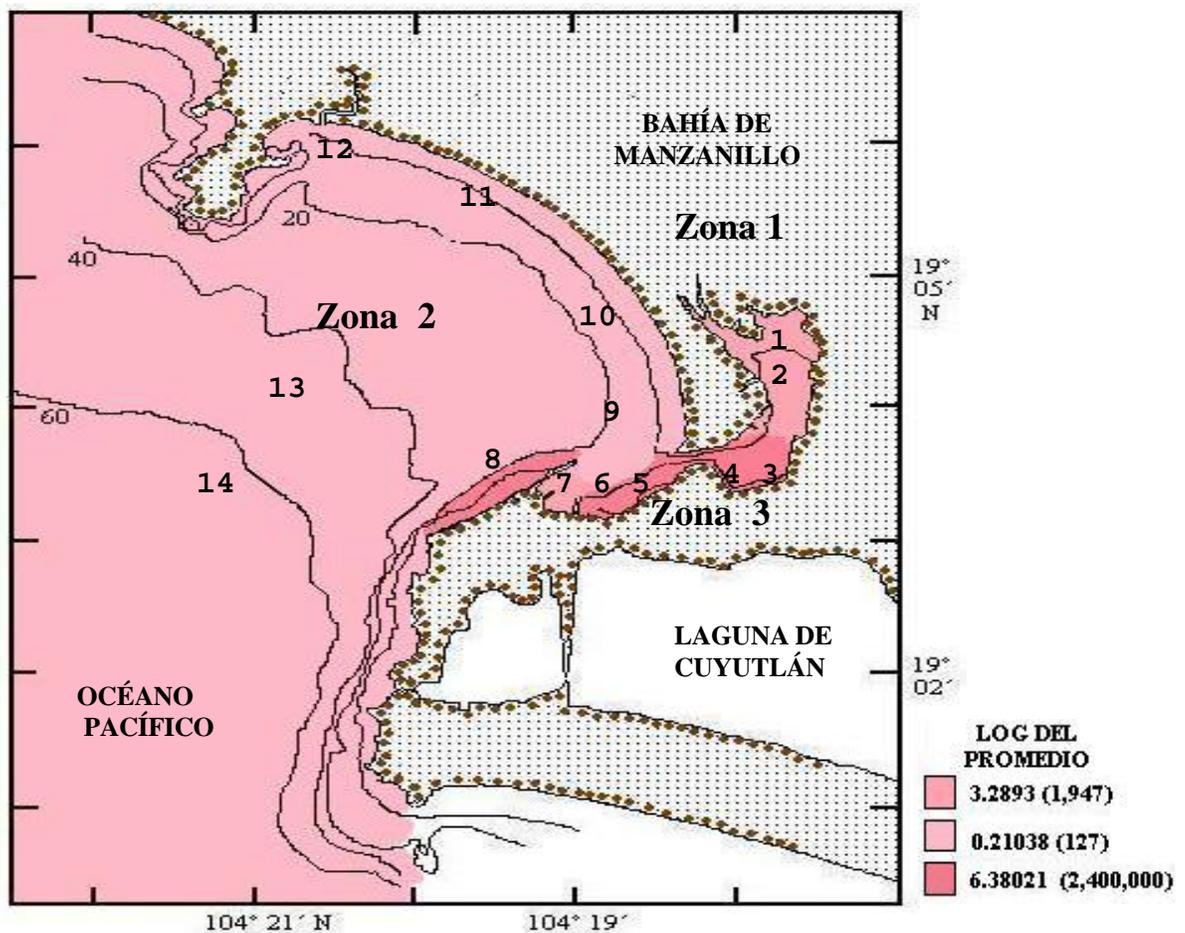


Figura 19.- Zonas que se forman con el análisis del Índice de Similitud del Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales.

La zona 2 que corresponde a la costa, centro y fuera de la bahía (est. 9, 10, 11, 12, 13 y 14) con valores entre 5.4 a 6.1 de distancia de enlace y son las más cercanas entre sí. El promedio total en esta región fue de 127 NMP/100mL (Log. 0.2.103804) y se registraron los valores más bajos de todos los muestreos y de todas las estaciones. También en esta zona la mayoría de los muestreos se encontraron dentro de los límites permisibles de acuerdo a la norma oficial. El valor mínimo fue menos de 3 (Log 0.477121), y el máximo puntual de 23,000 (Log 4.361728; Figs. 19 y 20; Cuadro III).

La zona 3 que aunque no ésta bien definida porque agrupa a las áreas que tienen un comportamiento particular, se ubica en el Puerto Interior, la Dársena y en la playa el Viejo, (aunque no es claro que formen un grupo entre ellas), sus índices de similitud son muy cercanos entre si, est. 3, 4, 5, 6 y 8), registró el promedio mas alto de toda el área de estudio con 123,804 NMP/100mL, (Log.5.092735), al igual que el valor más alto de 2,400,000 (Log. 6.380211) en Noviembre de 1994, en la Dársena y playa El Viejo (est. 5 y 8), el número mas bajo se registró en ésta última (est. 8), con 4 NMP/100mL (Log. 0.602060). La distancia de enlace entre estaciones es la mas alta y va de 11.3 a 12.5 (Figs. 19 y 20; Cuadro III)

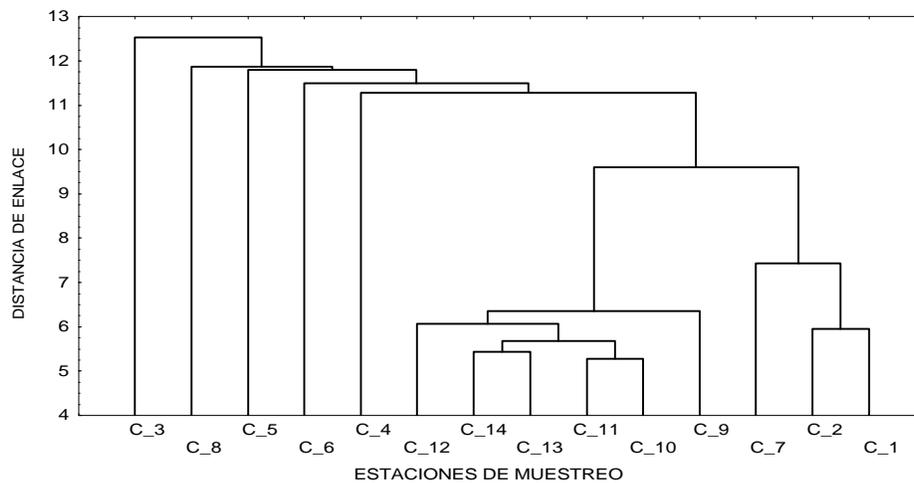


Figura 20.- Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Debido a los escurrimientos que se presentan durante la época de lluvias y que arrastran materia fecal procedente de las áreas adyacentes al puerto, ésta es introducida a los cuerpos de agua de la zona costera, elevando los niveles de bacterias coliformes como se puede observar en los resultado de la zona 1 que corresponde a la parte más interna del Puerto Interior y en los extremos SW de la Dársena (est. 1, 2 y 7), con valores promedio del NMP/100mL bacterias coliformes totales de 3,985 (Log 3.600398), mientras que en época de secas el promedio fue de 557 (Log. 2.746190). Lo mismo ocurre en la zona 2 que corresponde al Puerto Interior, Dársena y Playa El Viejo (est. 3, 4, 5, 5 y 8) con valores promedio para lluvias de 147,917 NMP/100mL (Log 5.170019), y para secas de 107,304 NMP/100mL (Log 5.030615) y en la zona 3 en la bahía

y fuera de ella el promedio mas alto se registró en época de secas con 134 (Log 2,126882) que en lluvias con 118 (Log 2.071747), aunque este incremento es relativamente pequeño y no rebasa el límite permisible para contacto primario de cuerpos de agua que es de < 200 NMP/100mL (Figs. 21 y 22; Cuadros III y IV).

**CUADRO III.-** Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales

	SECAS	LLUVIAS	PROM
1	2.809787	2.699109	2.773952
2	2.235077	2.474041	2.317924
7	2.932031	4.047514	3.702306
3	4.905767	5.195002	5.098852
4	4.136345	4.380536	4.291783
5	5.357979	5.142231	5.280899
6	4.827359	4.955677	4.908147
8	5.167656	5.518311	5.305355
9	2.824853	1.722881	2.607162
10	1.207923	2.202951	1.767208
11	1.616423	2.308223	2.096929
12	1.439400	1.849297	1.537536
13	1.273167	0.858537	1.193125
14	1.501372	2.330698	2.094708
<b>SUMA</b>	<b>5.731585</b>	<b>5.876362</b>	<b>5.796312</b>
<b>PROM</b>	<b>4.585456</b>	<b>4.730234</b>	<b>4.650184</b>

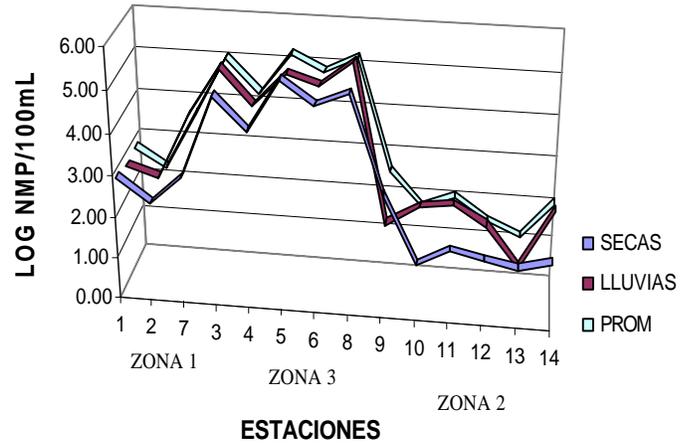


Figura 21.- Comportamiento de los promedios de las bacterias coliformes en época de secas y lluvias.

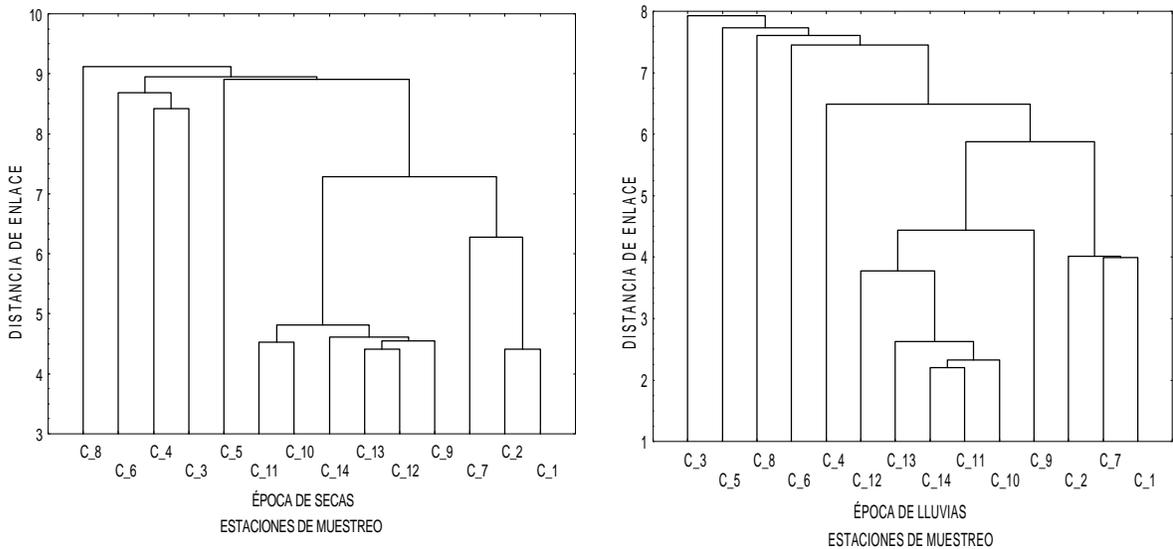


Figura 22.- Log. del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidean, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

El índice de similitud para secas y lluvias, conserva la formación de las tres zonas, mismas que se conforman anualmente. En lluvias, las distancias varían de 2.2 a 7.9 y en secas de 4.4 a 9.1 por lo que los valores en épocas de secas son mas cercanos entre si que en lluvias (Figs. 21 y 22).

**CUADRO IV.-** Estadística básica del Log. del NMP/100mL de bacterias coliformes.

**COLIFORMES TOTALES ANUALES**

<b>ZONA 1 (est. 1, 2 y 7)</b>		<b>ZONA 2 (est. 9-14)</b>		<b>ZONA 3 (est. 3-6 y 8)</b>	
<b>PROM</b>	3.289366	<b>PROM</b>	2.103804	<b>PROM</b>	5.092735
<b>MÍNIMO</b>	0.47712	<b>MÍNIMO</b>	0.47712	<b>MÍNIMO</b>	0.602060
<b>MÁXIMO</b>	5.380211	<b>MÁXIMO</b>	4.361728	<b>MÁXIMO</b>	6.380211
<b>DESVEST</b>	0.774458	<b>DESVEST</b>	0.701316	<b>DESVEST</b>	0.701316

**ÉPOCA DE SECAS**

<b>ZONA 1 (est. 1, 2 y 7)</b>		<b>ZONA 2 (est. 9-14)</b>		<b>ZONA 3 (est. 3-6 y 8)</b>	
<b>PROM</b>	2.74613	<b>PROM</b>	2.12688	<b>PROM</b>	5.03062
<b>MÍNIMO</b>	0.47712	<b>MÍNIMO</b>	0.47712	<b>MÍNIMO</b>	0.60206
<b>MÁXIMO</b>	3.63347	<b>MÁXIMO</b>	4.36173	<b>MÁXIMO</b>	6.38021
<b>DESVEST</b>	0.749554	<b>DESVEST</b>	0.619795	<b>DESVEST</b>	1.368061

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

<b>ZONA 1 (est. 1, 2 y 7)</b>		<b>ZONA 2 (est. 9-14)</b>		<b>ZONA 3 (est. 3-6 y 8)</b>	
<b>PROM</b>	3.60039	<b>PROM</b>	2.07175	<b>PROM</b>	5.17002
<b>MÍNIMO</b>	0.60206	<b>MÍNIMO</b>	0.47712	<b>MÍNIMO</b>	1.36173
<b>MÁXIMO</b>	5.38021	<b>MÁXIMO</b>	3.38021	<b>MÁXIMO</b>	6.38021
<b>DESVEST</b>	0.810722	<b>DESVEST</b>	0.803507	<b>DESVEST</b>	1.228495

PROM = promedio, DESVEST = desviación estándar

**4.2.1.2 Bacterias coliformes fecales**

El comportamiento de NMP/100mL de bacterias coliformes fecales es muy similar al de las totales ya que éstas están incluidas en este grupo, formándose las mismas tres zonas que para coliformes fecales.

Los promedios anuales de la zona 1, parte más interna del Puerto Interior y muelle de PEMEX (est. 1, 2 y 7), fue de 531 NMP/100mL (Log 2.725095), con un máximo de 21,000 NMP/100mL en la Dársena (Log 4.322219) y el mínimo de < 3 NMP/100mL (Log 0.477121), en el Puerto Interior (Figs. 12, 23 y 24, Cuadros V y VI). El índice de similitud en esta zona fue de 5.9 a 7.7 aproximadamente.

En la costa, centro y fuera de la bahía que corresponde a la zona 2 (est. 9, 10, 11, 12, 13 y 14) el promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales fue de 51 (Log 1.70757), el máximo de 9,000 (Log 3.954243) y el mínimo de < 3 (Log 0.477121), este último valor se presentó repetidamente en toda el área de estudio. (Figs. 12, 23 y 24; Cuadros V y VI). La distancia de enlace en esta zona fue de 4 a 10 y es la más amplia.

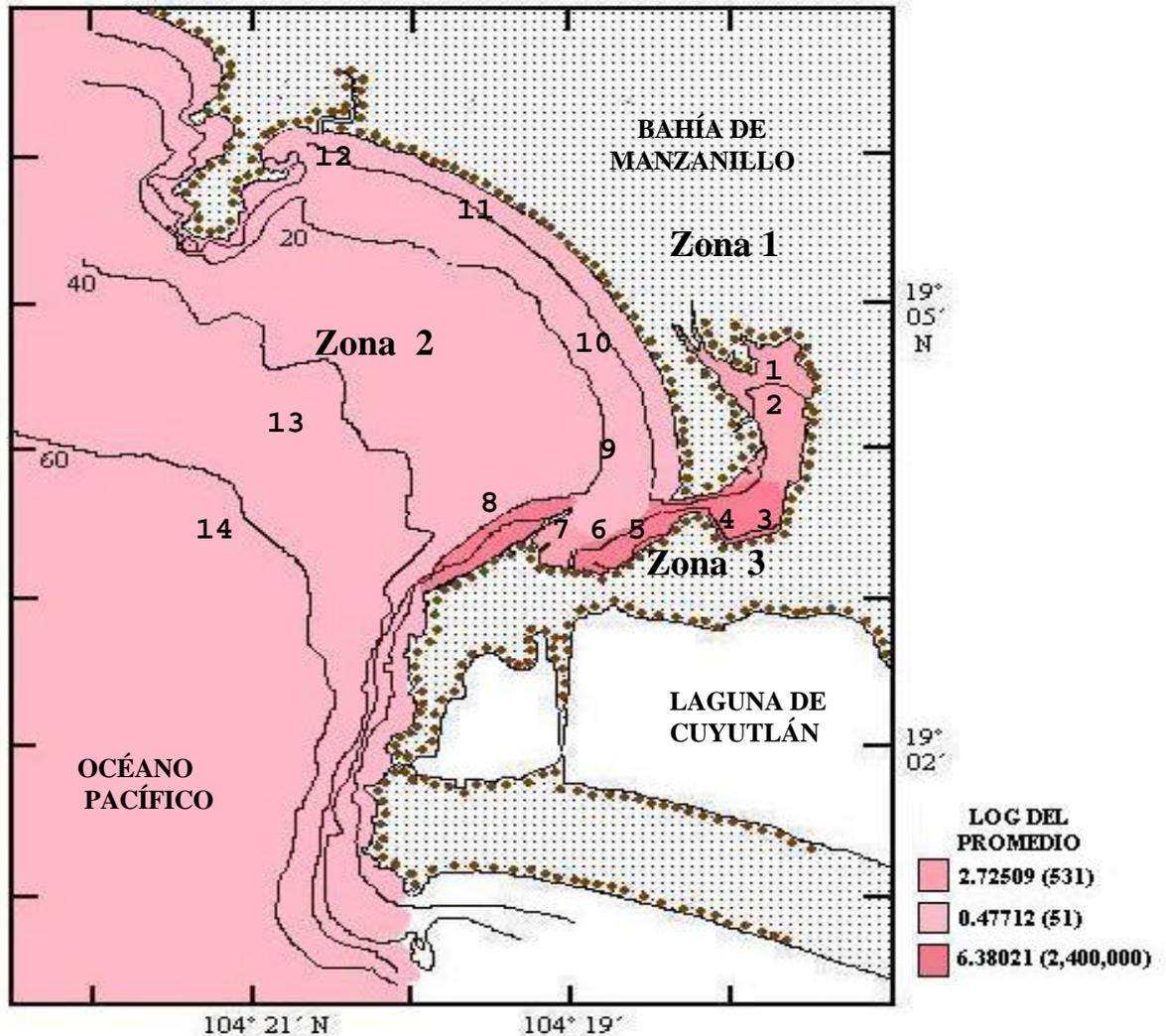


Figura 23.- Zonas que se forman con el análisis del Índice de Similitud del Log del promedio del NMP/100mL bacterias coliformes fecales.

En la zona 3 se registraron los valores mas altos de bacterias coliformes fecales que en todas las demás. El valor máximo en esta zona (est. 3, 4, 5, 6 y 8) que corresponde parte del Puerto Interior y de la Dársena fue de 2,400,000 NMP/100mL (Log 6.380211), en la playa El Viejo, el mínimo de < 3 (Log 0.477121) y el promedio de 83,839 NMP/100mL (Log 4.923446) la distancia de enlace entre estas estaciones va de 10.8 a 11.9 aproximadamente Figs. 12, 23 y 24; Cuadros V y VI).

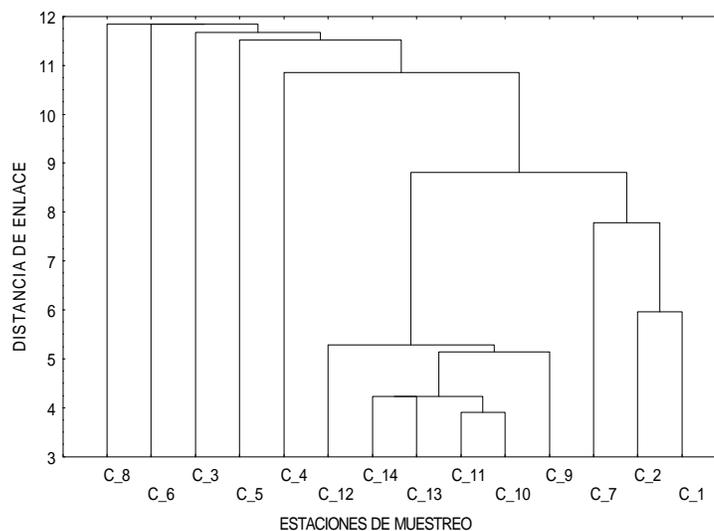


Figura 24.- Log. del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

**CUADRO V.-** Log del promedio del NMP/100mL de coliformes fecales.

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>PROM</b>	
<b>1</b>	2.705864	2.482531	2.482531	2.518075	2.639652	2.379457	
<b>2</b>	1.805897	1.837273	2.193299	2.193299	2.507012	2.034762	
<b>7</b>	2.869330	2.482338	2.800087	2.800087	3.090287	3.401013	
<b>3</b>	5.012496	5.122616	4.849215	4.849215	4.460177	5.074016	
<b>4</b>	3.972265	4.033508	3.967109	3.967109	4.229703	4.187650	
<b>5</b>	3.104459	2.688531	2.123239	2.123239	4.917344	5.599195	
<b>6</b>	4.208769	4.397620	3.594337	3.594337	5.225044	5.157087	
<b>8</b>	4.405437	3.830171	4.876817	4.876817	5.520407	5.481550	
<b>9</b>	0.923833	1.014240	0.753328	0.753328	1.397940	2.879430	
<b>10</b>	1.008778	0.996366	0.653213	0.653213	1.387686	0.807309	
<b>11</b>	0.769008	1.166331	0.546645	0.546645	2.343901	0.733732	
<b>12</b>	1.050025	1.202988	1.649578	1.649578	1.210853	1.535716	
<b>13</b>	0.533603	1.346516	1.019462	1.019462	0.818446	1.113943	
<b>14</b>	0.477121	1.160118	0.301030	0.301030	2.312988	0.489020	
<b>PROM ZONA 1</b>	2.755095		<b>PROM ZONA 2</b>	4.923446		<b>PROM ZONA 3</b>	1.707570
<b>MÍNIMO</b>	0.477121		<b>MÍNIMO</b>	0.477121		<b>MÍNIMO</b>	0.477121
<b>MÁXIMO</b>	4.322219		<b>MÁXIMO</b>	6.380211		<b>MÁXIMO</b>	3.954243

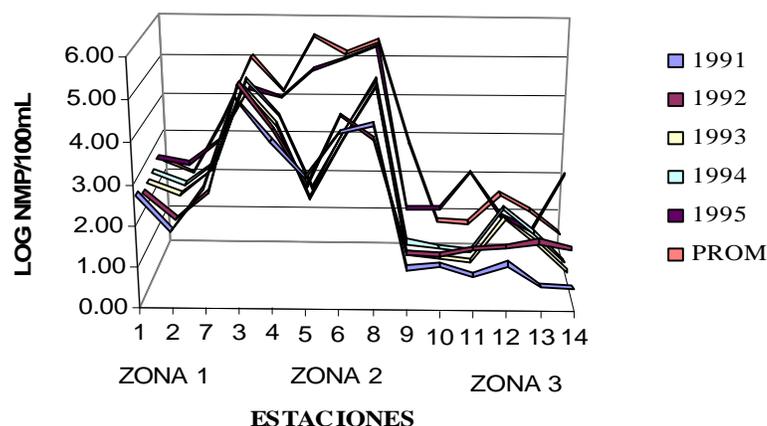


Figura 25.- Log del promedio del NMP/100 mL de bacterias coliformes fecales

Aunque el aporte de aguas residuales con altos niveles de bacterias coliformes fecales es continuo a través de todos los años de muestreo, como era de esperarse, las bacterias coliformes fecales se incrementan durante la época de lluvias, siendo el promedio en la zona 1 de 745 NMP/100mL (Log 2.872156), en época de lluvias, mientras que en secas fue de 377 NMP/100mL (Log 2.576899) y los valores máximos de 21,000 y 3,000 NMP/100mL (Log. 4.322219 y 3.477121), respectivamente. El mínimo  $< 3$  (Log 0.47721), para ambas épocas del año. El índice de similitud en esta zona es más amplio para lluvias con 3.9 a 6.4 que en secas, con valores en la distancia de enlace de 4.3 a 4.5 (Figs. 25 y 26; Cuadros V y VI).

CUADRO VI.- Estadística básica del Log del NMP/100mL de bacterias coliformes en las diferentes zonas

**COLIFORMES FECALES ANUALES**

ZONA 1 (est. 1, 2 y 7)	ZONA 2 (est. 9-14)	ZONA 3 (est. 3-6 y 8)
<b>PROM</b> 2.755095	<b>PROM</b> 1.70757	<b>PROM</b> 4.923446
<b>MÍNIMO</b> 0.477121	<b>MÍNIMO</b> 0.477121	<b>MÍNIMO</b> 0.477121
<b>MÁXIMO</b> 4.322219	<b>MÁXIMO</b> 3.954243	<b>MÁXIMO</b> 6.380211
<b>DESVEST</b> 0.7975	<b>DESVEST</b> 0.5417	<b>DESVEST</b> 1.3506

**ÉPOCA DE SECAS**

ZONA 1 (est. 1, 2 y 7)	ZONA 2 (est. 9-14)	ZONA 3 (est. 3-6 y 8)
<b>PROM</b> 2.576899	<b>PROM</b> 1.731631	<b>PROM</b> 4.840868
<b>MÍNIMO</b> 0.477121	<b>MÍNIMO</b> 0.477121	<b>MÍNIMO</b> 0.477121
<b>MÁXIMO</b> 3.477121	<b>MÁXIMO</b> 3.954243	<b>MÁXIMO</b> 6.380211
<b>DESVEST</b> 0.799740	<b>DESVEST</b> 0.512804	<b>DESVEST</b> 1.375445

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

ZONA 1 (est. 1, 2 y 7)	ZONA 2 (est. 9-14)	ZONA 3 (est. 3-6 y 8)
<b>PROM</b> 2.872156	<b>PROM</b> 1.662758	<b>PROM</b> 5.017718
<b>MÍNIMO</b> 0.477121	<b>MÍNIMO</b> 0.477121	<b>MÍNIMO</b> 0.954243
<b>MÁXIMO</b> 4.322219	<b>MÁXIMO</b> 3.380211	<b>MÁXIMO</b> 6.380211
<b>DESVEST</b> 0.798918	<b>DESVEST</b> 0.581553	<b>DESVEST</b> 1.264637

PROM = promedio; DESVEST = desviación estándar.

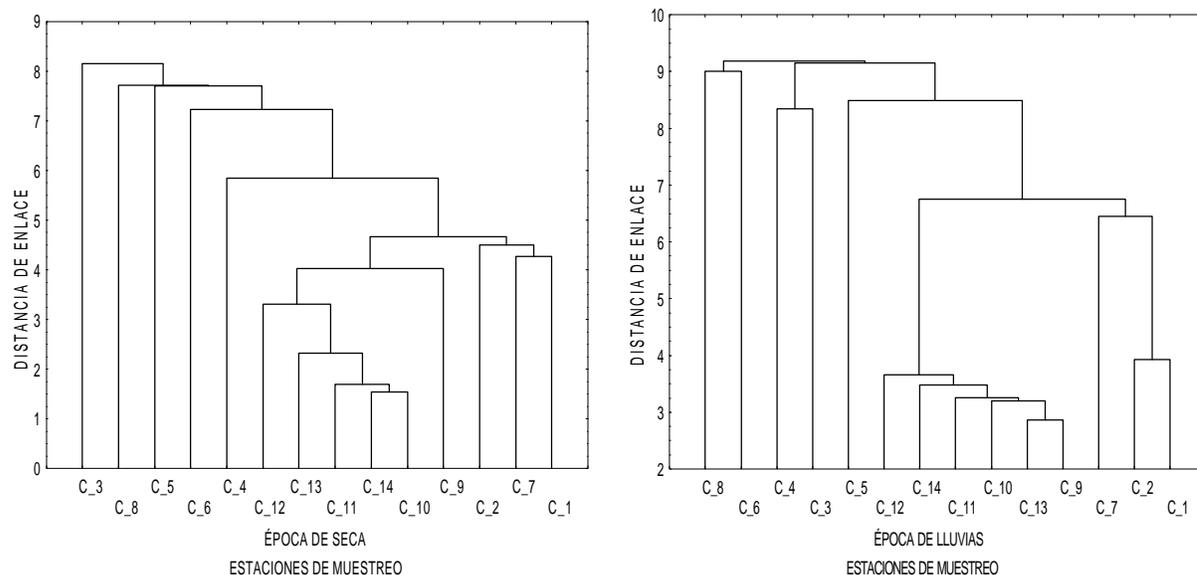


Figura 26.- Log. del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

En la zona 2 se registraron los valores mas bajos y, casi durante todos los muestreos, dentro de los límites permisibles para aguas para servicios al público con contacto directo con valores de  $< 3$  NMP/100mL de bacterias coliformes fecales y de acuerdo con la norma oficial (NOM-003-ECOL-1997 y Ley Federal de Derechos Disposiciones aplicables en materia de Aguas Nacionales 2005 CNA) y máximo de 9,000 NMP/100mL en época de secas con una distancia de enlace entre 1.5 y 4.0 y para lluvias un mínimo de  $< 3$  y máximo de 2,400 NMP/100mL y una distancia de enlace de 2.9 a 3.75; aunque se registraron valores puntuales altos el promedio para lluvias fue 46 NMP/100mL (Log 1.662758) y de 54 NMP/100mL (Log. 1.731731) para secas (Figs. 26 y 27; Cuadros VI y VII).

Al igual que con las bacterias coliformes totales los promedios más altos se presentaron en lluvias en lugar de secas y esto podría explicarse por el patrón de corrientes de esta zona y un posible aumento de materia orgánica procedente de los escurrimientos por las lluvias además de de lo tomado de los suelos y del acarreo de materia fecal o materia orgánica. Los valores máximos registrados fueron de 2,4000 (Log 3.380211) en lluvias y de 9,000 (Log. 3.954243) en secas y el mínimo determinado continuamente en toda el área de estudio fue de  $< 3$  NMP/100mL (Log 0.477121) en ambas épocas del año. El índice de similitud para ésta zona fue de 2.9 a 3.8 para lluvias y de 1.5 a 4.0 para secas, siendo este último el más elevado (Figs. 26 y 27; Cuadros VI y VII).

Es importante mencionar que los valores más altos de bacterias coliformes fecales se registraron en la zona 3 y que el grupo está representado totalmente por fecales, siendo el promedio en lluvias de 104,164 NMP/100mL (Log 5.017718) y secas de 69,321 NMP/100mL (Log 4.840868), con valores máximos de 2,400,000 NMP/100mL (Log. 6.380211) para ambas épocas y los mínimos de 9 y  $< 3$  NMP/100mL (Log 0.954243 y 0.4477121), para lluvias y secas respectivamente. La distancia de enlace en esta zona para época de secas fue la más amplia de

5.8 a 8.1 que para época de lluvias, la cual fue de 8.5 a 9.0 (Figs. 26 y 27; Cuadros VI y VII).

**CUADRO VII:-** Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales

	SECAS	LLUVIAS	PROM
1	2.652857	2.384783	2.379457
2	1.920831	2.358316	2.034762
7	2.777779	3.246523	3.401013
3	4.736836	5.150359	5.074016
4	3.976716	4.215081	4.187650
5	5.131711	4.620416	5.599195
6	4.820349	4.895294	5.157087
8	4.908607	5.385137	5.481550
9	2.423667	1.203713	2.879430
10	0.995426	1.112605	0.807309
11	0.961421	2.032054	0.733732
12	1.232361	1.543323	1.535716
13	1.183798	0.724276	1.113943
14	0.831596	1.999043	0.489020
<b>PROM</b>	<b>4.395530</b>	<b>4.572649</b>	<b>4.478249</b>

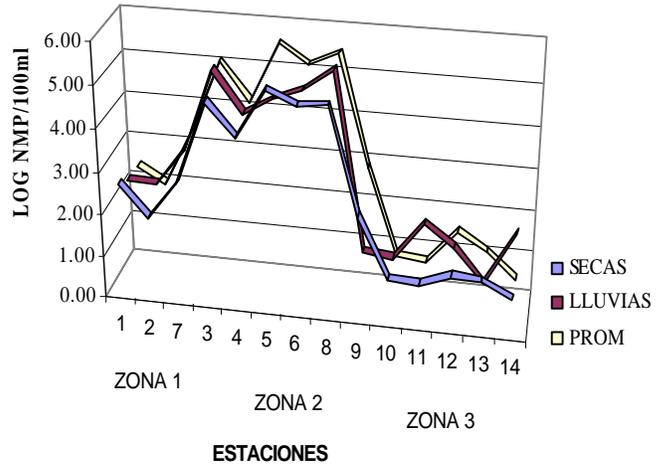


Figura 27.- Comportamiento de los promedios de las coiliformes fecales en época de secas y lluvias.

### 4.2.1.3 Visibilidad

Los valores de la visibilidad del agua con el disco de Secchi en la zona de estudio variaron de 0.1 m de profundidad en la zona del Puerto Interior a 20 m en el centro de la bahía. Debido a que este parámetro está directamente relacionado con la cantidad de radiación solar que se recibe en la superficie del mar y la dispersión que sufre está en función de la materia orgánica en suspensión entre otros. Por otro lado considerando que la luz es un factor determinante para la tasa de sobrevivencia de las bacterias coliformes fecales se puede decir que valores bajos de este parámetro indican que la luz no puede penetrar a capas mas profundas y por lo tanto su acción sobre las bacterias se ve disminuida.

El análisis de similitud de la visibilidad muestra la formación de dos zonas, la primera prácticamente abarca casi toda el área de estudio y va desde el Puerto Interior, Dársena hasta la zona costera (est. 1-12), con distancia de enlace de 8.56 a 12.24; promedio de 3.55 m; mínimo de 0.1 m en el puerto Interior (est. 1 y 2) y máximo de 11.0 m en el Puerto Interior (est. 4) y la segunda que se localiza en el centro y fuera de la bahía (est. 13-14), con distancia de enlace de 23.88, promedio 11.52 m; mínimo de 3.7 m fuera de la bahía (est. 14) y máximo > 20 m. en el centro de la bahía (est. 13). Se observa que los valores promedios más bajos se registraron en la parte más interna del Puerto Interior, en la playa de San Pedrito en la Dársena (est. 1,2 y 5), y aún en la zona costera continúan los valores promedios bajos debido al movimiento de las masas de agua procedentes del Puerto Interior, al oleaje y corrientes y los más altos se encontraron en el centro y fuera de la bahía (Figs. 28 y 29; Cuadro VIII).

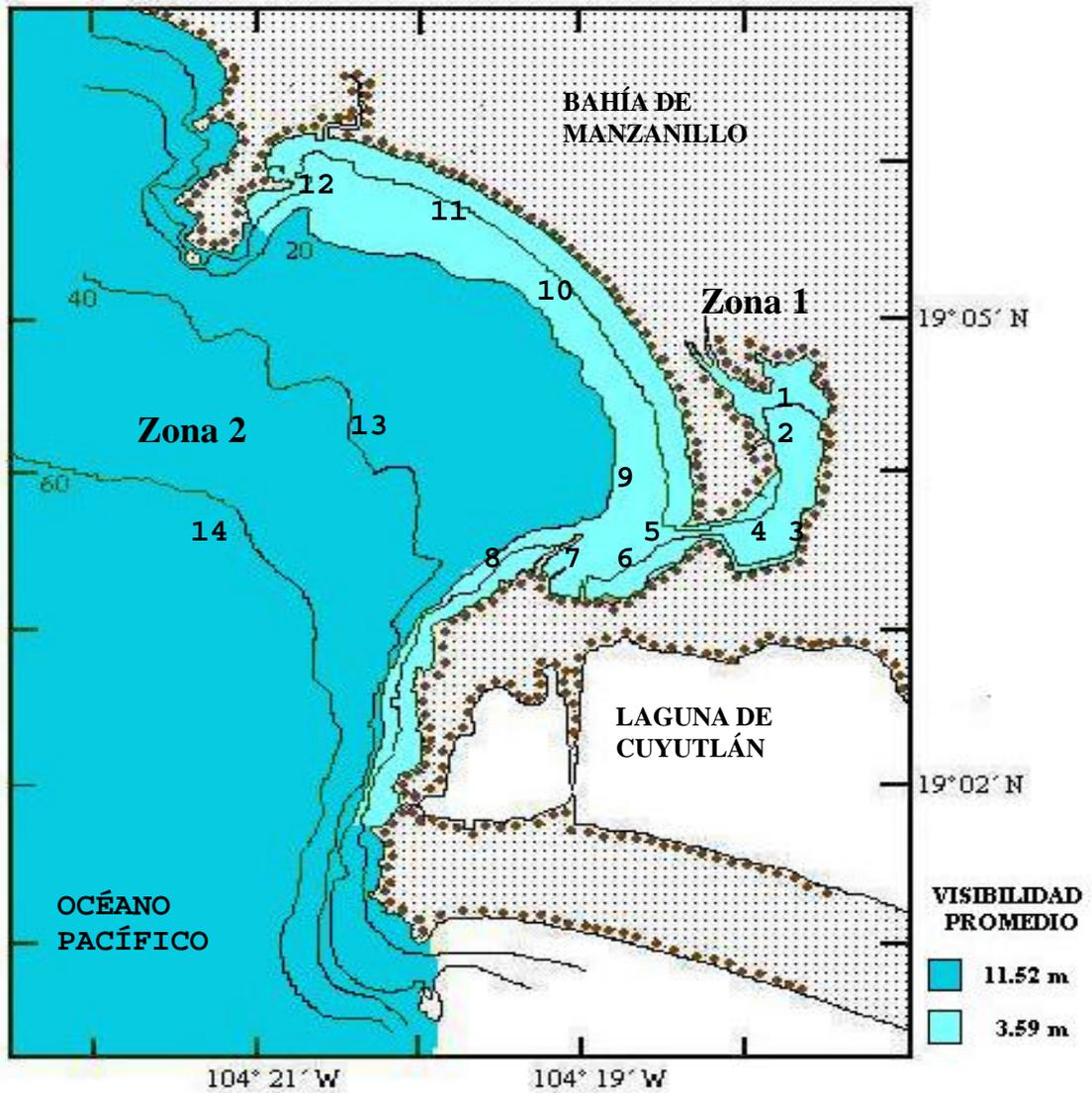


Figura 28.- Formación de las dos zonas de acuerdo con el análisis del Índice de Similitud de la visibilidad del agua.

En época de secas el índice de similitud forma también dos áreas. La primera se localiza en el Puerto Interior, la Dársena y la zona costera (est. 1-12), con distancia de enlace entre ellas de 5.58-8.41, promedio de 3.59 m; mínimo de 0.1 m en el Puerto Interior (est. 1 y 2) y máximo de 10.0 m en la playa de Las Hadas (est. 12) y la segunda en el centro y fuera de la bahía (est. 13-14), con distancia de enlace de 18.85 promedio de 11.08 m, mínimo de 3.7 m y máximo > 20 m. (Figs. 30 y 31, Cuadros VIII y IX).

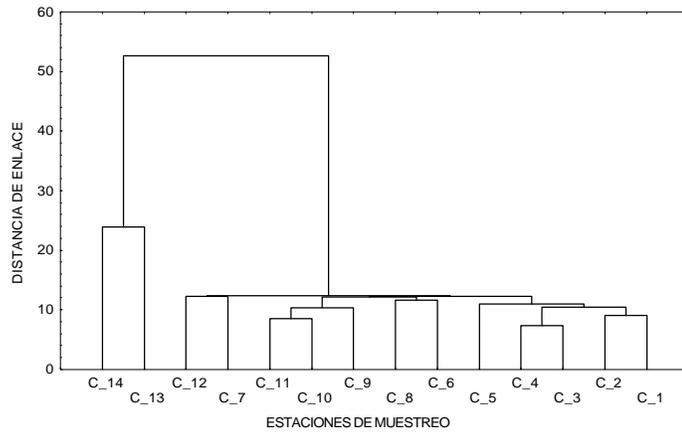


Figura 29.- Comportamiento de la visibilidad del agua durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana los casos representan las estaciones de muestreo).

Los valores promedios para ambas épocas son casi idénticos, variando solo una décima entre las dos y también se puede apreciar que los promedios mayores registrados son similares entre si para la zona más alejada al puerto o sea en el centro y fuera de la bahía por lo que el aporte de materia en suspensión es menor en esta área y por lo tanto los valores de visibilidad mas altos. (Figs. 30 y 31: Cuadro VIII y IX). En lluvias, la visibilidad que se registró fue ligeramente menor que en época de secas y al igual que los valores de índice de similitud. También se forman las mismas dos áreas que se presentaron en secas al igual para los valores anuales. La primera en el Puerto Interior, Dársena y zona costra con un promedio de 3.49 m, mínimo de 0.2 m, máximo de 11.0 m en el Puerto Interior (est. 1 y 2) y distancia de enlace entre ellas fue de 4.56 - 8.8; y la segunda con una distancia de enlace de 14.39, promedio de 12.29 m, mínimo de 4.5 m y máximo > 20 m

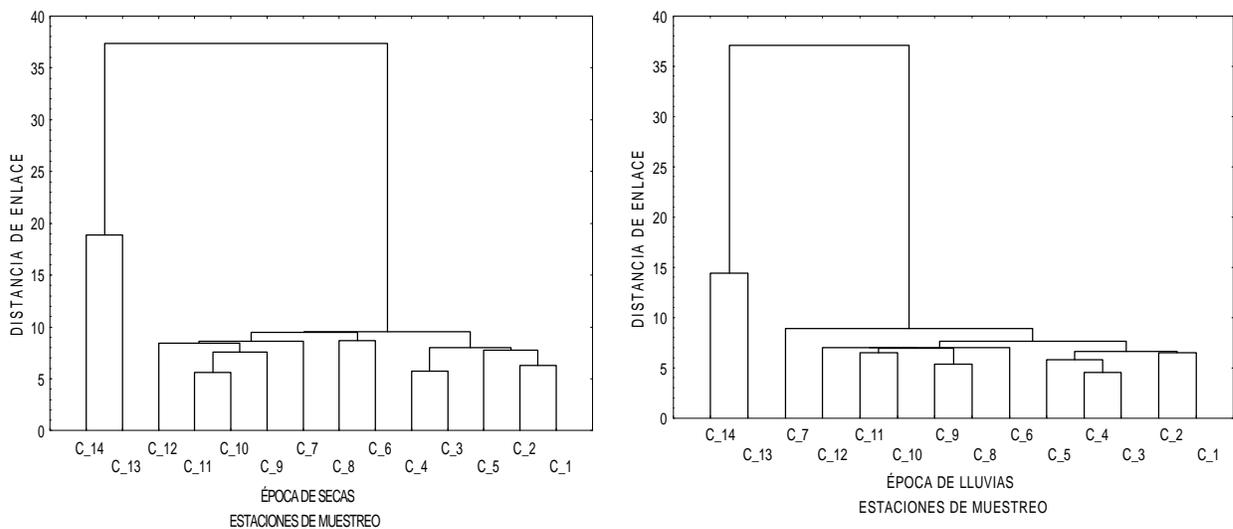


Figura 30.- Comportamiento de la visibilidad del agua en época de secas y lluvias durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana).

**CUADRO VIII.- Promedio de la visibilidad del agua (m)**

EST	ANUAL	SECAS	LLUVIAS
1	1.7	1.7	1.8
2	2.0	2.2	1.8
3	2.5	2.7	2.1
4	3.1	3.2	2.8
5	1.9	1.9	2.0
6	3.8	4.1	3.3
7	5.0	5.3	4.5
8	3.4	3.2	3.8
9	4.0	4.2	3.8
10	4.7	4.6	5.0
11	5.0	4.8	5.3
12	5.6	5.7	5.6
13	11.2	10.6	12.2
14	12.3	12.3	12.4
<b>PROM</b>	<b>4.4</b>	<b>4.4</b>	<b>4.5</b>

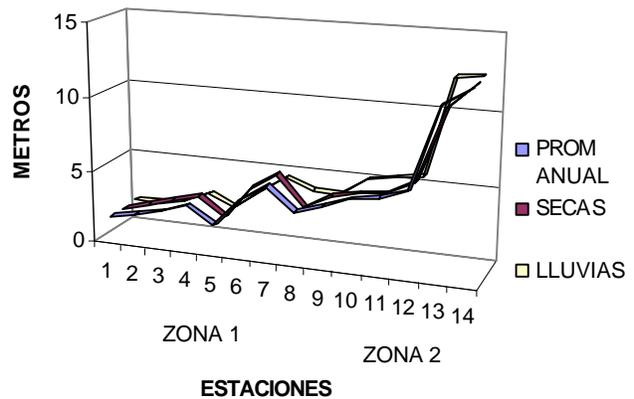


Figura 31.- Comportamiento del promedio de la visibilidad del agua.

**CUADRO IX.- Estadística básica de la visibilidad del agua**

**VALORES ANUALES**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 1-12)		Centro y fuera de la Bahía (est. 13 y 14)	
Mínimo	0.1 m Puerto Interior (est.1 y 2 febrero 1994)	Mínimo	3.7m Fuera de la Bahía (est. 14, mayo 1993)
Máximo	11 m Puerto Interior (est. 4, agosto 1994)	Máximo	24 m. centro de la Bahía (est.13 agosto 1991
Promedio	3.55 m	Promedio	11.52 m y julio de 1992)
Dis. Enlace	8.56 - 12.24	Dis. Enlace	23.88
Desvest	1.915441403	Desvest	4.3586888

**ÉPOCA DE SECAS**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 1-12)		Centro y fuera de la Bahía (est. 13 y 14)	
Mínimo	0.1 m Puerto Interior (est. 1 y 2 febrero 1994)	Mínimo	3.7m. fuera de la Bahía (est. 14, mayo 1993)
Máximo	10 m Playa Las Hadas, (est. 12, marzo 1991)	Máximo	22 m fuera de la Bahía (est. 14, diciembre 1991)
Promedio	3.59 m	Promedio	11.08 m
Dis. Enlace	5.58 - 8.41	Dis. Enlace	18.85
Desvest	1.8949325	Desvest	4.218498

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 1-12)		Centro y fuera de la Bahía (est. 13 y 14)	
Mínimo	0.2 m Puerto Interior (est. 2 octubre 1991)	Mínimo	4.5 m. fuera de la Bahía (est. 14, mayo 1993)
Máximo	11 m Puerto Interior (est. 4, agosto 1994)	Máximo	24 m centro de la Bahía (est. 13, julio 1992)
Promedio	3.49 m	Promedio	12.29 m
Dis. Enlace	4.56 - 8.8	Dis. Enlace	14.39
Desvest	1.95333944	Desvest	4.533367

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

#### 4.2.1.4. Salinidad

La salinidad se considera como uno de los factores que afectan la sobrevivencia de las bacterias coliformes fecales debido al choque osmótico que sufren al ser introducidas en aguas con diferentes concentraciones de NaCl. A medida que la salinidad aumenta, disminuye de valor el  $T_{90}$ , esto es, el tiempo en el cual el 90% de las bacterias coliformes mueren. En la zona de estudio se determinaron valores de salinidad típicos de agua de mar que fluctuaron entre 26.8 a 36.1 UPS en superficie y entre 26.8 y 36.1 UPS (Unidades Prácticas de Salinidad) en fondo.

##### a) Superficial

El comportamiento de la salinidad superficial, de acuerdo al índice de similitud presenta la formación de 3 zonas. La primera comprende la parte más interna del Puerto Interior (est. 1-2), con una distancia de enlace de 4.42; promedio de 33.64 UPS, mínimo de 29.04 UPS y máximo de 35 UPS en el Puerto Interior (est. 2); la segunda comprende parte de la Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 5-14), con una distancia de enlace de 1.70 - 3.97, mínimo de 26.8 UPS en la Dársena (est. 7), máximo de 36.1 UPS en la zona costera (est. 9) y promedio de 34.13 UPS y la tercera se localiza en la parte más externa del Puerto Interior (est. 3-4), con una distancia de enlace de 4.47, promedio de 33.14, máximo de 35.0 UPS y mínimo de 28.83 UPS en el Puerto Interior (est. 3 y 4) (Figs. 32 y 33, Cuadro X y XI).

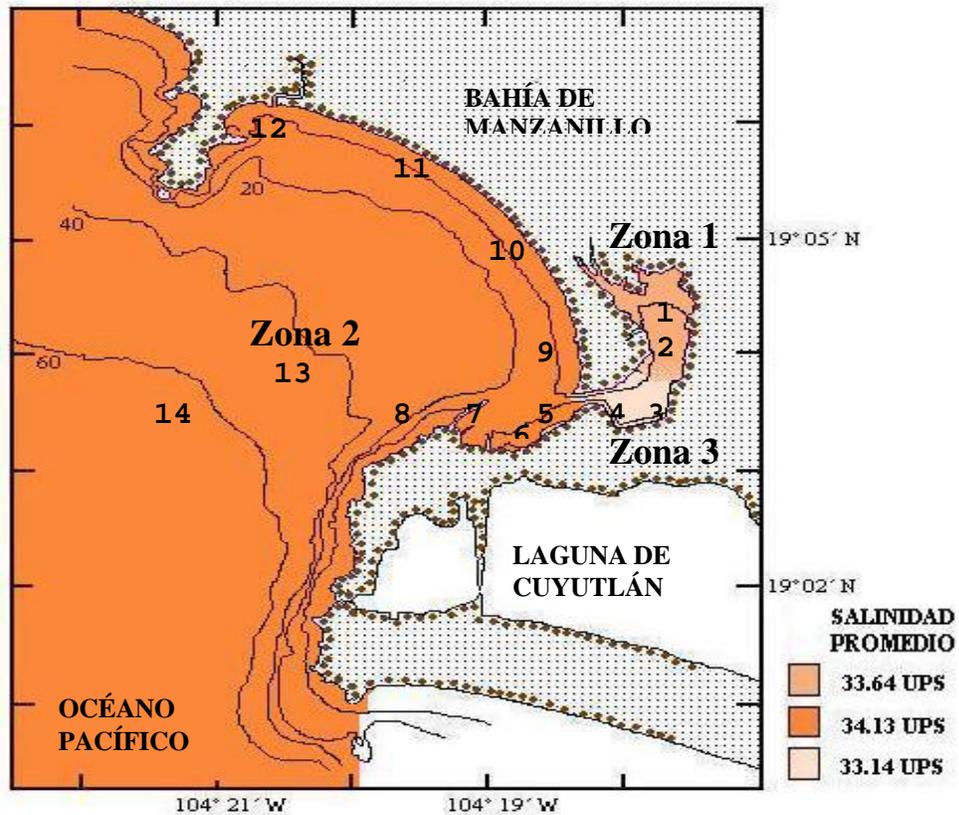


Figura 32.- Representación de las tres zonas formadas por el Índice de Similitud de la salinidad superficial.

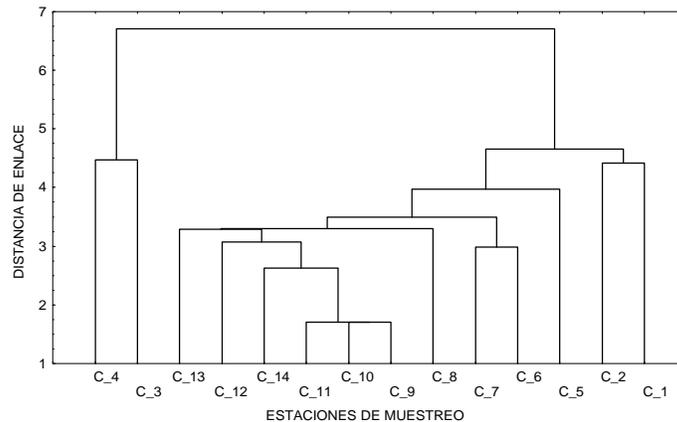


Figura 33.- Comportamiento de la salinidad superficial durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana los casos representan las estaciones de muestreo).

Cabe mencionar que prácticamente no existen escurrimientos naturales permanentes de agua dulce que puedan estar introduciendo ésta al Puerto Interior, de manera que se diluya el agua procedente de mar abierto, y de acuerdo a las salinidades reportadas para esta zona costera (34.5 ppm), solo a través de un pequeño escurrimiento de lo que queda de la Laguna de Tapeixtles y sin embargo se registraron valores bajos de salinidad en esta zona, debido probablemente al aporte de aguas residuales del Puerto Interior, Playa de San Pedrito y El Viejo por descargas de aguas residuales procedentes de la ciudad de Manzanillo y en donde se detectaron en forma directa los escurrimientos. Por otro lado los valores por arriba de 34.5 UPS se deben probablemente al aporte de agua con una mayor salinidad procedente de la Laguna de Cuyutlán a través del Túnel y el Canal de Ventanas (Figs. 12, 32 y 33, Cuadro XI).

En época de secas también se aprecia la formación de tres áreas, la primera en el Puerto Interior (est. 1, 3 y 4), con una distancia de enlace de 2.19 a 2.23, promedio de 33.55 UPS, mínimo de 31.35 UPS en el Puerto Interior banda 4 y 5 (est 3) y máxima de 35 UPS en el Puerto Interior (est. 1, 3 y 4) la segunda que incluye a parte de la Dársena, centro y fuera de la bahía (est. 5-14), con una distancia de enlace de 0.62 a 2.04, mínimo de 31.92 UPS en la Dársena (est. 5), máximo de 35.54 UPS zona costera (est. 9) y promedio 34.19 UPS y la tercera en el Puerto Interior (est. 2), mínimo de 29.04 UPS, máximo de 35 UPS, promedio de 33.74 y distancia de enlace en esta región de 2.82. En general se observa que los valores promedio para la salinidad superficial son más elevados (34.09 UPS), que para época de lluvias, (33.92 UPS), sin embargo, su comportamiento es muy similar como se aprecia en las Figuras 33 y 34 (Cuadros X y XI).

Durante lluvias el comportamiento del promedio de la salinidad es ligeramente mas bajo 33.8 UPS que en secas 34.0 UPS, También, forman tres áreas de acuerdo a la cercanía de los valores encontrados entre cada una de ellas. La primera en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1-2 con una distancia de enlace de 2.66, promedio de 33.49 UPS, mínimo de 30.98 UPS y máximo de 35.0 UPS en el Puerto Interior (est. 1 y 1, 2 respectivamente). La segunda que comprende una zona muy extensa formada en parte de la Dársena, zona costera y centro y fuera de la bahía (est. 5-14), con una distancia de enlace de 0.49-3.02, promedio de 34.06 UPS, mínimo de 26.79 UPS en la

Dársena (est. 7) y máximo de 36.11 UPS en la zona costera (est. 9) y la tercera en la parte más externa del Puerto Interior bandas 3-4 y 4-5 (est. 3 y 4) con una distancia de enlace de 3.76, promedio de 32.65, mínimo de 28.8 y máximo de 35.0 ambas en el Puerto Interior (Figs. 34 y 35, Cuadros X y XI).

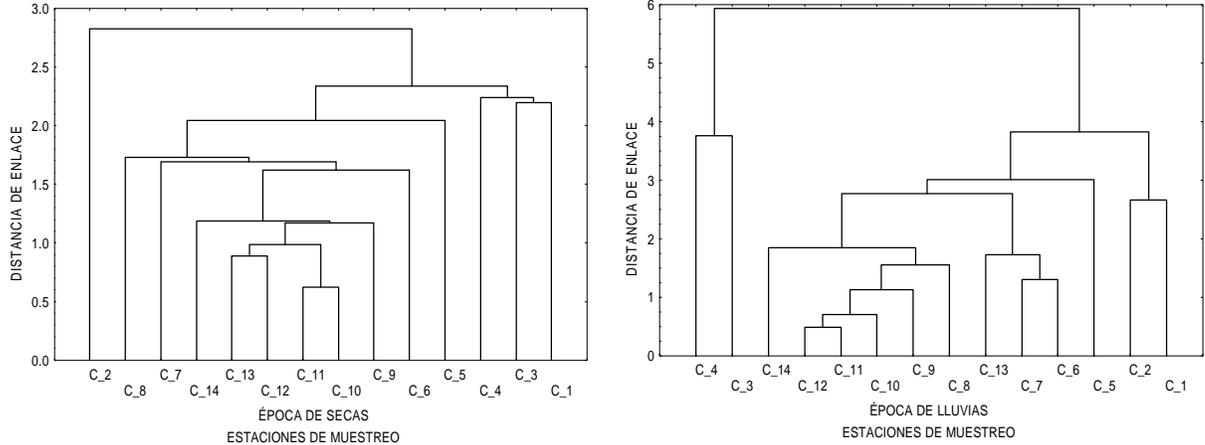


Figura 34.- Comportamiento de la salinidad superficial en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Es notorio observar que los valores bajos se registraron en donde se detectaron descargas de aguas residuales y aporte de agua dulce hacia la bahía como fue en la Dársena y en el Puerto Interior (est. 1-7), mientras que valores por arriba de 35 UPS se determinaron en casi toda el área de estudio en forma puntual, excepto en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14) y esto es debido al aporte de agua con salinidades mayores procedente de la Laguna de Cuyutlán a través del Túnel y del canal de Ventanas (Figs. 12 y 32).

CUADRO X.- Promedio de la salinidad (UPS) en superficie

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	33.7	33.7	33.6
2	33.6	33.7	33.4
5	33.8	33.9	33.6
6	33.9	34.1	33.7
7	34.0	34.1	33.8
8	34.1	34.1	34.1
9	34.3	34.3	34.3
10	34.3	34.3	34.4
11	34.2	34.2	34.3
12	34.3	34.3	34.3
13	34.2	34.4	34.0
14	34.3	34.4	34.2
3	33.0	33.4	32.4
4	33.3	33.5	32.9
<b>PROM</b>	33.9	34.0	33.8

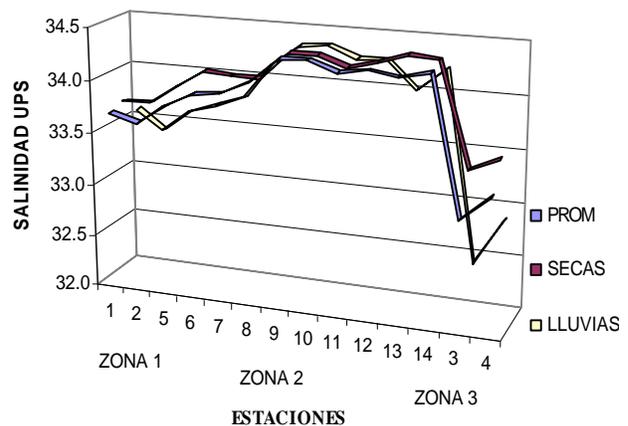


Figura 35.- Comportamiento del promedio de la salinidad superficial.

## CUADRO XI.- Estadística básica de la salinidad en superficie

### VALORES ANUALES

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1-2)		Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 5-14)	
Mínimo	29.0 UPS Puerto Interior (est. 2, enero 1994)	Mínimo	26.8 UPS Dársena (est. 7 septiembre 1993)
Máximo	35 UPS Puerto Interior (est. 1 y 2 de enero a junio 1991, )	Máximo	36.1 UPS zona costera (est. 9, octubre 1993)
Promedio	33.64 UPS	Promedio	34.13 UPS
Dis. Enlace	4.42	Dis. Enlace	1.70 - 3.97
Desvest	0.982	Desvest	0.868

ZONA 3	
Puerto Interior (est. 3 y 4)	
Mínimo	28.8 UPS Puerto Interior (est.3 y 4, noviembre 1993)
Máximo	35 UPS Puerto Interior (est. 3 y 4, de enero a junio 1991)
Promedio	33.14 UPS
Dis. Enlace	4.47
Desvest	1.252

### ÉPOCA DE SECAS

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1, 3 y 4)		Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 5-14)	
Mínimo	31.35 UPS Puerto Interior (est.3 febrero 1994)	Mínimo	31.92 UPS Dársena (est. 5, febrero 1995)
Máximo	35 UPS Puerto Interior (est. 1, 3 y 4 de enero a junio 1991)	Máximo	35.54 UPS Zona costera (est. 9, abril 1995)
Promedio	33.55 UPS	Promedio	34.19
Dis. Enlace	2.19 a 2.23	Dis. Enlace	0.62 - 2.04
Desvest	0.850	Desvest	0.530

ZONA 3	
Puerto Interior (est. 2)	
Mínimo	29.04 UPS Puerto Interior (est. 2 enero 1994)
Máximo	35.00 UPS Puerto Interior (est. 2 de enero a junio 1991)
Promedio	33.74 UPS
Dis. Enlace	2.82
Desvest	1.185

### ÉPOCA DE LLUVIAS

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1-2)		Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est 5-14)	
Mínimo	30.98 UPS Puerto Interior (est.1 noviembre 1993)	Mínimo	26.79 UPS Dársena (est. 7 septiembre 1993)
Máximo	35 UPS Puerto Interior (est. 1 y 2 agosto y septiembre 1991)	Máximo	36.11 UPS zona costera (est. 9, octubre 1993)
Promedio	33.49 UPS	Promedio	34.06 UPS
Dis. Enlace	2.66	Dis. Enlace	0.49 - 3.02
Desvest	1.012	Desvest	1.193

ZONA 3	
Puerto Interior (est. 3 y 4)	
Mínimo	28.83 UPS Puerto Interior (est. 3, noviembre 1993)
Máximo	35 UPS Puerto Interior (est. 4, agosto y septiembre 1991).
Promedio	32.65 UPS
Dis. Enlace	3.76
Desvest	1.539

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

## b) Fondo

La salinidad presenta un comportamiento muy similar a la de superficie formándose cuatro áreas, aunque los valores registrados para fondo son más cercanos entre si que los registrados en superficie (Figs. 35 y 39). La primera zona en la parte interna del Puerto Interior (est. 1 y 2), con un mínimo de 32.45 UPS, máximo de 36.6 UPS y promedio de 34.07 UPS y distancia de enlace de 2.42; la segunda que es la más amplia debido a que se incluye parte de la Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 6-14), con una distancia de enlace de 1.42-2.72, mínimo de 31.06 UPS en la playa de Las Hadas (est. 12), máximo de 36.64 UPS en el centro de la bahía (est. 13) y promedio de 34.24 UPS; la tercera que corresponde a la parte más externa del Puerto Interior, (est. 3 y 4), con una distancia de enlace de 2.16, mínima de 32.53 UPS, máxima de 36.12 UPS en el Puerto Interior (est. 3 y 4 respectivamente) y promedio de 34.17 UPS y la cuarta en forma puntual en la Dársena (est. 5), con un promedio de 33.74 UPS, mínima de 30.75 UPS, máxima de 35 UPS y una distancia de enlace de 4.9 (Figs. 36 y 37, Cuadros XII y XIII).

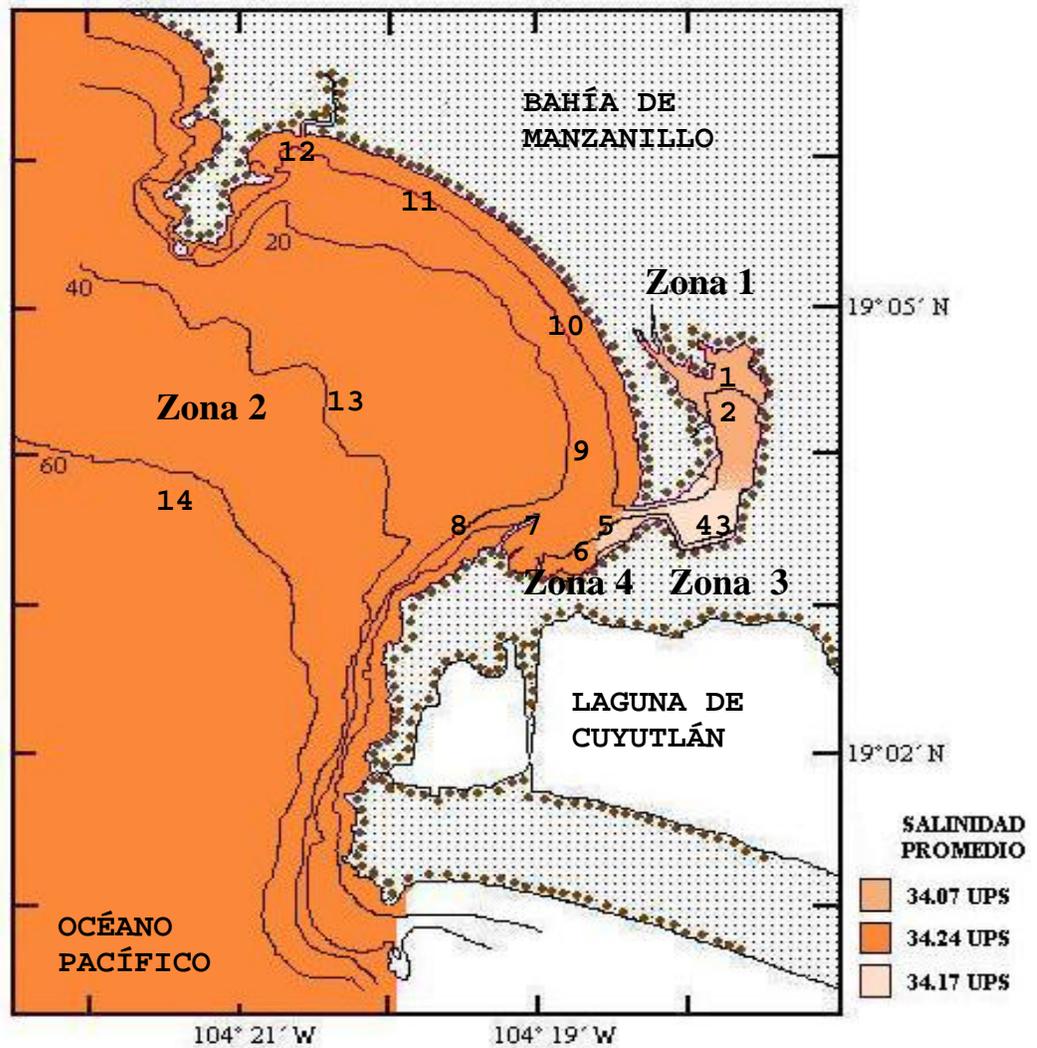


Figura. 36.- Representación de las tres zonas del Índice de Similitud de la salinidad en fondo.

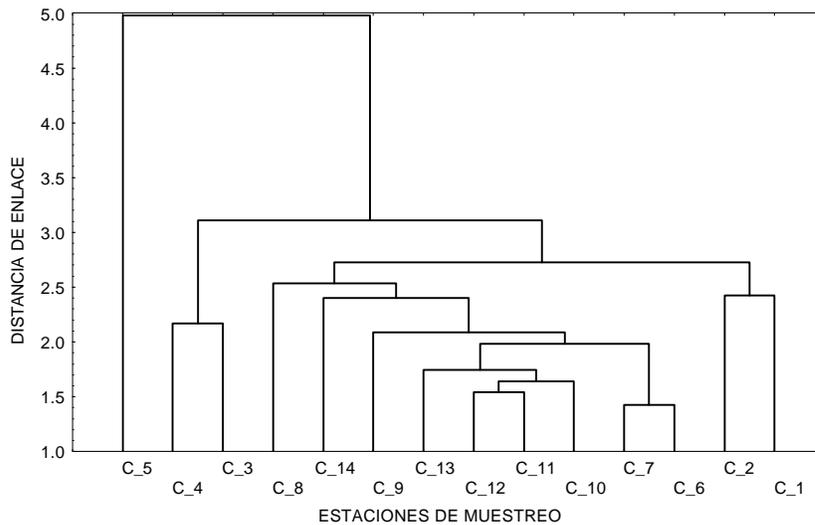


Figura. 37.- Comportamiento de la salinidad en fondo durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Cabe mencionar que se aprecian los valores promedio más altos de salinidad y no se registraron valores mínimos extremos como sucede en la salinidad superficial, esto permite corroborar el aporte de agua dulce y el patrón de circulación de la zona de estudio de acuerdo con la Modelación hidrodinámica numérica de las bahías de Manzanillo y Santiago, Galicia (1987) y la modelación hidrodinámica propuesta por Gaviño (1993). El promedio general de la salinidad fue de 34.26 UPS y es ligeramente más alto que en superficie por 0.22 UPS (Cuadros XII y XIII).

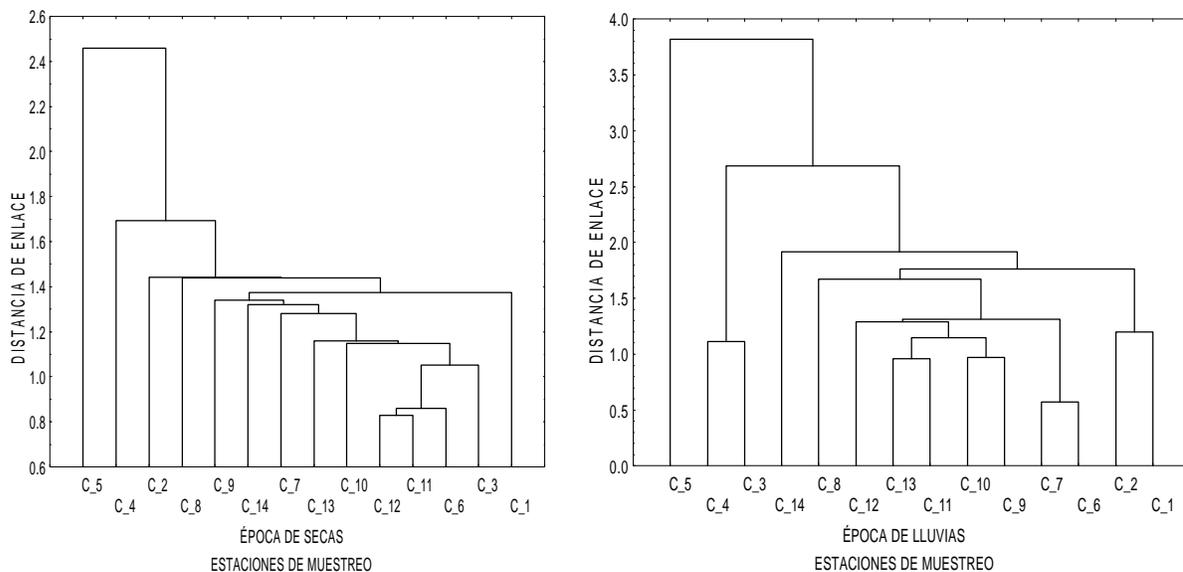


Figura. 38.- Comportamiento de la salinidad en fondo en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana).

En secas se determinan tres zonas, la primera que se forma prácticamente en toda el área de estudio comprendiendo parte del Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de bahía (est. 1, 2 y 6-14), con una distancia de enlace de 0.57 a 1.91, mínima de 32.0 UPS en la Dársena (est. 7) , máxima de 35.54 USP en la zona costera (est. 9) y promedio de 34.21 UPS; la segunda se ubicó en forma muy puntual en el Puerto Interior banda 3-4 y 4-5 (est. 3 y 4) con un promedio de 34.15 UPS, mínimo de 33.0 UPS en la banda 4 y 5 del Puerto Interior, máximo de 35 UPS en ambas bandas y distancia de enlace de 1.11 y la tercera en la playa de San Pedrito (est. 5) con una distancia de enlace 3.8, mínima de 31.92 UPS, máxima de 35 UPS y promedio de 33.89 UPS, siendo en esta área en donde se registraron los promedios mas bajos de toda el área de estudio. La distancia de enlace que se presenta en esta época es más corta que para lluvias, también se observa lo mismo para los promedios totales anuales (Figs. 38 y 39: Cuadros XII y XIII).

**CUADRO XII.-** Promedio de la salinidad (UPS) en fondo

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	33.96	33.92	34.05
2	34.18	34.16	34.22
3	34.14	34.13	34.16
4	34.21	34.17	34.28
5	33.74	33.89	33.42
6	34.24	34.21	34.30
7	34.18	34.08	34.38
8	34.11	34.14	34.04
9	34.28	34.32	34.21
10	34.32	34.34	34.28
11	34.21	34.24	34.15
12	34.17	34.23	34.07
13	34.39	34.41	34.36
14	34.33	34.45	34.20
<b>PROM</b>	<b>34.17</b>	<b>34.18</b>	<b>34.15</b>

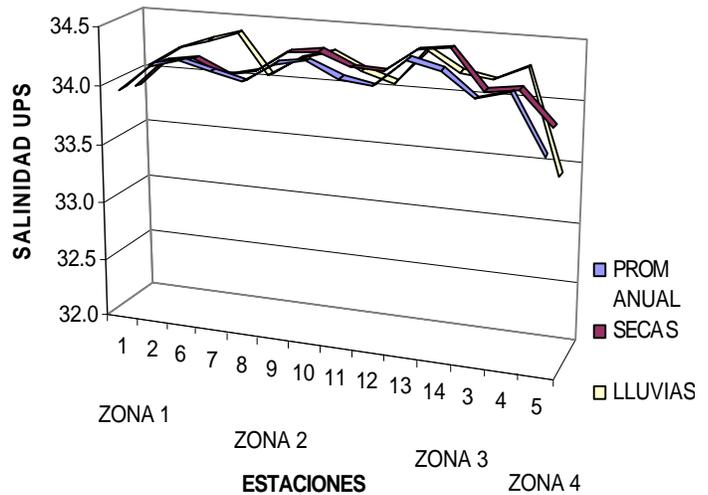


Figura 39.- Comportamiento del promedio de la salinidad en fondo.

En lluvias se forman dos áreas pero en diferentes regiones, la primera que abarca prácticamente toda el área de estudio como es el Puerto Interior, Dársena, Zona costera y centro y fuera de la bahía (est. 1-4 y 6-14) con una distancia de enlace de 0.82 a 1.69 - .20-2.30, promedio de 34.21 UPS, mínimo de 31.06 UPS en la playa de Las Hadas (est. 12) y máximo de 36.64 UPS en el centro de la bahía (est. 13) y la segunda se forma en la Dársena (est. 5), con una distancia de enlace de 2.46, mínima de 30.75 UPS, máxima de 35 UPS y promedio de 33.42 UPS (Figs. 38 y 39; Cuadros XII y XIII).

### CUADRO XIII.- Estadística básica de la salinidad en fondo

#### VALORES ANUALES

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1-2)		Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 6-14)	
Mínimo	32.45 UPS Puerto Interior (est.1, septiembre 1993)	Mínimo	31.06 UPS Las Hadas (est. 12, septiembre 1993)
Máximo	36.6 UPS Puerto Interior (est. 2, octubre 1993)	Máximo	36.64 UPS centro de la bahía
Promedio	34.07 UPS	Promedio	34.24 UPS (est. 13, octubre 1993)
Dis. Enlace	2.42	Dis. Enlace	1.42 - 2.72
Desvest	0.605	Desvest	0.636
ZONA 3		ZONA 4	
Puerto Interior (est. 3 y 4)		Dársena (est. 5)	
Mínimo	32.53 UPS Puerto Interior (est.3, noviembre 1995)	Mínimo	30.75 Dársena (est. 5, agosto 1994)
Máximo	36.12 UPS Puerto Interior (est. 4, octubre 1993)	Máximo	35 Dársena (est. 5, enero, febrero, mayo y junio 1991)
Promedio	34.17 UPS	Promedio	33.74 UPS
Dis. Enlace	2.16	Dis. Enlace	4.9
Desvest	0.590	Desvest	0.806

#### ÉPOCA DE SECAS

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la Bahía (est. 1, 2, 6-14)		Puerto Interior (est. 3 y 4)	
Mínimo	32 UPS Dársena (est. 7 1991)	Mínimo	33 UPS Puerto Interior (est. 3, febrero 1991)
Máximo	35.54 UPS zona costera ( est, 9, abril 1995)	Máximo	35 UPS Puerto Interior (est. 3 y 4, enero - junio 1991)
Promedio	34.21 UPS	Promedio	34.15 UPS
Dis. Enlace	0.57 - 1.91	Dis. Enlace	1.11
Desves	0.475	Desvest	0.464
ZONA 3			
Dársena (est. 5)			
Mínimo	31.92 UPS Dársena (est. 5, febrero 1991)		
Máximo	35 UPS Dársena (est. 5 enero, febero y mayo 1991)		
Promedio	33.89 UPS		
Dis. Enlace	3.8		
Desves	0.615		

#### ÉPOCA DE LLUVIAS

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la Bahía (est. 1-4, 6-14)		Dársena (est. 5)	
Mínimo	31.06 UPS Las Hadas (est. 12, septiembre 1993)	Mínimo	30.75 UPS Dársena (est. 5, agosto 1994)
Máximo	36.64 UPS centro de la bahía (est. 13, octubre 1993)	Máximo	35 UPS Dársena (est. 5, julio 1991)
Promedio	34.21 UPS	Promedio	33.42 UPS
Dis. Enlace	0.82 - 1.69	Dis. Enlace	2.46
Desvest	0.827	Desvest	1.043

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

#### 4.2.1.5 Temperatura

Los valores registrados de la temperatura fluctuaron entre 22°C y 32°C en superficie y de 19°C a 32°C en fondo. Aunque la temperatura del medio afecta profundamente a los microorganismos en este caso en particular, estos valores no representaron un factor limitante para las bacterias coliformes fecales debido a que son mesófilos y su rango de temperatura es de 20 a 45°C, y por se parásitas de organismos de sangre caliente su temperatura óptima de crecimiento es de 37°C y no se registró en ningún muestreo valores extremos de la temperatura (Prescott, *et al.* 2002).

### a) Superficial

El análisis de similitud de los promedios mensuales durante los cinco años de la temperatura superficial forma tres zonas con características similares y específicas para cada una de ellas. La primera se localiza en la parte más interna del Puerto Interior y por lo tanto es la zona más protegida y posiblemente con menos intercambio de las masas de agua con respecto a las demás del Puerto Interior, (est 1 y 2) con una distancia de enlace de 3.06. También, se registraron los valores promedio más altos de 28.45°C en esta zona y el valor máximo de 32°C y la mínima de 24.5°C. La segunda zona se localiza en la parte más externa del Puerto Interior, la Dársena y la zona costera (est. 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 y 12), con una distancia de enlace de 1.83 a 2.77 y el promedio fue de 28.17°C, la mínima fue de 22°C en la playa El Viejo (est. 8) y la máxima de 32°C en la zona costera (est. 10). y la tercera que se forma en la Dársena, el centro y fuera de la bahía (est. 6, 13 y 14), con una distancia de enlace de 3.05 a 3.23. El promedio mas bajos se registró en esta zona con 27.9°C y el mínimo de 22.6°C en la Dársena (est. 6) y la máxima de 32°C también en la Dársena (est. 6; Figs. 40 y 41; Cuadros XIV y XV).

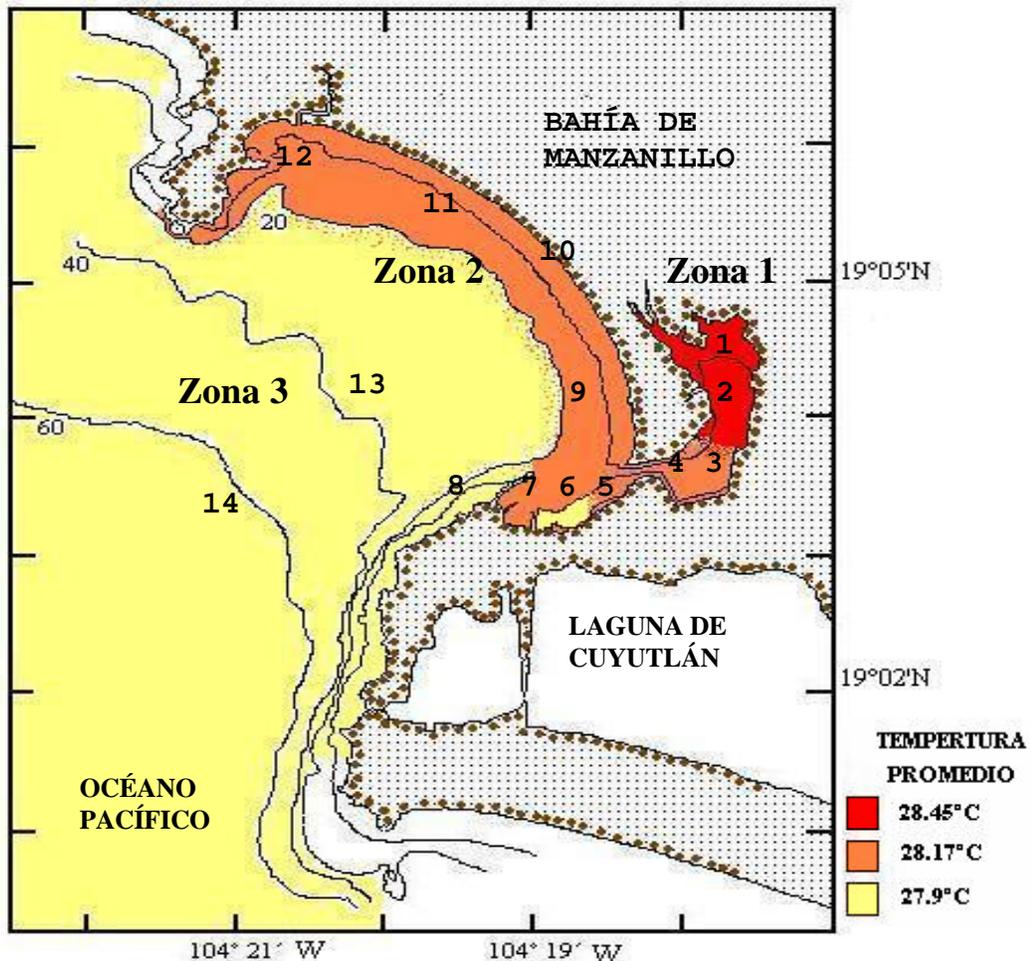


Figura. 40.- Representación de las tres zonas formadas por el Índice de Similitud para la temperatura superficial del agua.

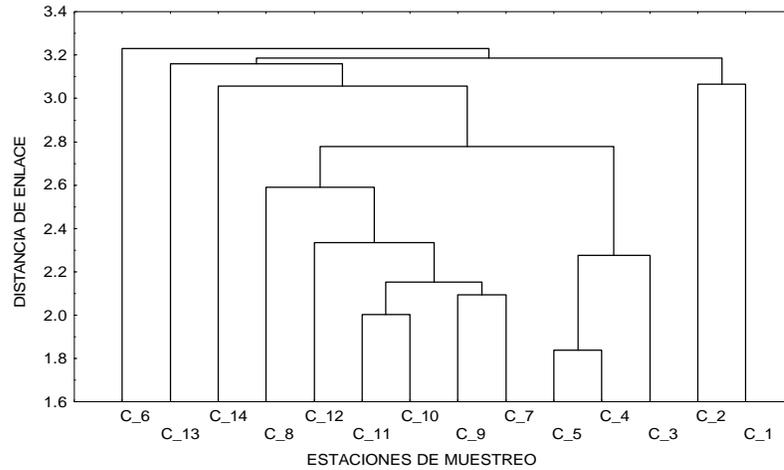


Figura 41.- Comportamiento de la temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ), durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidean, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

El comportamiento de la temperatura superficial en época de secas (diciembre-junio), es muy abierto y forma diversos grupos, sin embargo se pueden apreciar dos agrupamientos, el primero se localiza en el Puerto Interior, Dársena y zona costera (est.1-12) con una distancia de enlace de 2.4 a 4.9, el promedio fue de  $27.19^{\circ}\text{C}$ , con un valor mínimo de  $22^{\circ}\text{C}$  en la playa El Viejo y un máximo de  $31.50^{\circ}\text{C}$ , en la parte más interna del Puerto Interior y el segundo que se ubica en el centro y fuera de la bahía, (est. 13 y 14) con una distancia de enlace de 9.1 a 9.6, promedio de  $26.99^{\circ}\text{C}$ , mínimo de  $23^{\circ}\text{C}$  fuera de la bahía (est. 14) y máximo de  $30^{\circ}\text{C}$  en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14; Figs. 42 y 43; Cuadros XIV y XV).

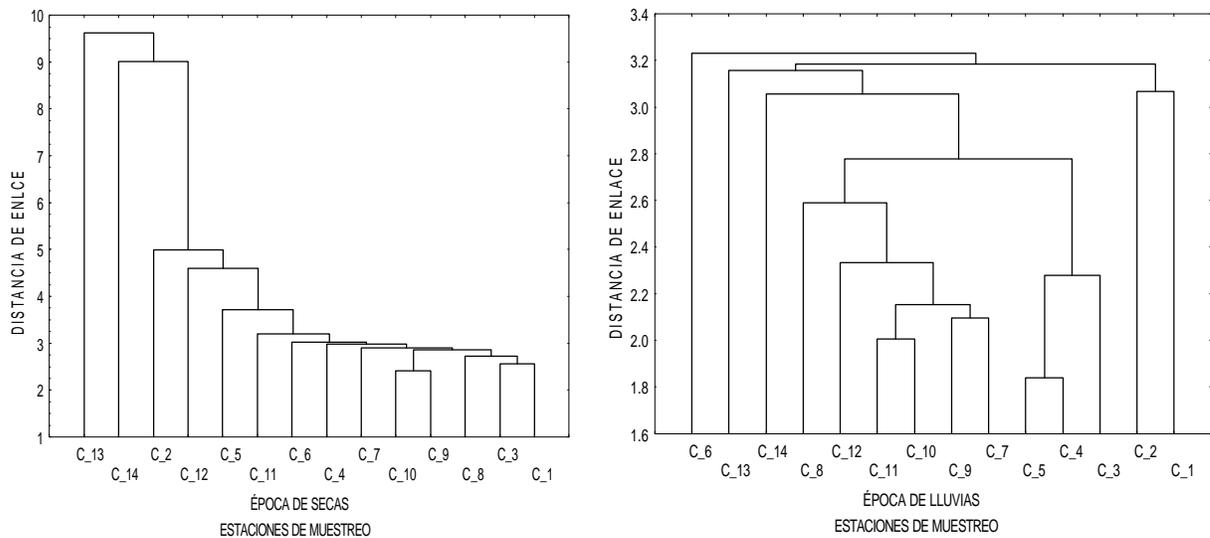


Figura 42.- Comportamiento de la temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ), en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclidean, los casos equivalen a las estaciones de muestreo).

En época de lluvias (julio-noviembre), se forman tres zonas, la primera en la parte mas interna del Puerto Interior (est. 1 y 2), con una distancia de enlace de 3.6; el mínimo de 27.40°C en la Dársena (est. 7) y el máximo de 32°C en el Puerto Interior (est. 1 y 2) y un promedio de 30.55°C; la segunda zona está formada por parte del Puerto Interior, Dársena, y zona costera, (est. 3-5, 7-12), con una distancia de enlace de 1.8 a 2.6 promedio de 30.8°C, máximo de 31.8°C en la zona costera (est. 10) y mínimo de 27.5°C en la Dársena y en la zona costera (est. 5, 10 y 11) y la tercera en la Dársena y en el centro y fuera de la bahía con una distancia de enlace de 3.05 a 3.2, mínimo de 27.1°C en el centro de la bahía (est. 13), máximo de 32°C en la Dársena (est. 6) y promedio de 30.10°C..(Figs. 42 y 43; Cuadros XIV y XV).

**CUADRO XIV.-** Promedio de la temperatura (°C) en superficie

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	28.8	27.7	30.8
2	28.8	27.7	30.7
3	28.5	27.4	30.4
4	28.4	27.4	30.3
5	28.4	27.2	30.4
8	27.9	26.7	30.0
7	28.1	26.9	30.2
9	28.2	27.0	30.2
10	28.2	27.0	30.2
11	28.2	27.0	30.1
12	28.0	26.9	29.9
6	28.3	27.1	30.5
13	28.0	26.9	29.9
14	28.3	27.2	29.9
<b>PROM</b>	<b>28.3</b>	<b>27.2</b>	<b>30.2</b>

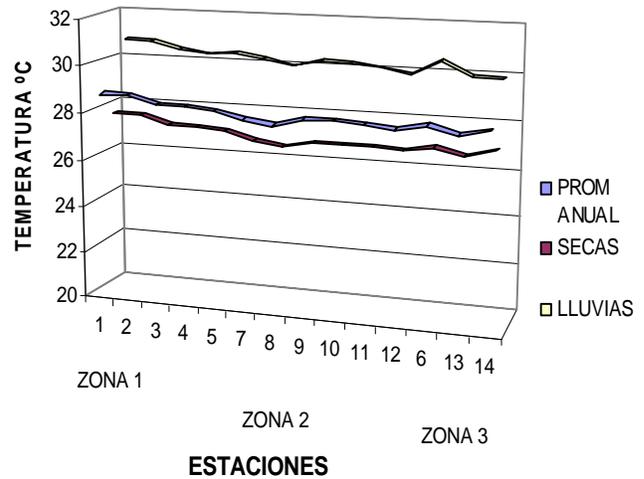


Figura 43.- Comportamiento del promedio de la temperatura superficial.

De forma general se observa que el promedio de la temperatura superficial en época de secas (26.7 a 27.7°C), es más elevada en el Puerto Interior y Dársena, mientras que en la zona costera es más uniforme y más cercana a la que se registra en el centro y fuera de la bahía, esto debido a la poca profundidad y al patrón de circulación. Los valores mínimos de 21.70°C se presentaron en la playa El Viejo y en la zona costera y los valores máximos de 31.5°C en el Puerto Interior (est. 1,2 y 3). También, en comparación con la época de lluvias las temperaturas son de 3 a 4 grados más elevadas que en secas y los promedios fluctuaron entre 29.9 a 30.8°C (Figs. 40 y 43; Cuadros XIV y XV).

## CUDRO XV.- Estadística básica de la temperatura en superficie

### VALORES ANUALES

ZONA 1	ZONA 2
Parte más interna del Puerto Interior (est. 1 y 2)	Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 3-5 y 7-12)
Mínimo 24.5°C Puerto interior (est 1, abril 1994)	Mínimo 22.0°C playa el Viejo (est. 8 marzo 1991)
Máximo 32°C Puerto Interior (est. 1 y 2, agosto)	Máximo 32.0°C zona costera (est. 10 octubre 1993)
Promedio 28.45°C 1994 y 1995)	Promedio 28.17°C
Dis. Enlace 3.06	Dis. Enlace 1.83-2.77
Desvest 2.01	Desvest 2.077

ZONA 3
Dársena, centro y fuera de la bahía (est. 6, 13 y 14)
Mínimo 22°C Dársena (est. 6 marzo 1991)
Máximo 32°C Dársena (est. 6 julio 1991, septiembre)
Promedio 27.9°C 1992 y octubre 1993)
Dis. Enlace 3.05 - 3.23
Desvest 2.118

### ÉPOCA DE SECAS

ZONA 1	ZONA 2
Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 1-12)	Centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14)
Mínimo 22°C playa el Viejo (est. 8 marzo 1991)	Mínimo 23°C fuera de la bahía ( est 14 marzo 1994).
Máximo 31.5°C Puerto Interior (est. 2 mayo 1991)	Máximo 30°C centro y fuera de la bahía
Promedio 27.19°C	Promedio 26.99°C (est. 13 y 14 1993 y 1994)
Dis. Enlace 2.41-4.99	Dis. Enlace 9.01-9.62
Desvest 1.69	Desvest 1.70

### ÉPOCA DE LLUVIAS

ZONA 1	ZONA 2
Parte más interna del Puerto Interior (est. 1 y 2)	Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 3-5 y 7-12)
Mínimo 27.4°C Dársena (est 7 octubre 1991)	Mínimo 27.5°C dársena y zona costera
Máximo 32°C Puerto interior (est. 1 y 2 julio,	(est. 5, 10 y 11 octubre 1995)
Promedio 30.55°C	Máximo 31.8°C Zona costera (est. 10 oct 1993).
Dis. Enlace 3.06 agosto y septiembre 1992	Promedio 30.8°C
y agosoto 1994 y 1995)	Dis. Enlace 1.83-2.59
Desvest 1.03	Desvest 0.95

ZONA 3
Dársena, centro y fuera de la bahía (est. 6, 13 y 14)
Mínimo 27.1°C est. 13 noviembre 1993
Máximo 32°C est. 6 julio 1991, septiembre 1992 y
Promedio 30.1°C
Dis. Enlace 3.05-3.23 octubre 1993
Desvest 1.02

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

## b) Fondo

La temperatura promedio anual de fondo se comporta ligeramente diferente de la de superficie. Se forman dos zonas que comparten índices de similitud muy cercanos; la primera que comprende el Puerto Interior, Dársena y zona costera, (est. 1-12) que representa más de la mitad del área de estudio con índice de similitud de 3.16 a 6.83, con un mínimo de 19.0°C en la playa de Las Hadas (est. 12) y el máximo de 32°C en el Puerto Interior (est. 1), promedio de 27.9°C y promedios que fluctuaron entre 27.6 y 28.3°C. La segunda se forma en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14), con un índice de similitud de 12.8 con valores promedio entre 26.4 y 26.9°C, un mínimo de 19°C y máxima de 31°C. y promedio de 26.6°C (Figs. 44 y 45, Cuadros XVI y XVII).

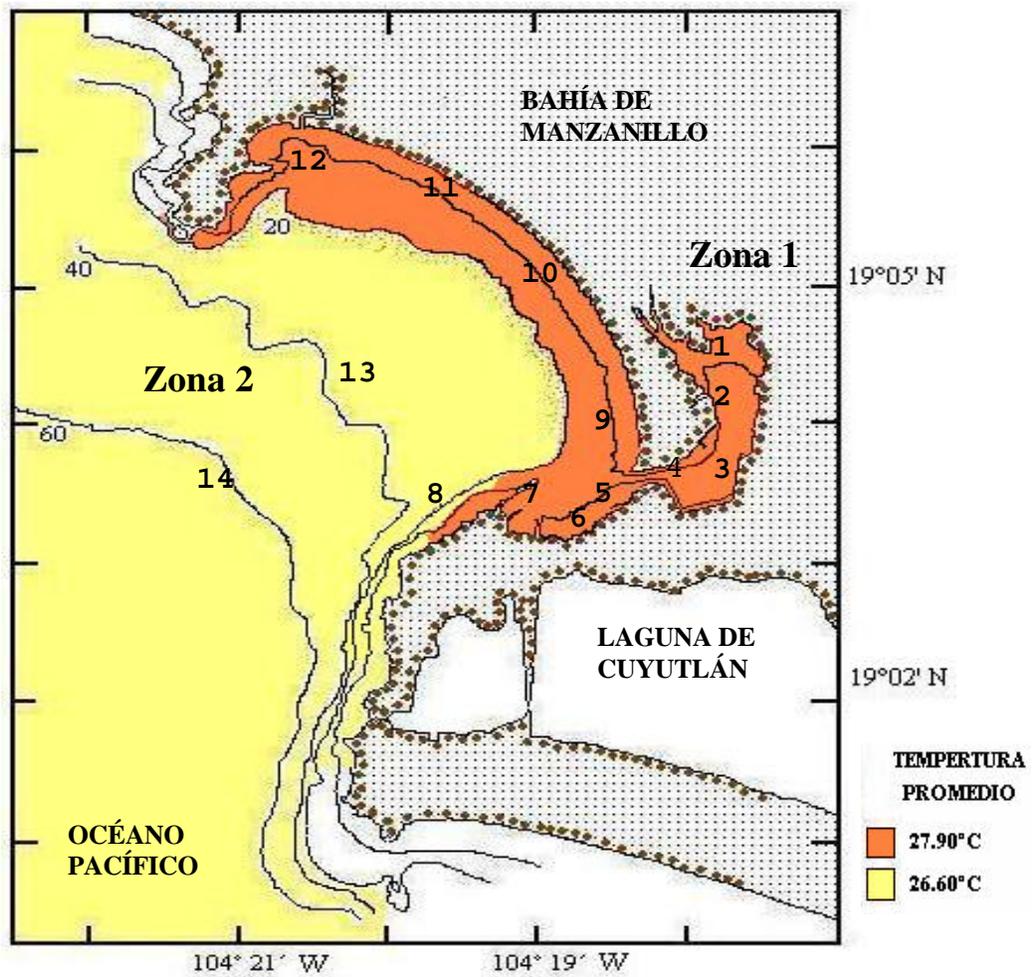


Figura 44.- Representación de las dos zonas formadas por el Índice de Similitud para la temperatura del agua en fondo.

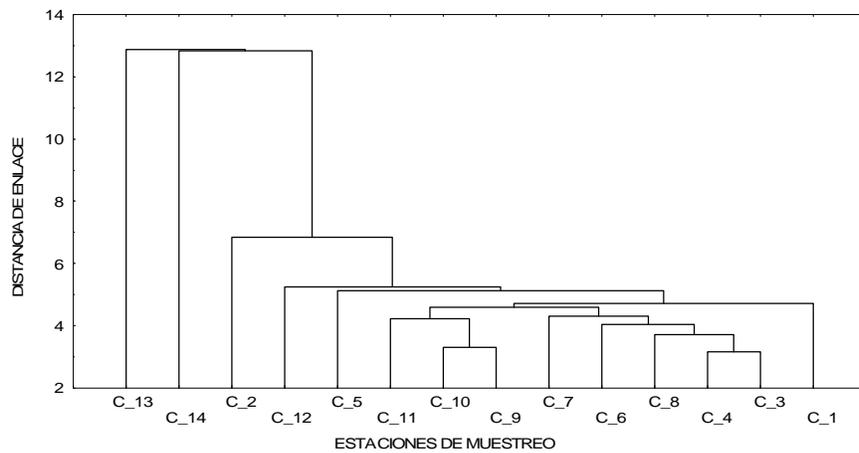


Figura 45.- Comportamiento de la temperatura en fondo (°C), durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana. los casos representan las estaciones de muestreo).

Tanto en época de lluvias como en secas se forman las dos áreas que también se presentan anualmente, aunque los índices de similitud son diferentes para cada una. En época de secas, la primera zona se formó en el Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 1-12) con un índice de similitud que va de 2.1 a 4.5, promedios que fluctuaron entre 26.3 y 27.2 °C, mínimo de 19°C en la playa de Las Hadas (est. 12) y máximo de 30.5°C en el Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 3, 5 y 9 respectivamente) y promedio de 26.72°C, y la segunda en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14), con un mínimo de 19°C máximo de 29.5°C y promedio de 25.4°C en el centro de la bahía (est. 13). En lluvias el valor mínimo de 24.8°C y el máximo de 32°C ambos en el Puerto Interior (est. 1 y 2), los promedios fluctuaron entre 29.7-30.4°C y el promedio para la zona del Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 1-12) fue de 29.9°C, con una distancia de enlace de 1.0 a 3.5. y para el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14), los promedios variaron de 28.2 a 28.4°C con un mínimo de 22.5°C máximo de 31°C y promedio de 28.3°C y distancia de enlace de 5.7 (Figs. 46 y 47: Cuadros XVI y XVII).

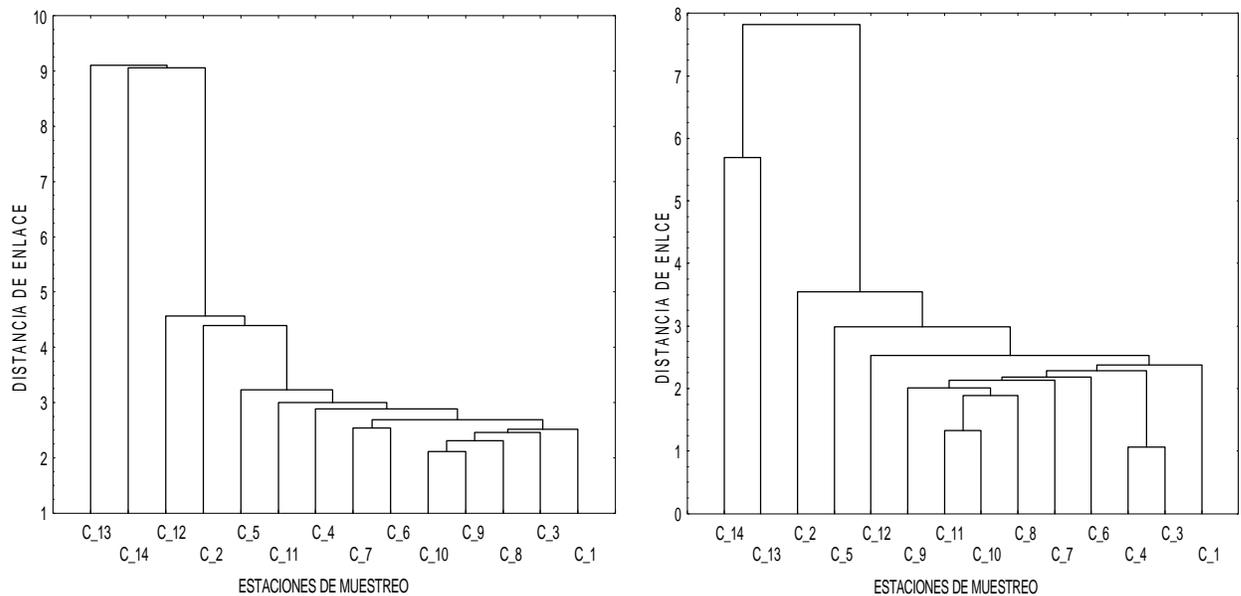


Figura 46.- Comportamiento de la temperatura en fondo (°C), en época de secas y lluvias, durante 1991-1995. (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

También al igual que la temperatura de superficie, la zona que presentó mayores variaciones y temperaturas más altas (~ de 1 a 2°C) fue el Puerto Interior, mientras que en la zona costera las fluctuaciones fueron mas ligeras y mas cercanas a la del centro y fuera de la bahía. En general la temperatura en secas es ligeramente más baja que en lluvias su fluctuación es aproximadamente de 3 grados centígrados de una época a otra y la diferencia entre superficie y fondo de 12°C entre la máxima y mínima registrada (Figs. 44; Cuadros XVI y XVII).

Por otro lado, los valores registrados de la temperatura en el área de estudio probablemente a las bacterias coliformes no les afecta, ya que para ellas su temperatura óptima en la cual crecen es de 35-37°C y en los años de muestreo no se registró ningún valor por arriba de éstos y si la temperatura descendiera considerablemente su metabolismo disminuye ligeramente conforme la temperatura desciende (Prescott *et al.* 2002.).

**CUADRO XVI:- Promedio de la temperatura (°C) en fondo**

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	28.0	26.9	30.0
2	27.5	26.4	29.7
3	27.9	26.7	30.0
4	27.9	26.8	30.0
5	28.3	27.2	30.4
6	27.9	26.8	30.1
7	27.8	26.6	29.9
8	27.8	26.7	29.8
9	28.1	26.8	30.2
10	28.0	26.8	30.0
11	27.9	26.7	29.8
12	27.6	26.3	29.7
13	26.4	25.3	28.4
14	26.9	25.7	28.2
PROM	27.7	26.5	29.7

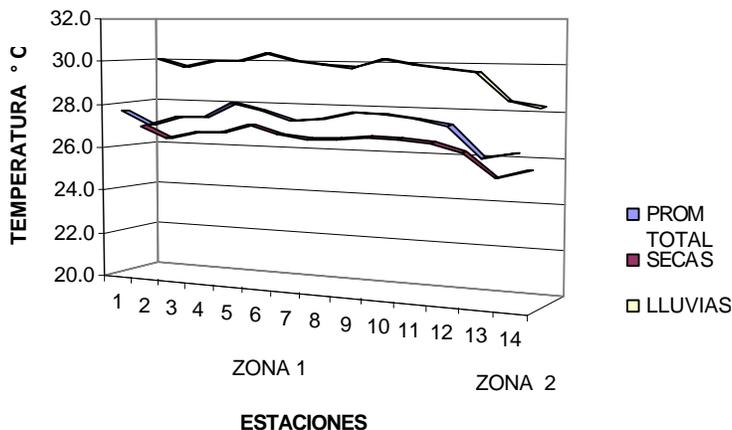


Figura 47.- Comportamiento del promedio de la temperatura en fondo.

Se aprecia que entre el promedio de la temperatura superficial y la de fondo hay una diferencia de 1 a 2 grados aproximadamente (Figs. 43 y 47; Cuadros XIV y XVI).

**CUADRO XVII.- Estadística básica de la temperatura en fondo**

**VALORES ANUALES**

ZONA 1	
Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 1-12)	
Mínimo	19°C Las Hadas (est. 12 marzo 1991)
Máximo	32°C Puerto Interior (est.2 septiembre 1992)
Promedio	27.9°C
Dis. Enlace	3.16 a 6.83

ZONA 2	
Centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14)	
Mínimo	19°C centro de la bahía (est. 13 marzo 1991)
Máximo	31°C fuera de la bahía (est. 14 octubre 1994)
Promedio	26.6°C y 1995).
Dis. Enlace	12,87

**ÉPOCA DE SECAS**

ZONA 1	
Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 1-12)	
Mínimo	19°C zona costera (est.12 marzo 1991)
Máximo	30.5°C Puerto Interior y zona costera
Promedio	26.7°C
Dis. Enlace	2.10 a 4.56 (est. 3 y 9 1993 y est 5 1994)

ZONA 2	
Centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14)	
Mínimo	19°C centro de la bahía (est. 13 marzo 1991)
Máximo	29.5°C centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14, junio 1994).
Promedio	25.4°C y 14, junio 1994).
Dis. Enlace	9.1

**ÉPOCA DELLUVIAS**

ZONA 1	
Puerto Interior, dársena y zona costera (est. 1-12)	
Mínimo	24.8°C Puerto Interior (est. 2, octubre 1995)
Máximo	32°C Puerto Interior (est.1 septiembre 1992)
Promedio	29.9°C
Dis. Enlace	1.06 a 3.54

ZONA 2	
Centro y fuera de la Bahía (est. 13 y 14)	
Mínimo	22.5°C fuera de la bahía (est.14 octubre 1991)
Máximo	31°C fuera de la bahía (est. 14 octubre 1994)
Promedio	28.3°C agosto 1995)
Dis. Enlace	5.7

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

### 4.2.1.5 pH

Las variaciones drásticas en el pH del medio ambiente en el cual los microorganismos son introducidos por las descargas de aguas residuales, pueden dañarlos destruyendo la membrana plasmática o inhibiendo la actividad de las enzimas y proteínas de transporte de la misma, ya que a las bacterias coliformes se les considera como microorganismos neutrófilos los cuales pueden vivir en pH entre 5.5 – 8, y más específicamente a las fecales las condiciones de un pH neutro favorece su supervivencia y los resultados obtenidos en este estudio muestran que los valores del pH fluctuaron entre 7.42 y 8.8 en superficie, mientras que en fondo fue de 7.38 a 8.84, por lo que este parámetro puede no afectarles considerablemente por tratarse de ya que son condiciones neutras.

#### a) Superficial

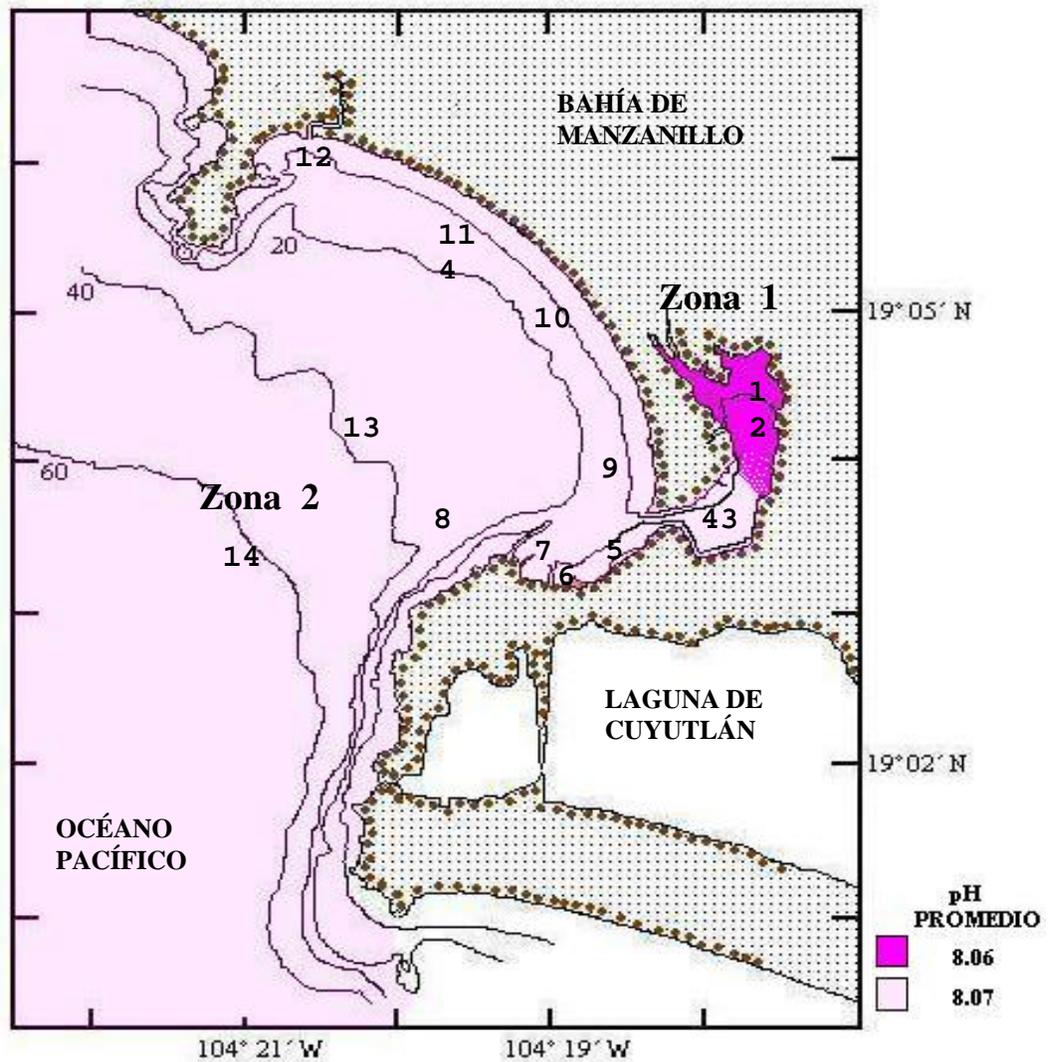


Figura 48.- Representación de las dos zonas del Índice de Similitud del pH en superficie.

El análisis de similitud del pH presentó la formación de dos zonas principales, la primera al igual que la temperatura se forma en la parte mas interna del Puerto Interior (est. 1,2) con una distancia de enlace de 1.13, con promedios de 8.06, mínimo de 7.46 en el Puerto Interior (est. 3 y 4) y máximo de 8.8 también en el Puerto Interior (est. 2) y la segunda que se ubica en el Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía, (est. 3-14), con una distancia de enlace de 0.38 a 0.75 mínimo de 7.42 en el Puerto Interior (est. 3 y 4), máximo de 8.8 en la Playa El Viejo (est. 8) y promedio de 8.07; es necesario hacer mención que en el Puerto Interior, banda tres, (est. 3, 4 ) se separan del resto del área con uno de los valores promedio extremo (7.95) y con el valor mínimo y el máximo registrados en toda el área de estudio (Figs. 48 y 49; Cuadros XVIII y XIX). También en estas zonas se encontraron descargas de aguas residuales procedentes del drenaje del puerto de Manzanillo en la playa del Viejo en la zona costera y en San Pedrito, y Laguna de Tapeixtles que drenan en el Puerto Interior.

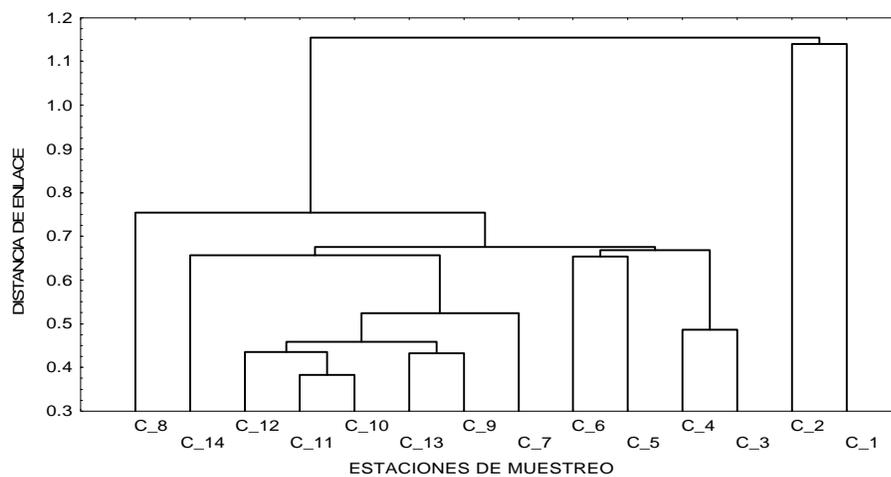


Figura 49.- Comportamiento del pH en superficie durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos corresponden a las estaciones de muestreo).

Por otro lado, en la zona costera, centro y fuera de la bahía se registraron valores que se encontraron dentro de los reportados para aguas con características marinas (7.5 a 8.5), (Cuadro XIX).

De diciembre a junio que determina la época de secas se observó un ligero descenso en el promedio del pH con valores que fluctuaron entre 7.96 a 8.15. El análisis del índice de similitud muestra claramente la formación de las mismas dos zonas que se presentaron en los promedio anuales, sin embargo, en esta época están más definidas ya que su índice de similitud es muy cercano entre sí y la primera se localiza en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1 y 2) con una distancia de enlace de 0.87 a 1.06, mínimo de 7.46 y máximo de 8.8 en el Puerto Interior (est. 1 y 2) y promedio de 8.06- En esta zona se registraron promedios mas bajos de toda el área de estudio. La segunda forma parte del Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 3-14) con una distancia de enlace entre ellas de 0.23 a 0.427; promedio de 8.07, el valor mínimo de 7.5 en el Puerto Interior (est. 3) y el máximo de 8.42 en la playa El Viejo (est. 8). En ambas zonas se detectaron descargas de aguas residuales del puerto de Manzanillo y el resto del área de estudio se encontró dentro de las características oceanográficas reportadas para zonas costeras (Figs. 50 y 51; Cuadros XVIII y XIX).

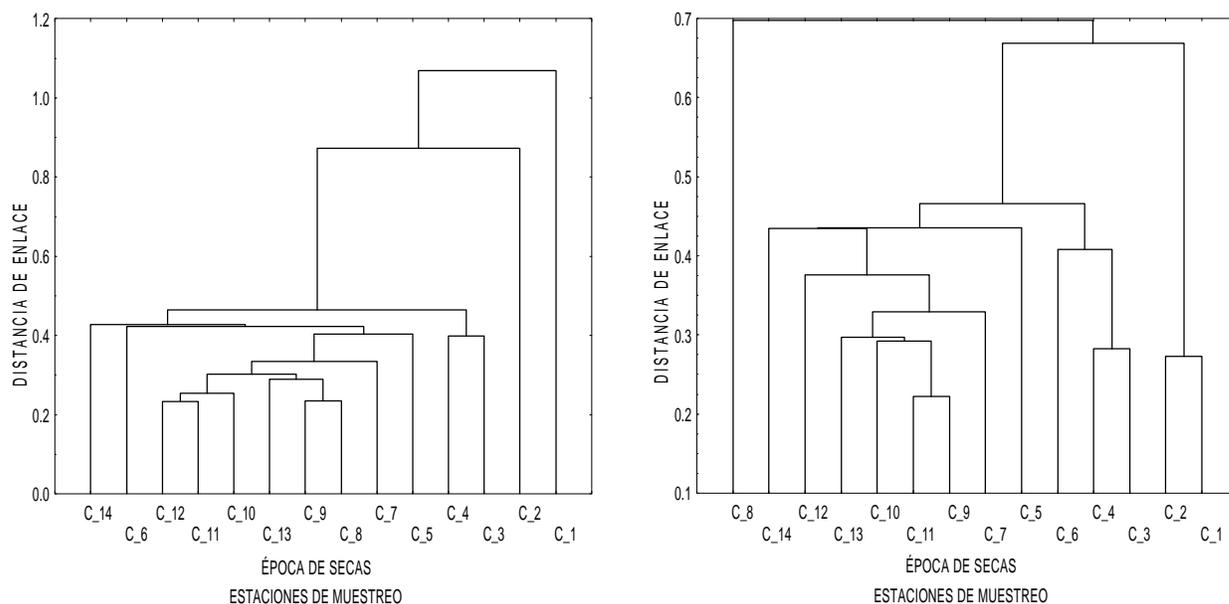


Figura 50.- Comportamiento del pH en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Durante la época de lluvias el índice de similitud forma claramente tres áreas parecidas a las que se formaron con los promedios anuales y solo varía la distancia de enlace entre ellas. La primera en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1 y 2) con una distancia de enlace de 0.27, el valor mínimo de 7.48 y máximo de 8.56 en el Puerto Interior (est. 1) y promedio de 8.05. La segunda zona que se ubicó en parte del Puerto Interior, banda 3-4 y 4-5, Dársena y zona costera (est. 3-7 y 9-14), la distancia de enlace fue de 0.22 a 0.43, promedio 8.06, mínimo de 7.42 en el Puerto Interior (est. 3 y 4) y el máximo de 8.7 en el centro de la bahía (est. 13) y la tercera con una distancia de enlace de 0.66, mínimo de 7.72 y máximo de 8.8 en la playa El Viejo (est. 8) y promedio de 8.1. Se aprecia que los valores determinados durante esta época son un poco más elevados que los de secas y éstos fluctuaron entre 8.03 a 8.10. En forma general para secas y lluvias, los valores más altos se registran en la zona costera, centro y fuera de la bahía, mientras que los más bajos en el Puerto Interior y Dársena (Figs. 50 y 51; Cuadros XVIII y XIX).

A nivel general los valores del pH registrados a lo largo de todos los años de muestreo se encontraron dentro de los límites reportados para condiciones marinas (7.5-8.5), solo algunos datos puntuales se registraron por arriba y debajo de estos valores, principalmente en las zonas en donde se detectaron las descargas de aguas residuales, y en la parte mas interna del Puerto Interior. También se observa que estos valores se encuentran dentro de los límites en los que las bacterias coliformes pueden vivir adecuadamente sin presentar alguna alteración en el potencial Redox celular que les provoque la muerte. Por otro lado se aprecia que hay una tendencia tanto en época de secas como en lluvias en los valores promedio más bajos en la zona del Puerto Interior (est. 3 y 4), seguidos por los de la Dársena y los mas altos en la zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14) (Cuadros XVIII y XIX).

**CUADRO XVIII.- Promedio del pH en superficie**

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	8.04	8.05	8.03
2	8.06	8.06	8.06
3	7.95	7.97	7.96
4	7.95	7.96	7.98
5	8.05	8.05	8.08
6	8.02	8.05	8.00
7	8.08	8.10	8.05
8	8.04	8.08	7.96
9	8.10	8.11	8.05
10	8.10	8.14	8.03
11	8.08	8.11	8.02
12	8.08	8.11	8.01
13	8.10	8.15	8.03
14	8.11	8.12	8.10
<b>PROM</b>	<b>8.05</b>	<b>8.08</b>	<b>8.01</b>

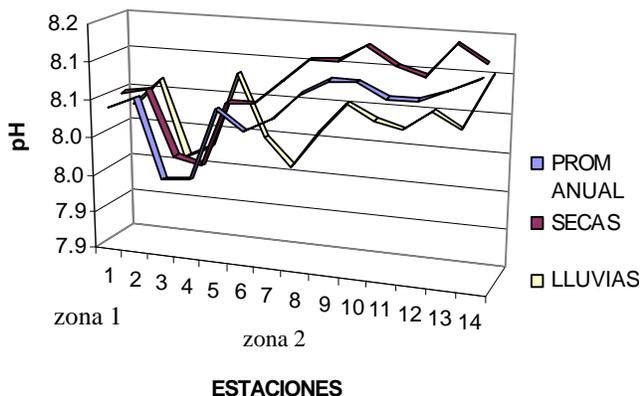


Figura 51.- Comportamiento del promedio del pH en superficie.

**CUADRO XIX.- Mínimos, máximos y promedios del pH en superficie.**

**VALORES ANUALES**

**ZONA 1**

Puerto Interior, (est. 1-2)
Mínimo 7.46 Puerto Interior (est. 1 octubre 1994)
Máximo 8.8 Puerto Interior (est. 2 enero 1991)
Promedio 8.06
Dis. Enlace 1.13
Desvest 0.25455

**ZONA 2**

Puerto Interior, Dársena, centro y fuera de la Bahía (est. :)
Mínimo 7.42 Puerto Interior (est. 3 y 4 octubre 1993)
Máximo 8.8 Playa El Viejo (est. 8 septiembre 1994)
Promedio 8.07
Dis. Enlace 0.38 a 0.75 zona 2
Desvest 0.2074

**ÉPOCA DE SECAS**

**ZONA 1**

Puerto Interior, (est. 1-2)
Mínimo 7.46 Puerto Interior (est. 1, enero 1995)
Máximo 8.8 Puerto Interior (est. 2, Enero 1991)
Promedio 8.06
Dis. Enlace 0.87-1.06
Desvest 0.222

**ZONA 2**

Puerto Interior, Dársena, centro y fuera de la Bahía (est. :)
Mínimo 7.5 Puerto Interior (est. 3, junio 1992)
Máximo 8.42 Playa El Viejo (est. 8 enero 1995)
Promedio 8.07
Dis. Enlace 0.23-0.42
Desvest 0.1511

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

**ZONA 1**

Puerto Interior, (est. 1-2)
Mínimo 7.48 Puerto Interior (est. 1 agosto 1991)
Máximo 8.56 Puerto Interior (est. 1 agosto 1994)
Promedio 8.05
Dis. Enlace 0.27
Desvest 0.322

**ZONA 2**

Puerto Interior, Dársena, centro y fuera de la Bahía (est. :)
Mínimo 7.42 Puerto Interior (est. 3 y 4 octubre 1993)
Máximo 8.7 centro de la Bahía (est. 13 octubre 1991)
Promedio 8.06
Dis. Enlace 0.22 -0.43
Desvest 0.275

**ZONA 3**

Playa El Viejo (est. 8)
Mínimo 7.7 Playa el Viejo (Est. 8 octubre 1993)
Máximo 8.8 Playa el Viejo (est. 8 septiembre 1994)
Promedio 8.1
Dis. Enlace 0.66
Desvest 0.301

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

## b) Fondo

El comportamiento del pH en fondo es diferente del que se determinó en la superficie. Se formaron cinco áreas que por sus características se diferencian unas de otras. La primera en el Puerto Interior (est. 1-4) con una distancia de enlace de 0.85 a 1.06, promedio de 7.91 aunque se registraron en esta zona los mas bajos promedios de toda el área de estudio y van de 7.9 a 8.0, con un mínimo de 7.38 en el Puerto Interior (est. 1), máximo de 8.65 en el Puerto Interior (est. 3). La segunda se localiza en la playa de San Pedrito dentro de la Dársena (est. 5) y frente a las descargas de aguas residuales con un valor de distancia de enlace de 1.23 con promedio de 8.05, mínimo de 7.65 y máximo de 8.25 en la Dársena. La tercera que comprende la zona costera (est. 9-12) con una distancia de enlace entre ellas de 0.59-1.03, el promedio fue de 8.09 y los valores mínimos y máximos de 7.7 y 8.76 en San Pedrito respectivamente. La cuarta se forma en la zona del muelle fiscal, muelle de PEMEX y playa El Viejo (est. 6-8), con un promedio de 8.03, máximo de 8.8 en la playa El Viejo (est. 8), mínimo de 7.3 en la Dársena (est. 6) y distancia de enlace entre ellas de 1.32 a 1.40; y la quinta en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14), con distancia de enlace de 0.91, mínimo de 7.65 y máximo de 8.84 en el centro de la bahía (est. 13) y promedio de 8.04. Cabe mención que en ésta última zona se encontraron menos variaciones entre los valores obtenidos y estos se encontraban dentro de los señalados para condiciones marinas u oceánicas (Figs 52 y 53, Cuadros XX y XXI).

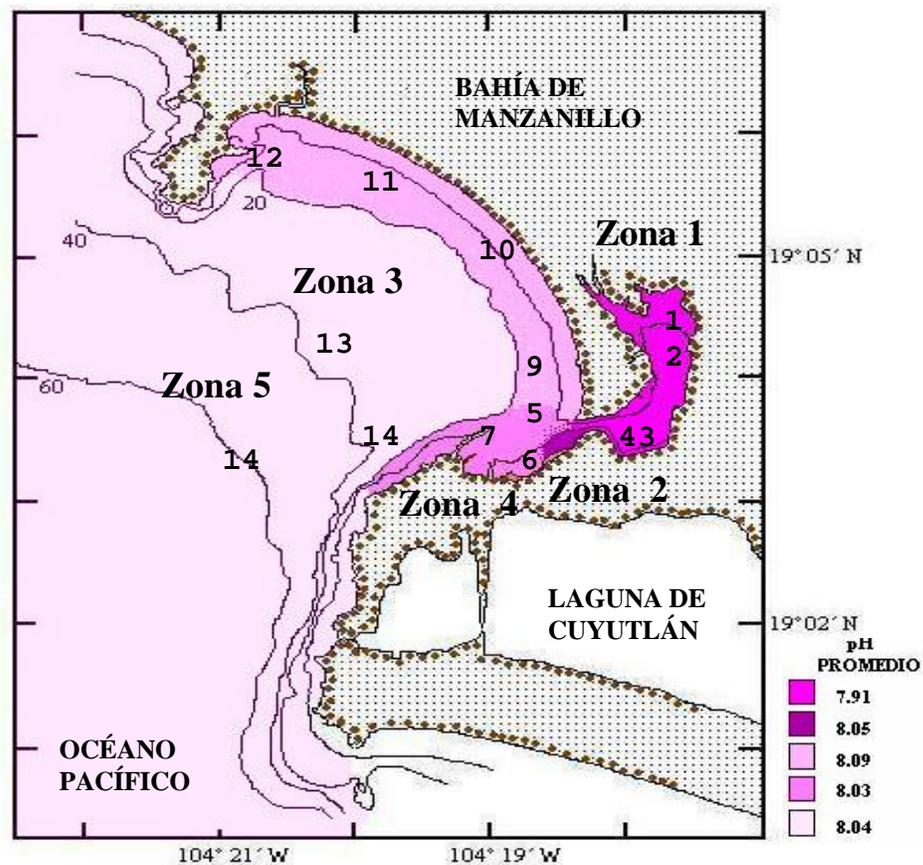


Figura 52.- Representación de las cinco zonas formadas por el Índice de Similitud del pH en fondo.

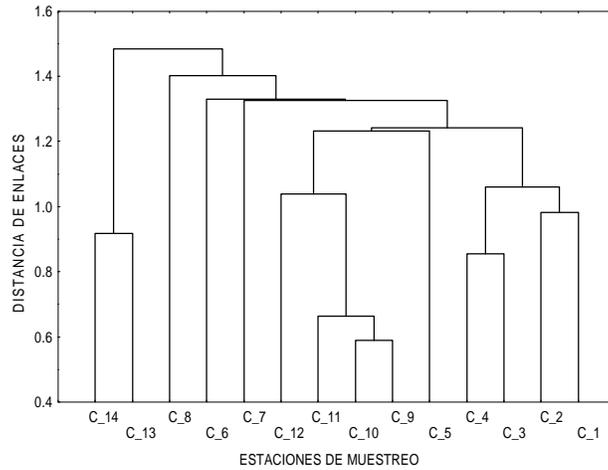


Figura 53.- Comportamiento del pH en fondo durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Durante la época de secas el índice de similitud forma cuatro áreas diferentes de las formadas para los promedios totales que son: la primera se conforma en la parte mas interna del Puerto Interior (est. 1-2) con una distancia de enlace de 0.71, promedio de 7.86 que fueron los más bajos registrados, mínimo de 7.4 y máximo de 8.15; la zona dos se ubica también en el Puerto Interior, banda 4 y 5 (est. 3), con una distancia de enlace de 0.70, mínimo de 7.4, máximo de 8.2 y promedio de 7.92, la zona tres que comprende parte del Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 4, 5, 7-14) con una distancia de enlace de 0.30 - 0.56, mínimo de 7.6 en la Dársena (est. 7), máximo de 8.42 en la playa El Viejo y promedio de 8.05 y la cuarta se forma en la Dársena (est. 6), con distancia de enlace de 0.68 promedio de 7.99, mínimo de 7.3 y máximo de 8.33 (Figs. 54 y 55; Cuadros XX y XXI).

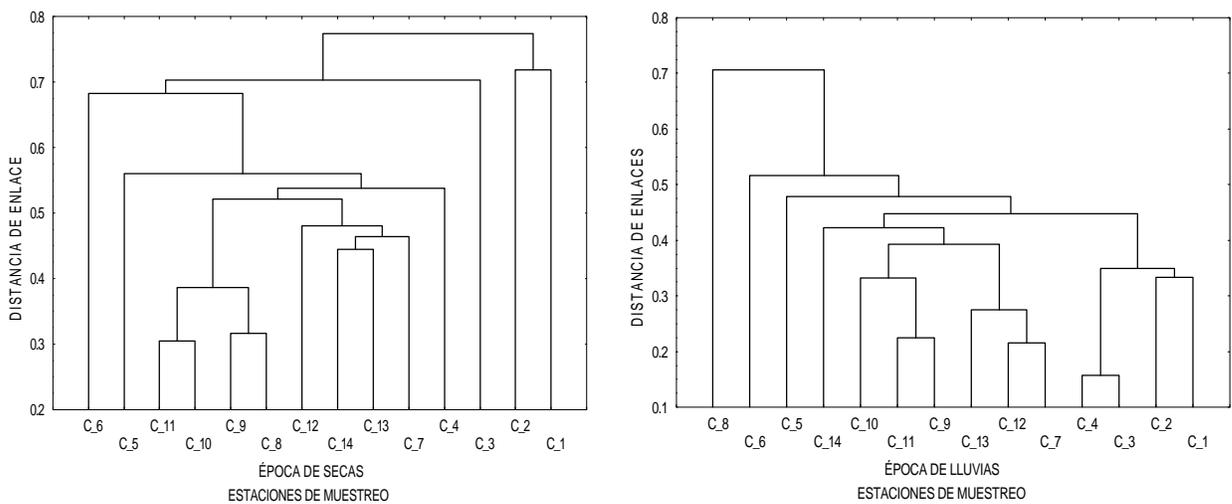


Figura 54.- Comportamiento del pH en fondo en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana).

Se observa que los promedios más bajos se registraron en época de secas, en la parte mas interna del Puerto Interior tanto en el centro como fuera de la bahía (Cuadros XX y XXI).

El análisis del índice de similitud para época de lluvias muestra la formación de dos zonas. La primera que comprende casi toda el área de estudio e incluye el Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 1-7 y 9-14) con valores de distancia de enlace de 0.15 a 0.51 promedio 8.03, mínimo de 7.3 en la Dársena (est. 6) y máximo de 8.84 en el centro de la bahía (est. 13) y la segunda se ubica parte en la playa El Viejo (est. 8) con valor mínimo de 7.65, máximo de 8.8 y promedio de 8.11 (Figs. 54 y 55; Cuadros XX y XXI).

**CUADRO XX.-** Promedio del pH en fondo

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	7.85	7.85	7.85
2	7.88	7.87	7.89
3	7.94	7.92	7.98
4	7.97	7.97	7.96
5	8.05	8.05	8.09
7	8.01	8.01	8.04
9	8.11	8.09	8.14
10	8.10	8.10	8.10
11	8.09	8.07	8.11
12	8.06	8.04	8.08
6	7.98	7.99	8.00
8	8.09	8.08	8.11
13	8.03	8.02	8.05
14	8.05	8.02	8.09
<b>PROM</b>	<b>8.01</b>	<b>8.00</b>	<b>8.03</b>

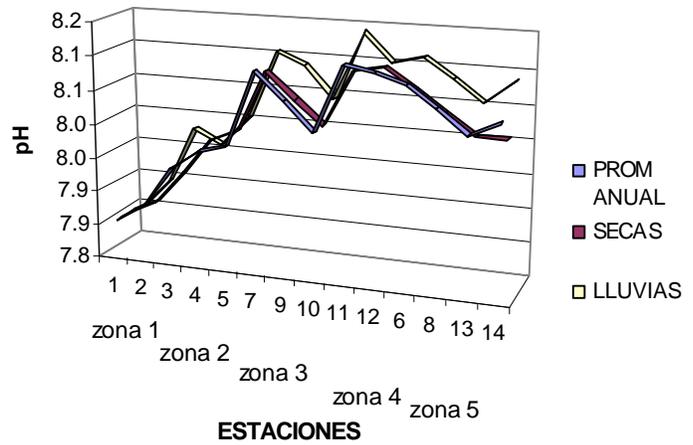


Figura 55.- Comportamiento del promedio del pH en fondo.

Por otro lado, se aprecia que los volares promedios que se determinaron para épocas de lluvias son ligeramente mas altos que en secas aunque esta diferencia no es muy significativa (0.03 unidades de pH) y con relación a la distintas zonas muestreadas, los valores más bajos se registraron en el Puerto Interior, Dársena y zona costera, mientras que los valores mas elevados se determinaron en el centro y fuera de la bahía debido probablemente a la acción del oleaje que provoca el intercambio atmosférico de CO<sub>2</sub> como amortiguador del pH (Figs. 55; Cuadro XX).

**CUADRO XXI.- Estadística básica del pH en fondo.**

**VALORES ANUALES**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1-4)		Dársena (est. 5)	
Mínimo	7.38 Puerto Interior (est. 1, octubre 1993)	Mínimo	7.65 Dársena (est. 5, octubre 1993)
Máximo	8.65 Puerto Interior (est. 3, octubre 1991)	Máximo	8.25 Dársena (est. 5, mayo 1991)
Promedio	7.91	Promedio	8.05
Dis. Enlace	0.85 - 0.98	Dis. Enlace	1.23
Desvest	0.203	Desvest	0.136
ZONA 3		ZONA 4	
Zona costera (est. 9-12)		Zona costera (est. 9-12)	
Mínimo	7.7 zona costera (est.9 y 10, agosto 1991)	Mínimo	7.3 Dársena (est. 6, julio 1993)
Máximo	8.76 zona costera (est. 9, octubre 1991)	Máximo	8.8 playa El Viejo (est. 8, septiembre 1994)
Promedio	8.09	Promedio	8.03
Dis. Enlace	0.59 - 1.03	Dis. Enlace	1.32 - 1.40
Desvest	0.192	Desvest	0.204
ZONA 5			
Centro y fuera de la Bahía (est. 13 y 14)			
Mínimo	7.65 en la Bahía (est. 13, agosto 1991)		
Máximo	8.84 en la Bahía (est. 13, octubre 1991)		
Promedio	8.04		
Dis. Enlace	0.91		
Desvest	0.203		

**ÉPOCA DE SECAS**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior, (est. 1-2)		Puerto Interior, (est. 3)	
Mínimo	7.4 Puerto Interior (est. 1 abril 1993)	Mínimo	7.4 Puerto Interior (est. 3 junio 1992)
Máximo	8.15 Puerto Interior (est. 1 marzo 1995)	Máximo	8.2 Puerto Interior (est. 3 enero 1992)
Promedio	7.86	Promedio	7.92
Dis. Enlace	0.71	Dis. Enlace	0.7
Desvest	0.160	Desvest	0.197
ZONA 3		ZONA 4	
Puerto Interior, Dársena y zona costera (est. 4,5, 7-14)		Dársena (est. 6)	
Mínimo	7.6 Dársena (est. 7 mayo 1995)	Mínimo	7.3 Dársena (est. 6 junio 1992)
Máximo	8.42 playa El Viejo (est. 8 enero 1995)	Máximo	8.33 Dársena (est. 6 enero 1995)
Promedio	8.05	Promedio	7.99
Dis. Enlace	0.30 - 0.56	Dis. Enlace	0.68
Desvest	0.150	Desvest	0.189

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la Bahía (est. 1-7 y 9-14)		Playa El Viejo (est. 8)	
Mínimo	7.3 Dársena (est. 6, julio 1992)	Mínimo	7.65 playa El Viejo (est. 8 agosto 1991)
Máximo	8.84 Centro de la Bahía (est. 13, octubre 1991)	Máximo	8.8 playa el Viejo (est. 8, septiembre 1994)
Promedio	8.03	Promedio	8.11
Dis. Enlace	0.15 - 0.51	Dis. Enlace	0.7
Desvest	0.282	Desvest	0.314

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

#### 4.2.1.6 Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno en el agua de mar está controlada por el flujo de este gas a través de la interfase océano atmósfera, por la fotosíntesis, la respiración biológica y por la oxidación de la materia orgánica. Debido a lo anterior, la concentración de este gas en aguas superficiales o zona fotosintética se considera como un parámetro no conservativo de las masas de agua superficiales y Millero y Sohn, (1992), lo consideran un indicador sensitivo para traza de masas de agua de los procesos físicos y químicos que ocurren en el mar (Grasshoff, *et al.* 2006 y Millero, 2006).

La determinación del oxígeno en muestras de agua somera con muy alta productividad fitoplanctónica ocasionalmente alcanza concentraciones de oxígeno equivalentes a más del 300% de saturación (Krom *et al.* 1985), aunque en estas muestras una considerable porción del oxígeno puede ser oxígeno gaseoso contenido en pequeños núcleos de gran actividad fotosintética que generaron burbujas las cuales fueron adsorbidas a materia orgánica provocando las altas concentraciones de oxígeno gaseoso y disuelto (Grasshoff *et al.* 2006).

La saturación del oxígeno en el agua se refiere a la concentración de oxígeno disuelto y no a la fase gaseosa aunque esta última puede dar interferencias. En estudios oceanográficos la concentración de oxígeno es tradicionalmente reportada como mL/L o micromoles/L (1 mL/L = 44.615 micromoles/L basado en el volumen molar de los gases ideales de 22.413 L/mol en condiciones estandares de temperatura y presión), aunque el método Winkler ampliamente utilizado arroja mg/L se hace la conversión o ambas unidades pueden ser utilizadas de acuerdo a los objetivos propios de las investigaciones (Grasshoff *et al.* 2006).

En aguas superficiales la concentración de oxígeno está en función de la temperatura y salinidad presente en el agua a ser media y se debe tener presente los cambios de volumen que pueden sufrir las muestras entre el muestreo y la fijación del oxígeno por lo que se puede introducir un pequeño error en los datos obtenidos.

En el presente estudio los valores del oxígeno fluctuaron entre 0.97 mg/L a 10.51 mg/L. Aunque se registraron valores superiores que se encontraron fuera de los valores posibles de saturación y sobresaturación del oxígeno en el agua de mar, y que se repitieron a lo largo de los diferentes muestreo en la zona del Puerto Interior no fueron tomados en cuenta para los cálculos y este hecho puede indicar que el método Winkler 1888 y modificado por Carpenter en 1965, solo puede aplicarse cuando el agua no contiene sustancias reductoras u oxidantes tales como abundancia de nitritos, hierro ferroso o férrico, cloro libre u alguna otra interferencia (Rodier, 1990).

Por otro lado, debido a que las bacterias coliformes fecales son aeróbicas y anaeróbicas facultativas (pueden crecer en presencia de oxígeno y sin éste), su óptimo crecimiento lo alcanzan en condiciones aeróbicas como es el caso de *Enterococcus faecalis* que es anaeróbico facultativo simplemente ignora el O<sub>2</sub> y de cualquier modo crecerá en presencia o ausencia de O<sub>2</sub>. También, la relación del contenido de oxígeno disuelto en el agua puede indicarnos el grado de estrés ha que están siendo sometidas cuando en el medio ambiente las condiciones son anóxicas o se está utilizando el oxígeno para los procesos de oxidación de la materia orgánica.

### a) Superficial

Al analizar los índices de similitud del oxígeno se determinaron tres zonas. La primera como en todos los demás parámetros se localiza en la parte mas interna del Puerto Interior (est. 1-2), con un índice de enlace de 12.07 - 13.22, promedio de 6.57 mg/L, mínimo de 1.75 mg/L y máximo de 10.51mg/L en el Puerto Interior (est. 1); la segunda también en el Puerto Interior banda 3-4 y 4-5 (est. 3 y 4), con una distancia de enlace de 8.99, mínimo de 1.16 mg/L, máximo de 10.3 mg/L en el Puerto Interior (est. 3) y promedio de 5.7 mg/L, es notorio que en esta área se determinaron los promedios más bajos en toda el área de estudio y la tercera que abarca la Dársena, zona costera y centro y fuera de la bahía (est. 5-14), con un índice de similitud de 6.11 - 7.65, mínimo de 0.97 mg/L en la zona costera (est. 11), máximo de 10.51 mg/L en la Dársena (est. 7) y promedio de 6.82 mg/L. (Figs. 56 y 57; Cuadros XXII XXIII).

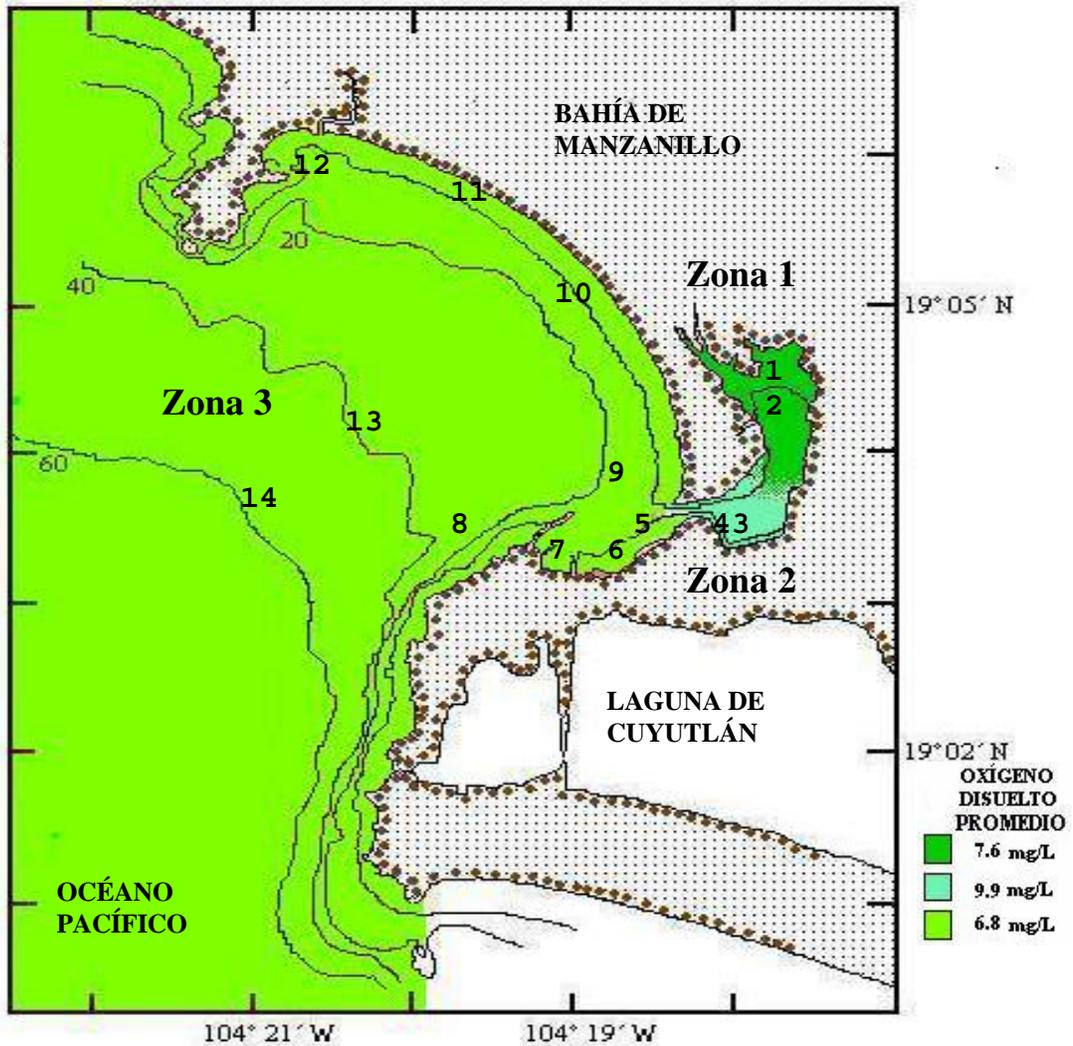


Figura 56.- Representación de las tres zonas que se forman de acuerdo al Índice de Similitud del oxígeno disuelto en superficie.

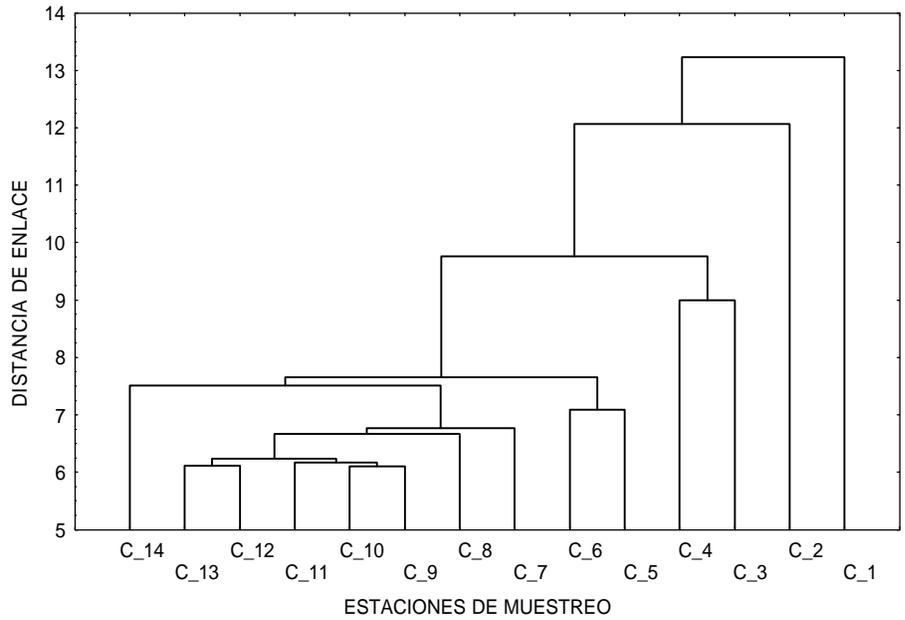


Figura 57.- Comportamiento del oxígeno disuelto en superficie, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo).

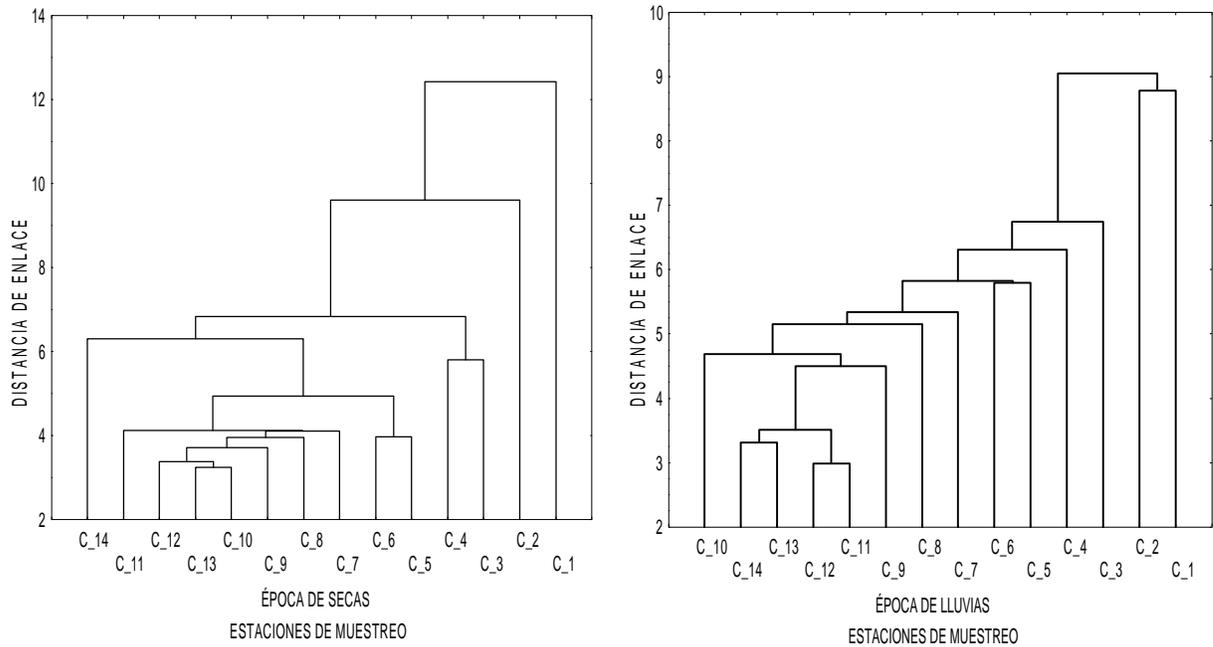


Figura 58.- Comportamiento del oxígeno disuelto en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Al igual que para los promedios anuales, en época de secas se forman tres zonas aunque los índices de similitud son bajos. La primera en la parte interna del Puerto Interior (est.1), índice de similitud de 9.6 a 12.41, máximo de 10.51 mg/L, mínimo de 1.75 mg/L y promedio de 6.59 mg/L: la segunda en el Puerto Interior ( est. 2), banda 4-5, con una distancia de enlace de 5.87, mínimo de 2.69 mg/L, máximo de 10.3 mg/L y promedio de 5.81 mg/L: y la tercera en el Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía. (est. 3-14) con una distancia de enlace de 3.25 – 6.30, mínimo de 0.97 mg/L en la playa de Las Hadas (est. 12), máximo de 10.26 mg/L en la Dársena (est. 6) y promedio de 6.76 mg/L. El promedio total en época de secas (6.8 mg/L) fue ligeramente más alto que en época de lluvias (6.7 mg/L) (Figs. 58 y 59; Cuadros XXII y XXIII).

Cabe mencionar que la zona del Puerto Interior (est. 1, 3 y 4), tanto en época de secas como en lluvias se comportó de diferente manera que el resto del área de estudio ya que es la zona más alejada para el intercambio de masas de agua con la zona costera y se observaron los promedios mas bajos de toda la zona de estudio (Cuadro XXII).

En lluvias se formaron solo dos áreas, la primera en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1-2), con un índice de similitud de 9.78, promedio de 6.35 mg/L, mínimo de 3.53 mg/L y máximo de 9.68 mg/L: y la segunda en el Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 3-14), con distancia de 2.99 - 6.74, promedio de 6.54 mg/L, mínimo de 2.63 mg/L en el Puerto Interior (est. 3) y máximo de 9.88 mg/L en el Puerto Interior (est. 2). También se aprecia que los valores registrados en esta área son más uniformes entre si, como lo demuestra la distancia de enlace entre las distintas regiones que conforman esta zona (Figs. 58 y 59; Cuadro XXII y XXIII).

**CUADRO XXII.-** Promedio del oxígeno disuelto en fondo (mg/L)

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	6.18	6.09	6.35
2	6.92	7.05	6.69
3	5.57	5.77	5.21
4	5.83	5.96	5.60
5	6.47	6.54	6.34
6	6.25	6.28	6.20
7	6.62	6.57	6.73
8	6.87	6.89	6.83
9	7.08	6.99	7.23
10	7.06	7.13	6.93
11	6.83	6.83	6.83
12	6.83	6.93	6.68
13	7.3	7.45	7.03
14	7.08	7.20	6.94
<b>PROM</b>	<b>6.77</b>	<b>6.85</b>	<b>6.54</b>

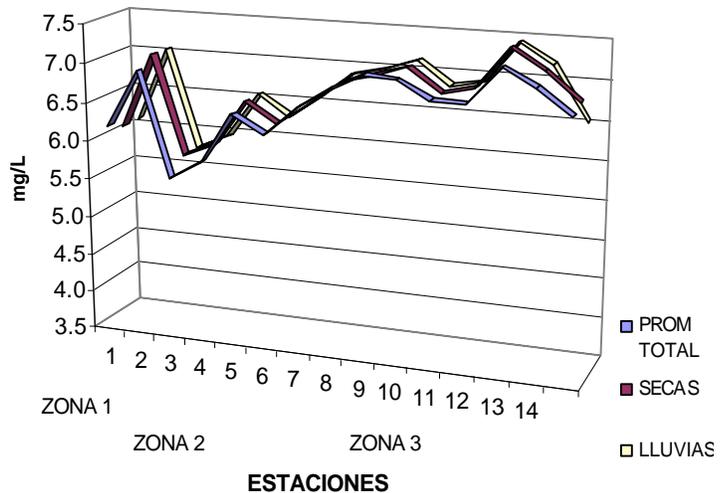


Figura 59.- Comportamiento del promedio del oxígeno disuelto en superficie.

Es notorio observar que los promedios ligeramente más elevados se presentaron en época de secas con 6.8 mg/L y en lluvias 6.7 mg/L y en las zonas en donde se determinaron promedios más bajos fueron en la Dársena (est. 5-7), playa de San Pedrito, muelle fiscal, muelle de la Flotilla y muelle de PEMEX con promedios entre 5.86 y 6.6 mg/L y los promedios más altos en la parte más interna del Puerto Interior y en la zona costera, centro y fuera de la bahía (est 1, 2 y . 8-14) con valores entre 6.82 -7.7 mg/L (Figs. 59; Cuadro XXIII).

CUADRO XXIII.- Estadística básica del oxígeno disuelto en superficie

**VALORES ANUALES**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1 y 2)		Puerto Interior (est. 3 y 4)	
Mínimo	1.75 mg/L Puerto Interior (est.1, abril de 1992)	Mínimo	1.16 mg/L Puerto Interior (est. 3, abril 1991)
Máximo	10.51 mg/L Puerto Interior (est. 1, junio 1994)	Máximo	10.3 mg/L Puerto Interior (est. 3, agosto 1993)
Promedio	6.57 mg/L	Promedio	5.70 mg/L
Dis. Enlace	12.07-13-22	Dis. Enlace	8.99
Desvest	1.87	Desvest	1.62
ZONA 3			
Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 5-14)			
Mínimo	0.97 mg/L zona costera (est. 11, marzo 1991)		
Máximo	10.51 mg/L Dársena (est. 7, enero 1992)		
Promedio	6.82 mg/L		
Dis. Enlace	6.11-7.65		
Desvest	1.17		

**ÉPOCA DE SECAS**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1-2)		Puerto Interior (est. 3-4)	
Mínimo	1.75 mg/L Puerto Interior (est. 1, abril 1992)	Mínimo	2.69 mg/L Puerto Interior (est. 2, mayo 1992)
Máximo	10.51 mg/L Puerto Interior (est. 1, junio 1994)	Máximo	10.3 mg/L Puerto Interior (est. 3, junio 1994)
Promedio	6.59 mg/L	Promedio	5.87 mg/L
Dis. Enlace	9.6 a 12.41	Dis. Enlace	5.81
Desvest	1.93	Desvest	1.71
ZONA 3			
Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 3-14)			
Mínimo	0.97 mg/L Las Hadas (est. 12, marzo 1991)		
Máximo	10.26 mg/L Dársena (est. 6, enero 1992)		
Promedio	6.76 mg/L		
Dis. Enlace	3.25 - 6.30		
Desvest	1.26		

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1 y 2)		Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 3-14)	
Mínimo	3.53 mg/L Puerto Interior (est.1, sept. 1991)	Mínimo	2.63 mg/L Puerto Interior (est. 3, agosto 1992)
Máximo	9.68 mg/L Puerto Interior (est. 1, agosto 1994)	Máximo	9.88 mg/L Puerto Interior (est. 2, sept. 1992)
Promedio	6.35 mg/L	Promedio	6.54 mg/L
Dis. Enlace	9.78	Dis. Enlace	2.99 - 6.74
Desvest	1.60	Desvest	1.25

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

## b) Fondo

El oxígeno disuelto en fondo se comporta en forma diferente del registrado en superficie. Se forman cuatro áreas bien establecidas como es la primera localizada en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1), con distancia de enlace de 13.28, promedio de 3.91 mg/L, mínimo de 0.29 mg/L y máximo de 10.1 mg/L, la segunda se forma también en Puerto Interior (est. 2-4), con una distancia de enlace de 7.40 – 10.99, promedio de 4.68 mg/L, mínimo <0.03 mg/L (mínimo detectable con el método Winkler; Grasshoff, 2006) en el Puerto Interior (est. 3) y máximo de 8.53 mg/L en el Puerto Interior (est. 2); la tercera en la Dársena y zona costera (est. 5-12), con una distancia de enlace de 5.87 – 8.75, mínimo de 0.90 mg/L en la playa Las Hadas (est. 12), máximo de 10.42 mg/L en la Dársena (est. 6) y promedio de 6.59 mg/L y la cuarta en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14), con una distancia de enlace de 9.47, mínimo de 0.91 mg/L, máximo de 9.4 mg/L en el centro de la bahía (est. 13) y promedio de 5.81 mg/L. En ésta zona predominaron los valores bajos y en forma puntual altos (Figs. 60 y 61; Cuadros XXIV y XXV)

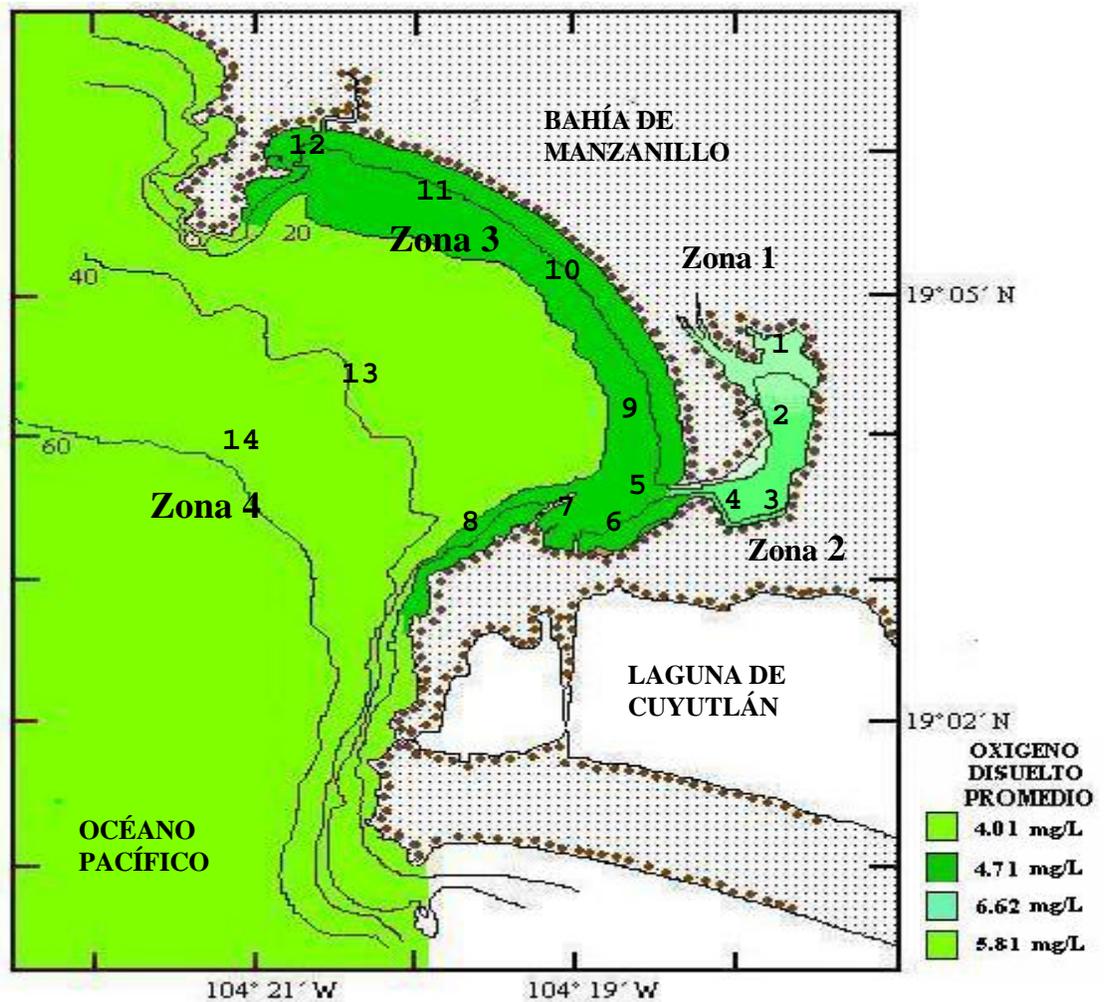


Figura 60.- Formación de las cuatro zonas de acuerdo al Índice de Similitud del oxígeno disuelto en fondo.

Los valores del oxígeno al igual que en superficie, en fondo en el Puerto Interior son los más bajos registrados para toda el área de estudio, debido probablemente a las condiciones anóxicas que prevalecen en esa zona y de acuerdo con Reyes (1988), por el patrón de corrientes y circulación del Puerto Interior y del tiempo de residencia de las masas de agua y el intercambio de agua con la zona adyacente y el agua oceánica (Reyes, 1988).

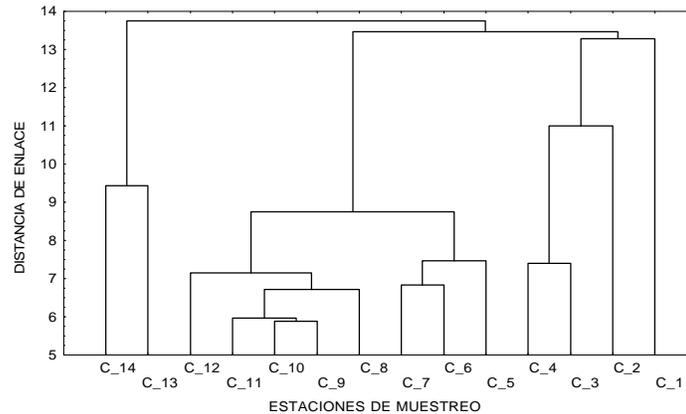


Figura 61.- Comportamiento del oxígeno disuelto en fondo durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclídeana, los casos representan las estaciones de muestreo).

En secas se forman cuatro áreas que se localizó la primera en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1) con distancia de enlace de 9.81, promedio de 4.03 mg/L, mínimo de 0.29 mg/L, máximo de 10.1 mg/L, en el Puerto Interior. Ésta es una zona con características diferentes del resto, ya que por un lado hay aporte de materia orgánica procedente de las reminiscencias de manglar y por otro hay fábricas empacadoras de pescado que vierten sus aguas de procesamiento a esta zona. La segunda también en el Puerto Interior (est. 2-4) con una distancia de enlace de 5.3 - 8.32, promedio de 4.73 mg/L, mínimo de 0.91 mg/L en el Puerto Interior (est. 3) y máximo de 8.53 mg/L en el Puerto Interior (est. 4); la tercera en la Dársena y zona costera (est. 5-12), con una distancia de enlace de 3-3.72 -5.12 promedio de 6.56 mg/L, mínimo <0.03 mg/L (mínimo detectable con el método Winkler) en la playa de Las Hadas (est. 12) y máximo de 10.42 mg/L en la Dársena (est. 6) y la cuarta en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14), con una distancia de enlace de 7.36, promedio de 5.53 mg/L, mínima de 0.91 mg/L y máxima de 9.4 mg/L (Figs. 62 y 63; Cuadros XXIV y XXV).

La época de lluvias se caracteriza por la formación de tres zonas, la primera en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1), con una distancia de enlace de 10.41, mínima 0.38 mg/L, máxima de 7.25 mg/L y promedio de 3.97 mg/L; la segunda también en el Puerto Interior (est. 2-4), con una distancia de enlace de 7.33 - 12.0, mínimo de 2.05 mg/L en la banda 4-5 del Puerto Interior (est. 3), máxima de 6.58 mg/L (est. 2) y promedio de 4.66 mg/L; la tercera en la Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 5-14), con un índice de similitud de 3.01 - 7.08, mínimo de 2.05 mg/L fuera de la bahía (est. 14), máximo de 9.58 mg/L en la playa El Viejo (est. 8) y promedio de 6.62 mg/L. Como se puede apreciar la distancia de enlace entre las distintas regiones es más corta, debido a que los valores son más cercanos entre sí en esta época, mientras que en secas estos valores son más lejanos y al igual que el promedio global es más alto también en esta época (Figs. 62 y 63; Cuadros XXIV y XXV).

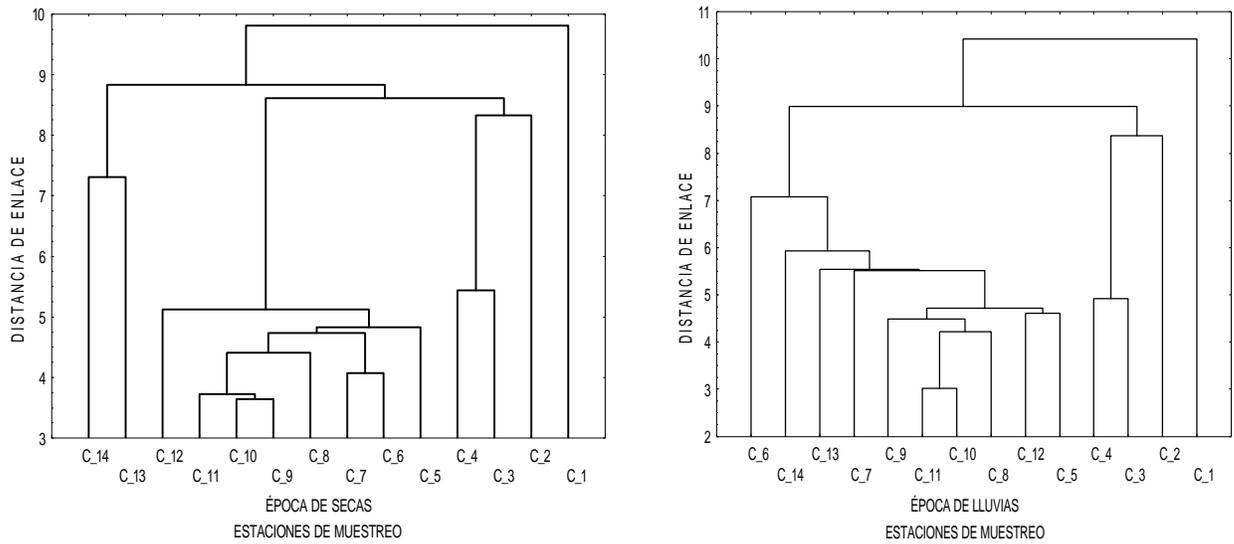


Figura 62.- Comportamiento del oxígeno disuelto en fondo en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo)

CUADRO XXIV.- Promedio del oxígeno disuelto (mg/L) en fondo

EST.	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	3.91	3.88	3.97
2	4.12	4.00	4.36
3	4.91	5.10	4.65
4	4.99	5.09	4.87
5	6.42	6.60	6.14
6	6.18	6.26	6.05
7	6.24	6.19	6.40
8	6.83	6.76	7.03
9	6.89	6.75	7.17
10	6.93	6.85	7.08
11	6.75	6.60	7.01
12	6.58	6.47	6.78
13	5.79	5.51	6.32
14	5.86	5.57	6.18
<b>PROM</b>	<b>5.88</b>	<b>5.82</b>	<b>5.96</b>

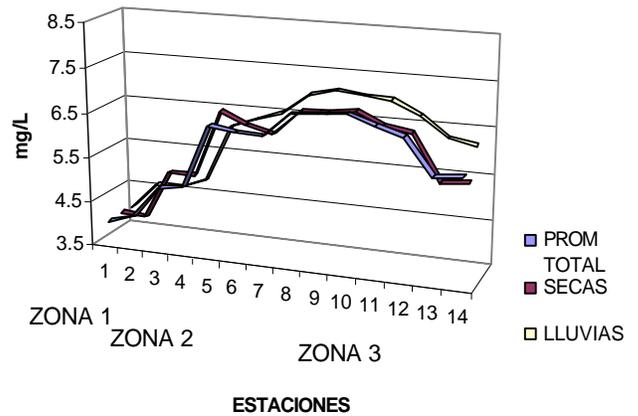


Figura 63.- Comportamiento del promedio del oxígeno disuelto en fondo

## CUADRO XXV.- Estadística básica del oxígeno disuelto en fondo

### VALORES ANUALES

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1)		Puerto Interior (est. 2-4)	
Mínimo	0.29 mg/L Puerto Interior (est. 1, junio 1991)	Mínimo	<0.03 mg/L Puerto Interior (est. 3, enero 1992)
Máximo	10.1 mg/L Puerto Interior (est. 1 junio 1993)	Máximo	8.53 mg/L Puerto Interior (est. 4, febrero 1994)
Promedio	3.91 mg/L	Promedio	4.68 mg/L
Dis. Enlace	14.66	Dis. Enlace	7.33 - 12.0
Desvest	1.85	Desvest	1.49
ZONA 3		ZONA 4	
Dársena y zona costera (est. 5-12)		Centro y fuera de la Bahía (est. 13 y 14)	
Mínimo	0.9 mg/L playa Las Hadas (est. 12, marzo 1991)	Mínimo	0.91 mg/L centro de la bahía (est. 13, abril 1994)
Máximo	10.42 mg/L Dársena (est. 6, julio 1992)	Máximo	9.4 mg/L centro de la bahía (est. 13, enero 1991)
Promedio	6.59 mg/L	Promedio	5.81 mg/L
Dis. Enlace	5.78 - 8.40	Dis. Enlace	9.47
Desvest	1.35	Desvest	1.86

### ÉPOCA DE SECAS

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1)		Puerto Interior (est. 2-4)	
Mínimo	0.29 mg/L Puerto Interior (est. 1, junio 1991)	Mínimo	<0.03 mg/L Puerto Interior (est. 3, enero 1992)
Máximo	10.1 mg/L Puerto Interior (est. 1, junio 1993)	Máximo	8.53 mg/L Puerto Interior (est. 4, febrero 1994)
Promedio	4.03 mg/L	Promedio	1.77 mg/L
Dis. Enlace	9.81	Dis. Enlace	5.3 - 8.32
Desvest	2.21	Desvest	1.7
ZONA 3		ZONA 4	
Dársena y zona costera (est. 5-12)		Centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14)	
Mínimo	<0.03 mg/L playa Las Hadas (est. 12, marzo 1991)	Mínimo	0.91 mg/L centro de la bahía (est. 13, abril 1994)
Máximo	10.42 mg/L Dársena (est. 5, enero 1991)	Máximo	9.4 mg/L centro de la bahía (est. 13, enero 1991)
Promedio	6.56 mg/L	Promedio	6.56 mg/L
Dis. Enlace	3.72 - 5.12	Dis. Enlace	7.36
Desvest	1.52	Desvest	2.05

### ÉPOCA DE LLUVIAS

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1)		Puerto Interior (est. 2-4)	
Mínimo	0.38 mg/L Puerto Interior (est. 1, agosto 1995)	Mínimo	2.05 mg/L Puerto Interior (est. 3, sept. 1991)
Máximo	7.25 mg/L Puerto Interior (est. 1, julio 1993)	Máximo	6.58 mg/L Puerto Interior (est. 2, agosto 1994)
Promedio	3.97 mg/L	Promedio	4.66 mg/L
Dis. Enlace	10.41	Dis. Enlace	7.33 - 12.0
Desvest	1.74	Desvest	1.02
ZONA 3			
Dársena y zona costera (est. 5-14)			
Mínimo	2.05 mg/L fuera de la bahía (est. 14, noviembre 1991)		
Máximo	9.58 mg/L playa El Viejo (est. 8, septiembre 1992)		
Promedio	6.62 mg/L		
Dis. Enlace	3.01 - 7.08		
Desvest	1.12		

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

En forma general se puede observar que el comportamiento de oxígeno disuelto en fondo presenta valores mínimos en el Puerto Interior y se van elevando éstos poco a poco hasta alcanzar un máximo en la zona costera en donde se ve favorecido el intercambio de oxígeno atmosférico por el movimiento del agua debida a las corrientes litorales y al oleaje; después un ligero descenso en el centro y fuera de la bahía. También se determinaron en el Puerto Interior (est. 3), valores de <0.03 mg/L (límite de detección del método Winkler), que corresponde a zonas anóxicas y los valores mínimos más bajos (Figs. 62 y 63; Cuadro XXV).

#### 4.2.1.7 Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno también llamada demanda bioquímica de oxígeno ((DBO) se define como la cantidad de oxígeno consumido en las condiciones de ensayo, es decir después de incubación durante 5 días a 20°C en la oscuridad, para ciertas materias presentes en una muestra de agua y que son susceptibles de ser consumidas u oxidadas por medios biológicos. y se expresa en mg O<sub>2</sub>/litro (APHA 1989; Rodier 1990).

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. También se utiliza como una medida cuantitativa indirecta de la contaminación del agua por materia orgánica (sirve como nutriente y requiere oxígeno para su descomposición) y los valores dependen de la determinación de la rapidez con que la materia orgánica nutritiva consume oxígeno por la descomposición bacteriana. La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo (Rodier 1990; Grasshoff et al. 2006).

##### a) Superficial

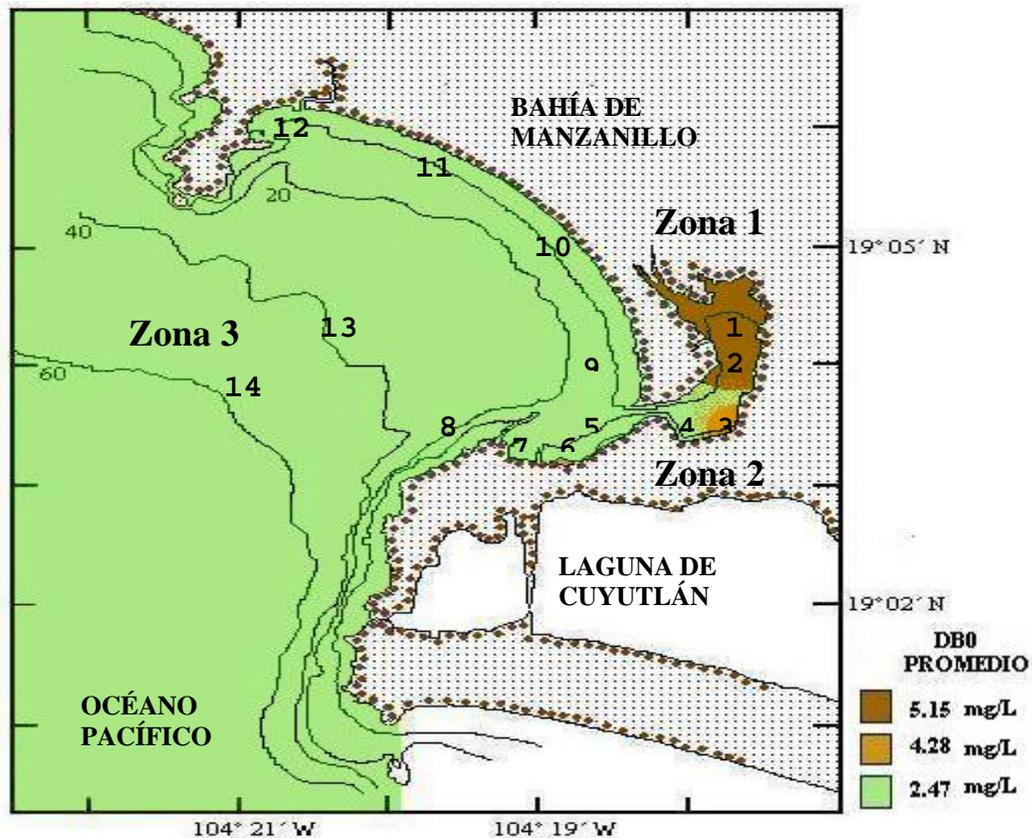


Figura 64.- Formación de las tres zonas de acuerdo al Índice de Similitud de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie.

Los valores de la demanda bioquímica de oxígeno fluctuaron entre mínimo <0.03 mg/L (mínimo detectable con el método Winkler) y 10 mg/L en la zona del Puerto Interior en donde se registraron valores anómalos dadas las condiciones de alto contenido de materia orgánica en suspensión así como lodos y arcillas procedentes del escurrimiento de las zonas aledañas y la poca circulación natural que existe en el interior del Puerto Interior.

El Índice de Similitud para la demanda bioquímica de oxígeno superficial formó tres áreas. La primera al fondo del Puerto Interior (est. 1-2), que prácticamente no tiene enlace con ninguna otra, ya que los valores registrados son muy amplios en rango, con una distancia de enlace de 15.61, mínimo de 0.90 mg/L, máximo de 10 mg/L en el Puerto Interior (est. 2 y 1 respectivamente), promedio de 5.15 mg/L; la segunda en forma puntual se presenta también en el Puerto Interior, banda 4-5 (est. 3), con distancia de enlace de 12.68, promedio de 4.28 mg/L, mínimo de 0.05 mg/L y máximo de 9.7 mg/L y la tercera que abarca parte del Puerto Interior, Dársena, zona costera y centro y fuera de la bahía (est. 4-14), con una distancia de enlace de 6.08 – 9.89, mínimo <0.03 mg/L (mínimo detectable con el método Winkler), en la Dársena (est. 7), máximo de 8.95 mg/L en la Dársena (est. 7) y promedio de 2.47 mg/L (Figs. 64 y 65; Cuadros XXVI y XXVII).

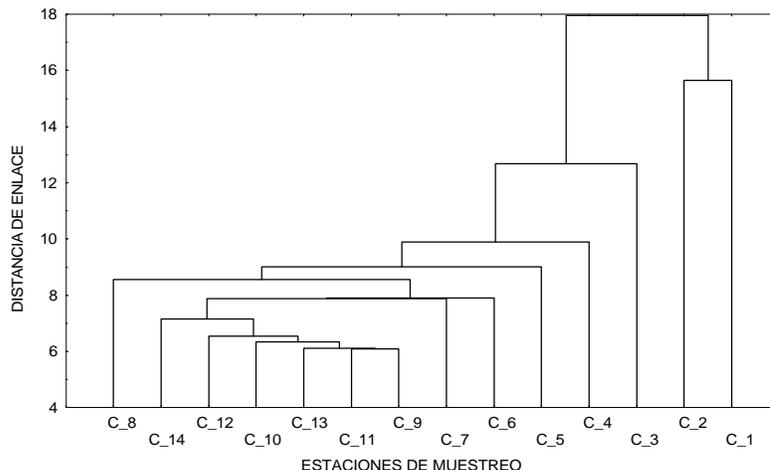


Figura 65.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Se puede apreciar que los promedios disminuyen conforme se avanza hacia la zona costera y mar abierto, registrándose los valores promedio más altos en el Puerto Interior (5.5 mg/L) y los más bajos ( 1.8 mg/L) en el centro y fuera de la bahía, aunque se observa un leve aumento en los valores en la Playa del Viejo (est. 8) debido probablemente por la batimetría del lugar y el patrón de circulación del área de estudio (Figs. 64 y 65; Cuadro XXVII).

En época de secas los valores de la demanda de oxígeno se agrupan en dos regiones que son: la primera en el Puerto Interior (est. 1-2) con una distancia de enlace de 13.52 y demuestra que los valores determinados en esta zona se encuentran muy alejados del resto de la zona de estudio, promedio de 5.16 mg/L, mínimo de 0.9 mg/L en el Puerto Interior (est. 2) y máximo de 10 mg/L también en el Puerto Interior (est. 1) y la segunda que se forma en toda el área de estudio y comprende parte del Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía, con una

distancia de enlace de 2.95, mínimo <0.03 mg/L (mínimo detectable con el método Winkler), en la zona costera (est. 7, 9, 10, 12-14), máximo de 8.55 mg/L en la Dársena (est. 5) y promedio de 2.57 mg/L. También se observa que los valores más elevados se determinaron en el Puerto Interior, mientras que los más bajos en el centro y fuera de la bahía (Figs. 66 y 67; Cuadros XXVI y XXVII).

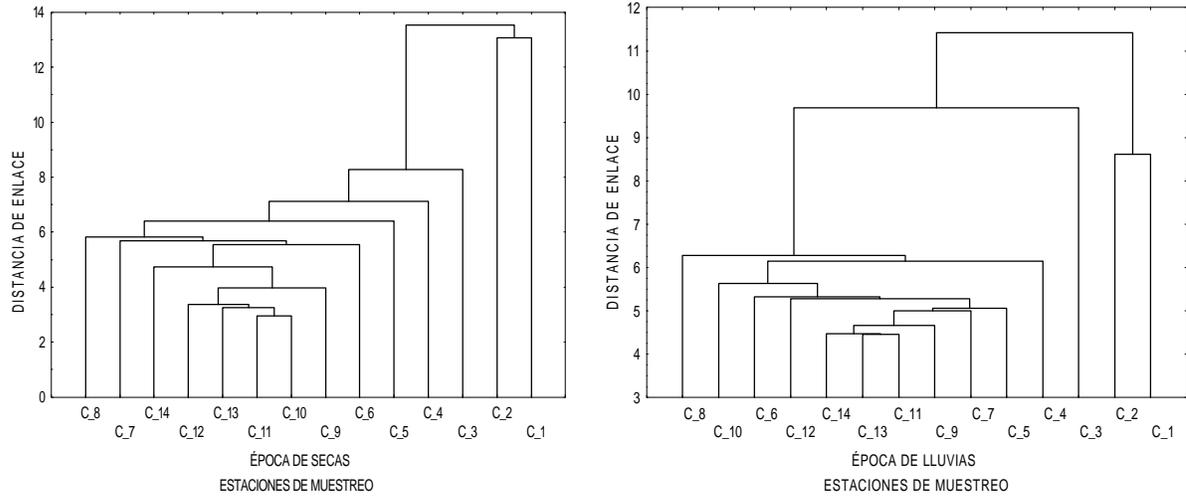


Figura 66.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo.).

**CUADRO XXVI.-** Promedio de la demanda biológica de oxígeno (mg/L) en superficie

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	5.5	5.6	5.3
2	4.8	4.7	4.9
3	4.3	4.1	4.6
4	3.1	3.2	3.0
5	2.6	2.5	2.8
6	2.7	2.6	2.9
7	2.7	2.5	3.0
8	2.9	2.8	3.3
9	2.2	2.0	2.6
10	2.2	2.1	2.3
11	2.2	2.3	2.1
12	2.2	2.2	2.3
13	2.1	2.1	2.1
14	1.8	1.7	1.9
<b>PROM</b>	<b>3.0</b>	<b>2.9</b>	<b>3.1</b>

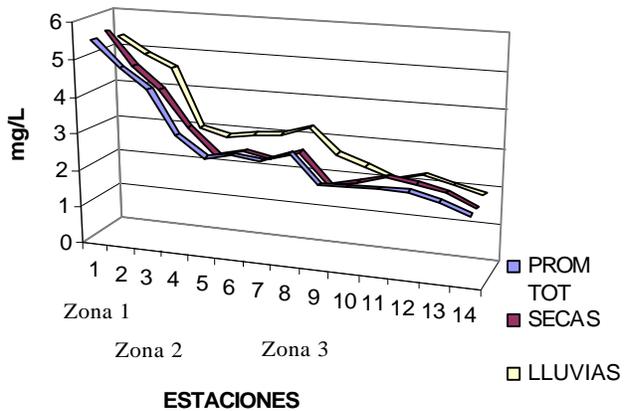


Figura 67.- Comportamiento de la demanda bioquímica del oxígeno en superficie.

En lluvias se forman las mismas zonas que se registran en forma anual. La primera se localiza en el Puerto Interior (est. 1 y 2), con una distancia de enlace de 8.6, promedio de 5.12 mg/L, mínimo de 1.6 mg/L y máximo de 8.7 mg/L en el Puerto Interior (est. 1 y 2 respectivamente; La

segunda se forma en parte del Puerto Interior (est. 3), con una distancia de enlace de 9.68 mg/L, promedio de 4.6 mg/L, mínimo de 1.1 y máximo de 9.7 mg/L y la tercer que es la mas grande de las tres y comprende la Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 4-14), con una distancia de enlace de 4.46 - 6.28, promedio de 2.58 mg/L, mínimo de 0.20 mg/L en el Puerto Interior (est. 4) y máximo de 8.5 mg/L en la zona costera (est. 10). En esta época también se puede observar que la zona de la Playa El Viejo es la más alejada de todos los valores y los índices de similitud son más bajos que los de secas por lo que los valores están relativamente más cercanos entre si ( Figs. 66 y 67; Cuadros XXVI y XXVII).

**CUADRO XXVII.- Estadística básica de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie.**

**VALORES ANUALES**

**ZONA 1**

Puerto Interior (est. 1-2)  
 Mínimo 0.9 mg/L Puerto Interior (est. 2, enero 1995)  
 Máximo 10 mg/L Puerto Interior (est. 1, marzo 1991)  
 Promedio 5.16 mg/L  
 Dis. Enlace 15.61  
 Desvest 2.292

**ZONA 2**

Puerto Interior (est. 3)  
 Mínimo 0.05 mg/L Puerto Interior (est. 3, abril 1995)  
 Máximo 9.7 mg/L Puerto Interior (est. 3, julio 93)  
 Promedio 4.28 mg/L  
 Dis. Enlace 12.68  
 Desvest 2.456

**ZONA 3**

Puerto Interior, Dársena, zona costera  
 centro y fuera de la bahía (est. 4-14)  
 Mínimo <0.03 mg/L Dársena (est. 7, febrero 1991)  
 Máximo 8.95 mg/L Dársena (est. 5, abril 1991)  
 Promedio 2.47 mg/L  
 Dis. Enlace 6.08 - 9.89  
 Desvest 1.753

**ÉPOCA DE SECAS**

**ZONA 1**

Puerto Interior (est. 1-2)  
 Mínimo 0.9 mg/L Puerto Interior (est. 2, enero 1995)  
 Máximo 10 mg/L Puerto Interior (est. 1, marzo 1991)  
 Promedio 5.16 mg/L  
 Dis. Enlace 13.52  
 Desvest 2.429

**ZONA 2**

Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía  
 (est. 3-14) Dársena, zona costera (est. 7 y 12, dic 1992)  
 Mínimo <0.03 mg/L Zona costera (est.9,10,12-14, febrero 1992)  
 Máximo 8.95 mg/L Dársena (est. 5, abril 1992)  
 Promedio 2.95 mg/L  
 Dis. Enlace 2.95  
 Desvest 1.853

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

**ZONA 1**

Puerto Interior (est. 1-2)  
 Mínimo 1.6 mg/L Puerto Interior (est.1, sept. 1993) )  
 Máximo 8.7 mg/L Puerto Interior (est. 2, agosto 1994)  
 Promedio 5.12 mg/L  
 Dis. Enlace 8.6  
 Desvest 2.015

**ZONA 2**

Puerto Interior (est. 3)  
 Mínimo 1.1 mg/L Puerto Interior (est. 3, noviembre 1994)  
 Máximo 9.7 mg/L Puerto Interior (est. 3, julio 1992)  
 Promedio 4.6 mg/L  
 Dis. Enlace 9.68  
 Desvest 2.463

**ZONA 3**

Puerto Interior, Dársena, zona costera  
 centro y fuera de la bahía (est. 4-14)  
 Mínimo 0.2 mg/L Puerto Interior (est. 4, agosto 1993)  
 Máximo 8.5 mg/L zona costera (est. 10, 1991)  
 Promedio 2.58 mg/L  
 Dis. Enlace 4.46 - 6.28  
 Desvest 1.837

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

## b) Fondo

El comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo muestra la formación de cuatro zonas, aunque la primera es muy pequeña y puntual ya que se localiza en la parte más interna del Puerto Interior (est.1), con el índice de similitud más elevado que el resto del área de 12.02, ya que en esta zona también se registran los valores con más amplio rango entre ellos; promedio de 3.07 mg/L, cabe mencionar que es el promedio más alto de toda el área de estudio, mínimo de 0.26 mg/L, máximo de 8.50 mg/L, la segunda se formó en el Puerto Interior (est. 2 y 3), con promedio de 2.48 mg/L, distancia de enlace de 7.81, mínimo de 0.05 mg/L y máximo de 9 mg/L en el Puerto Interior; la tercera en el Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 4, 6, 7, 9-14), con un índice de similitud de 4.6. - 6-96 4.5, promedio de 2.20 mg/L, mínimo de <0.03 mg/L en la Dársena (est. 6 y 7) y máximo de 8.15 mg/L; fuera de la bahía (est. 14) y la cuarta en la playa San Pedrito y el Viejo (est. 5 y 8), mínimo <0.03 mg/L (mínimo detectable con el método Winkler), máximo de 8.95 mg/L, promedio de 2.36 mg/L y distancia de enlace de 10 a 10.33. Cabe mencionar que en esta última zona se determinaron los valores más alejados de los demás y se pudo observar un aumento en esta zona de los promedios totales mientras que los más bajos se registraron en el centro de la bahía (est. 13) (Figs. 68 y 69; Cuadros XXVIII y XXIX).

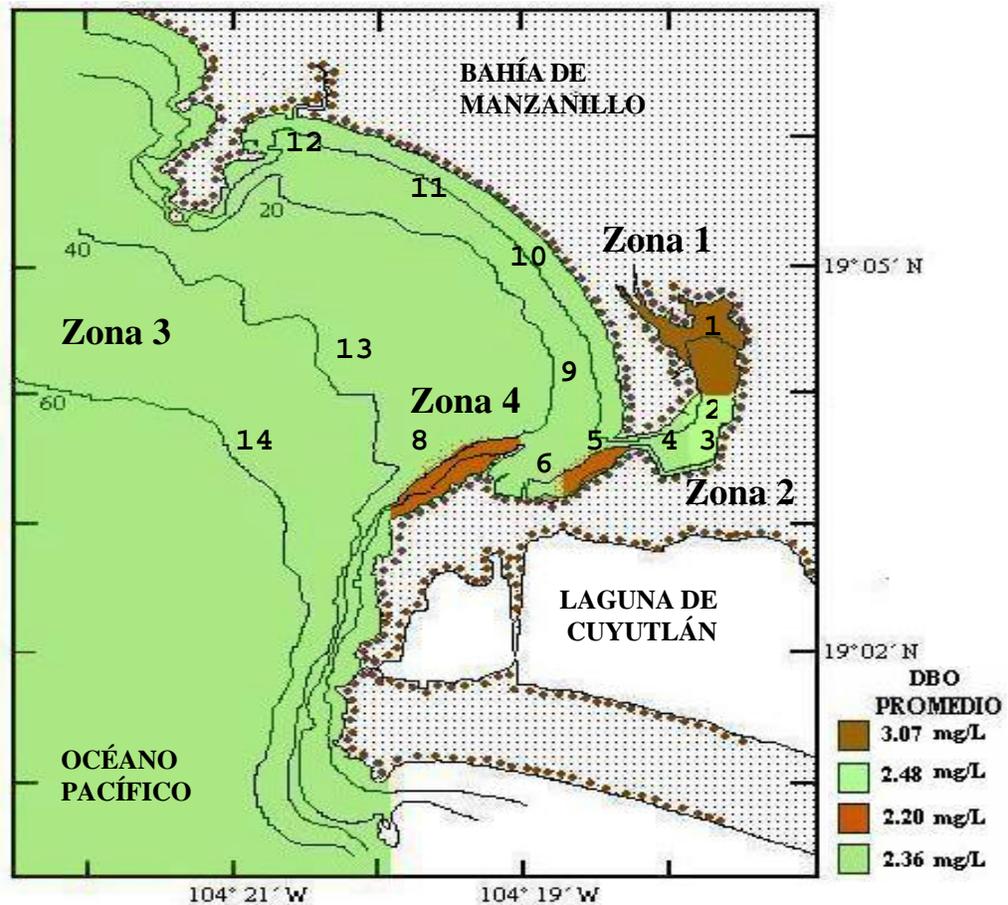


Fig. 68.- Formación de las tres zonas de acuerdo al análisis del Índice de Similitud de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo.

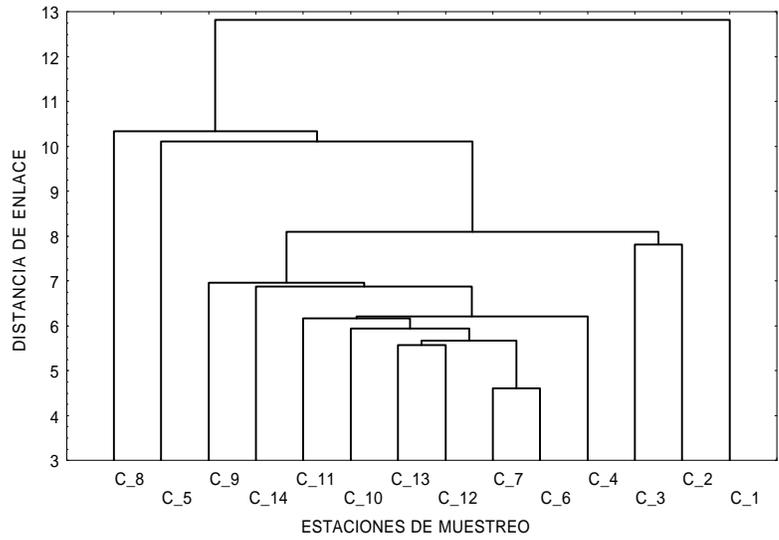


Figura 69.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana, los casos representan las estaciones de muestreo).

Para la época de secas, se forma la primera área puntual en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1) con una distancia de enlace de 9.89, promedio de 3.41 mg/L, mínimo de 0.26 mg/L, máximo de 8.5 mg/L y la segunda que comprende el Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía con una distancia de enlace de 2.21 a 7.67, promedio de 2.22 mg/L, mínimo de <0.03 mg/L en la Dársena (est. 6 y 7) y máximo de 8.95 mg/L en la playa de San Pedrito (est. 5) (Figs. 70 y 71; Cuadros XXVIII y XXIX).

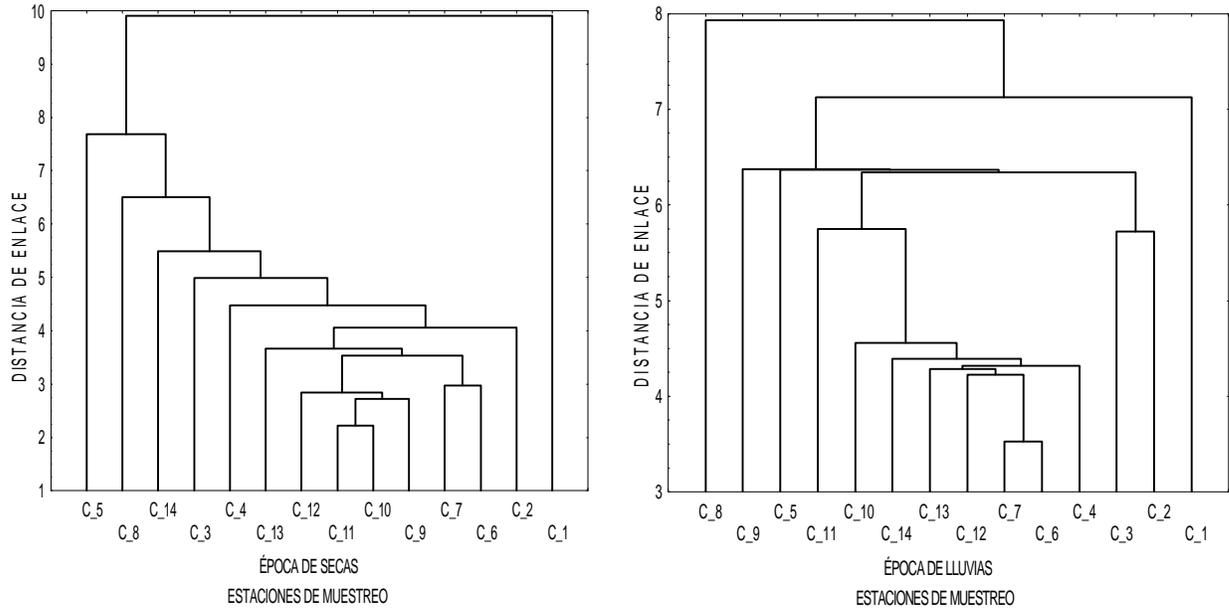


Figura 70.- Comportamiento de la demanda biológica del oxígeno en fondo en época de secas y lluvias, durante 1991-1995 (enlaces simples y distancia Euclideana).

En lluvias se formaron nuevamente de manera similar, las cuatro zonas que se formaron para los valores anuales. La primera se ubica en la parte más interna del Puerto Interior (est. 1), con una distancia de enlace de 7.12, promedio de 3.39 mg/L, mínimo de 0.60 mg/L y máximo de 8.8 mg/L; la segunda que se localiza en el Puerto Interior (est. 2 y 3), con distancia de enlace de 5.72, mínimo de 0.25 mg/L y máximo de 9.0 mg/L en el Puerto Interior (est. 3) y promedio de 2.95 mg/L, la tercera comprende la mayor parte de la zona de estudio por lo que los valores determinados se encuentran más cercanos entre y comprende el Puerto Interior, Dársena, zona costera y centro y fuera de la bahía (est. 4 -7, 9-14) con una distancia de enlace de 3.52 – 5.37 , promedio de 2.39 mg/L, mínimo de 0.05 mg/L en la zona costera (est. 9) y máximo de 8.15 mg/L fuera de la bahía (est. 14) y la cuarta se forma en la Playa El Viejo, distancia de enlace de 7.92, mínimo de <0.03 mg/L, máximo 7.95 mg/L y promedio de 2.72 mg/L. También en esta época se aprecia la exclusión de la zona de la playa El Viejo (est. 8), cuyos valores promedios se separan del resto. También se aprecia que los promedios más altos se localizaron en el Puerto Interior y fueron descendiendo hasta tener los promedios más bajos en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14) (Figs. 70 y 71; Cuadro XXVIII y XXIX).

**CUADRO XXVIII.-** Promedio de la demanda bioquímica del oxígeno (mg/L) en fondo

EST	TOTAL	SECAS	LLUVIAS
1	3.1	3.0	3.1
2	2.3	2.2	2.4
3	2.6	2.5	2.7
4	2.2	2.1	2.5
6	2.0	2.0	2.1
7	2.6	2.6	2.8
9	2.3	2.1	2.5
10	2.0	1.9	2.1
11	2.3	2.2	2.6
12	2.1	2.0	2.4
13	1.8	1.8	2.0
14	1.7	1.4	2.0
5	2.5	2.5	2.5
8	2.5	2.4	2.7
<b>PROM</b>	<b>2.28</b>	<b>2.20</b>	<b>2.45</b>

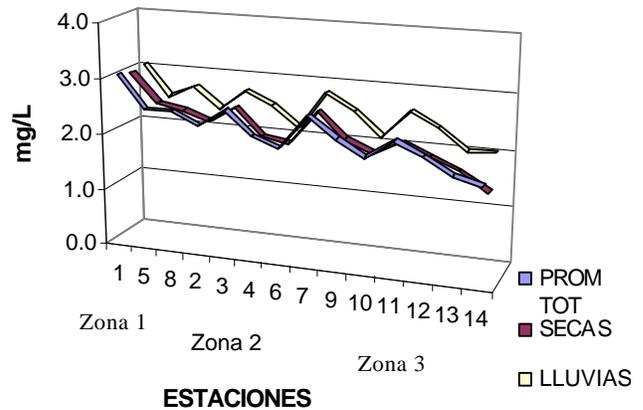


Figura 71.- Comportamiento de la demanda bioquímica del oxígeno en fondo.

## CUADRO XXIX.- Estadística básica de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo

### VALORES ANUALES

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1)		Puerto Interior (est. 2 y 3)	
Mínimo	0.26 mg/L Puerto Interior (est. 1 mayo 1992)	Mínimo	0.05 mg/L Puerto Interior (est.2,feb 1994, 3 abril 1995)
Máximo	8.5 mg/L Puerto Interior (est. 1, mayo 1993)	Máximo	9 mg/L Puerto Interior (est. 3, septiembre 1991)
Promedio	3.44 mg/L	Promedio	2.71 mg/L
Dis. Enlace	12.02	Dis. Enlace	7.81
Desvest	2.12	Desvest	1.83
ZONA 3		ZONA 4	
Puerto Interior, Dársena y zona costera centro y fuera de la bahía (est. 4, 6, 7 9-14)		Dársena y playa El Viejo (est. 5 y 8)	
Mínimo	<0.03 mg/LDársena (est. 6 y 7 1991)	Mínimo	<0.03 mg/L playa El Viejo (est. 8, julio 1991)
Máximo	8.15 mg/L fuera de la bahía (est. 14, octubre 1995)	Máximo	8.95 mg/L Dársena (est. 5, abril 1992)
Promedio	2.11 mg/L	Promedio	2.61 mg/L
Dis. Enlace	4.60 - 6.96	Dis. Enlace	10.33
Desvest	1,62	Desvest	1.7

### ÉPOCA DE SECAS

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1)		Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 2-14)	
Mínimo	0.26 mg/L Puerto Interior (est. 1 mayo 1992)	Mínimo	<0.03 mg/L Dársena (est. 6 y 7, febrero 1991)
Máximo	8.5 mg/L Puerto Interior (est. 1, mayo 1993)	Máximo	8.95 mg/LDársena (est. 5, abril 1992)
Promedio	3.40 mg/L	Promedio	2.22 mg/L
Dis. Enlace	9.89	Dis. Enlace	2.21 - 7.67
Desvest	2.172	Desvest	1.549

### ÉPOCA DE LLUVIAS

ZONA 1		ZONA 2	
Puerto Interior (est. 1)		Puerto Interior (est. 2 - 4)	
Mínimo	0.6 mg/L Puerto Interior (est.1, agosto 1993)	Mínimo	0.25 mg/L Puerto Interior (est.3, octubre 1993)
Máximo	8 mg/L Puerto Interior (est. 1, octubre 1991)	Máximo	9 mg/L Puerto Interior (est. 3, septiembre 1991)
Promedio	3.44 mg/L	Promedio	2.95 mg/L
Dis. Enlace	7.12	Dis. Enlace	5.72
Desvest	2.412	Desvest	2.159

Dis. Enlace = Distancia de enlace; Desvest = Desviación estándar

### 4.2.1.8 Profundidad

La profundidad a la cual se muestreo varió de 2.0 m a 20 m. Las zonas más someras se localizan en la playa de San Pedrito en la Dársena y en la zona costera con promedio de 2.3 a 7.2 m, esto se debe a que se muestreo inmediatamente después de la zona de rompiente; y en el Puerto Interior en la zona del canal de navegación se registraron profundidades entre 10-20 m, dependiendo de la cercanía al proceso de dragado que continuamente (cada dos años aproximadamente) se realiza en esta zona y en el centro y fuera de la bahía la profundidad siempre fue mayor de 20 m.

#### 4.2.2 COMPORTAMIENTO TEMPORAL.

La zona de estudio se caracteriza por presentar dos períodos estacionales que corresponden a la época de secas y lluvias. Los parámetros ambientales a través de un ciclo anual, varían influenciados por dichos períodos. Con objeto de determinar si la presencia, sobrevivencia, permanencia y distribución de coliformes totales y fecales se encuentra regido por algún factor cíclico natural en el área de estudio, y con base a la época de secas y lluvias determinada por la Comisión Nacional del Agua y el Servicio Meteorológico Nacional se realizó el análisis de los parámetros ambientales referidos a cada época.

En el cuadro XXX en la matriz de correlación para la época de secas en superficie (50 cm de profundidad), los parámetros ambientales determinados muestran baja correlación con relación a la presencia de las bacterias coliformes fecales y al igual que para la distribución espacial, los valores fluctuaron entre 0.63 para las coliformes totales y -0.7327 para la salinidad. También el valor de p significa un índice decreciente de la confiabilidad de los resultados, por lo que un valor alto de p representa un resultado más que de relación, fortuito o al azar, por lo que se puede decir que no existe correlación entre las bacterias coliformes fecales y los parámetros ambientales a lo largo de los ciclos anuales estudiados.

**CUADRO XXX.-** Matriz de correlación de los parámetros ambientales y las bacterias coliformes en época de secas en superficie.

	COL/FEC NMP/100mL	COL/TOT NMP/100mL	TEMP/SUP °C	PH/SUP Unidades	SAL/SUP UPS	OXI/SUP mL/L	DBO/SUP mL/L	TRAN m
COL/FEC NMP/100mL	1	0.63	0.3586	0.376	-0.7327	-0.092	-0.5604	-0.2361
	p= ---	p=.129	p=.430	p=.406	p=.061	p=.844	p=.191	p=.610
COL/TOT NMP/100mL		1	<b>0.7789</b>	0.0074	-0.1131	0.4229	0.0194	-0.2121
		p= ---	<b>p=.039</b>	p=.988	p=.809	p=.345	p=.967	p=.648
TEMP/SUP °C			1	-0.4612	0.0683	0.0965	0.0423	0.0708
			p= ---	p=.298	p=.884	p=.837	p=.928	p=.880
PH/SUP				1	-0.3289	0.0918	-0.2567	-0.4537
				p= ---	p=.471	p=.845	p=.578	p=.307
SAL/SUP UPS					1	0.5635	<b>0.9387</b>	-0.3124
					p= ---	p=.188	<b>p=.002</b>	p=.495
OXI/SUP mL/L						1	0.7198	-0.6529
						p= ---	p=.068	p=.112
DBO/SUP mL/L							1	-0.5041
							p= ---	p=.249
TRAN m								1
								p= ---

N = 7 y 735 muestras.

COL/FEC = coliformes fecales; COL/TOT = coliformes totales; TEMP/SUP = temperatura superficial; pH/SUP = Potencial de hidrógeno; SAL/SUP = salinidad superficial; OXI/SUP = oxígeno superficial; DBO/SUP = demanda bioquímica de oxígeno en superficie; VIS = visibilidad.

La correlación es significativa a una  $p < 0.05$ . El valor de  $p$  representa un índice decreciente de la confiabilidad del resultado, entre más alto sea el valor de  $p$ , la probabilidad de que la relación entre las variables seleccionadas sea fortuita es más alta y en este caso, solo se encontró valores de  $p < 0.05$  entre coliformes fecales y coliformes totales así como dos casos que son fortuitos por estar aislados.

Se procedió a calcular la matriz de correlación para la época de lluvias y se encontró que también es baja para los parámetros ambientales en fondo.

**CUADRO XXXI.**-Correlación de los parámetros ambientales y las bacterias coliformes en época de lluvias en superficie.

	COL/FEC NMP/100mL	COL/TOT NMP/100mL	TEMP/SUP °C	PH/SUP Unidades	SAL/SUP UPS	OXI/SUP mL/L	DBO/SUP mL/L	TRAN m
COL/FEC	1	<b>0.962</b>	<b>-0.9201</b>	-0.434	-0.3185	-0.5206	-0.6706	0.5302
NMP/100mL	$p = \text{---}$	<b><math>p = .009</math></b>	<b><math>p = .027</math></b>	$p = .465$	$p = .601$	$p = .368$	$p = .215$	$p = .358$
COL/TOT		1	-0.8263	-0.4249	-0.277	-0.4476	-0.5001	0.317
NMP/100mL		$p = \text{---}$	$p = .085$	$p = .476$	$p = .652$	$p = .450$	$p = .391$	$p = .603$
TEMP/SUP			1	0.1024	0.0881	0.7437	0.7164	-0.6429
°C			$p = \text{---}$	$p = .870$	$p = .888$	$p = .150$	$p = .173$	$p = .242$
PH/SUP				1	0.8432	-0.3194	0.3885	-0.1387
Unidades				$p = \text{---}$	$p = .073$	$p = .600$	$p = .518$	$p = .824$
SAL/SUP					1	0.0138	0.6292	0.0575
UPS					$p = \text{---}$	$p = .982$	$p = .255$	$p = .927$
OXI/SUP						1	0.6675	-0.1962
mL/L						$p = \text{---}$	$p = .218$	$p = .752$
DBO/SUP							1	-0.4887
mL/L							$p = \text{---}$	$p = .404$
TRAN								1
m								$p = \text{---}$

N = 14, 735 muestras.

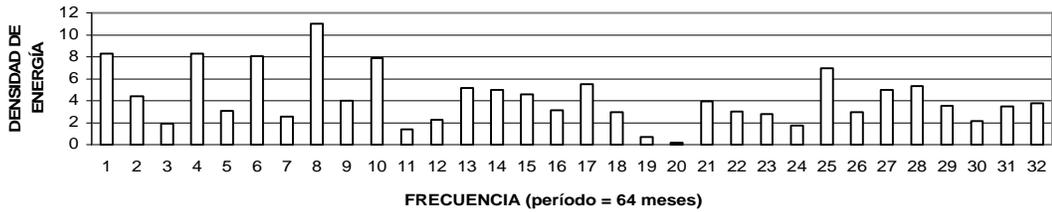
COL/FEC = coliformes fecales; COL/TOT = coliformes totales; TEMP/SUP = temperatura superficial; pH/SUP = Potencial de hidrógeno; SAL/SUP = salinidad superficial; OXI/SUP = oxígeno superficial; DBO/SUP = demanda bioquímica de oxígeno en superficie; VIS = visibilidad.

Al igual que en el caso anterior, la correlación es significativa a una  $p < 0.05$ , por lo que en época de lluvias no se presenta ninguna correlación significativa, solo con bacterias coliformes totales y con temperatura que también se puede considerar una correlación aislada y causal.

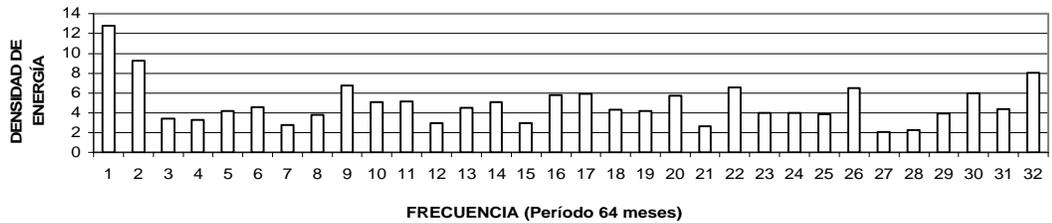
También, para el análisis de los datos se toma el logaritmo de base diez para homogeneizar los datos (porque es difícil graficar 5 y 2,400,00) y ajustarlos a la distribución normal (APHA 1992). Así mismo se utilizó el promedio aritmético y no el promedio geométrico debido a que se pretende dar énfasis con los promedios aritméticos y no suavizar los datos. (Cuando los datos obtenidos son más o menos uniformes con unos cuantos datos que se disparan es conveniente utilizar el promedio geométrico para no meter ruido a los resultados, sin embargo, en el presente estudio los picos fueron constantes a lo largo de todos los muestreos y en las mismas áreas).

### 4.2.2.1 Bacterias coliformes totales

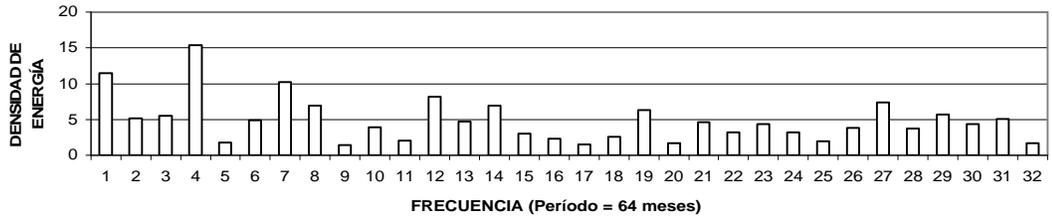
Para determinar si existe periodicidad en los datos obtenidos y si éstos se encuentran regidos por algún fenómeno natural cíclico, se procedió al análisis de series de tiempo (Fourier), del Log del NMP/100 mL de bacterias coniformes totales y fecales, así como de los parámetros relacionados a lo largo de los años de muestreo. La representación usual de los resultados de dicho análisis es en la horizontal de frecuencia respecto al período total de muestreo y en la vertical a la densidad de la energía que es proporcional al cuadrado de la amplitud. Se observa que las frecuencias con mayor energía corresponde a un período de  $64/4 = 16$  meses, la segunda frecuencia es  $64/6 = 11$  meses, la tercera a  $64/8 = 8$  meses y la cuarta a  $64/10 = 6$  meses aproximadamente.



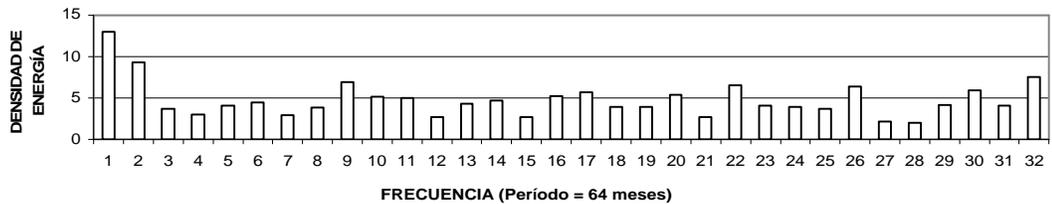
Puerto Interior y Dársena en el muelle de Pemex (est. 1,2 Y 7).



Puerto Interior, dársena y playa el Viejo (est. 3,4,5,6, y 8 (Análisis de Fourier).



Zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 9-14).



Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 1-14).

Figura 72.- Logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

El análisis de Fourier no muestra un comportamiento cíclico. Aparentemente se esbozaron ciclos no muy definidos con períodos de 16, 11, 8 y 6 meses que regulan la población para la primera

zona que se formó con el índice de similitud en la parte mas interna del Puerto Interior (est. 1, 2 y 7.). En la segunda zona (est 3-6 y 8), parte del Puerto Interior y en la Dársena solo se detectó un leve ciclo de período de alrededor de ocho meses y en el área costera, centro y fuera de la bahía (est. 9-14), se observa nuevamente ligera periodicidad semestral que podría corresponder a época de secas y lluvias y anual con un período de 15 meses. Podría decirse que la presencia se debe al aporte de aguas residuales a la zona de estudio, probablemente por una mayor cantidad de aguas residuales procedentes del Puerto de Manzanillo y zona conurbana así como por el aumento de la población en los tres períodos vacaciones aunque no corresponden estrictamente a períodos ciclos bien determinados (Fig. 72).

También utilizando el análisis de Fourier para el Log del NMP/100mL de coliformes totales los resultados difieren en cuanto a que en las dos primeras zonas no se aprecia ningún tipo de comportamiento cíclico natural ó inducido, correspondiendo al Puerto Interior y Dársena mientras que en la tercera en la zona costera, centro y fuera de la bahía, se marca claramente el ciclo de épocas de secas o lluvias. Esto podía explicarse por el aporte de aguas residuales procedentes de los asentamientos humanos adyacentes y los escurrimientos durante las lluvias.

Con objeto de corroborar los ciclos encontrados a través del análisis de Fourier, se graficó el Log NMP/100mL de bacterias coliformes totales y fecales en forma mensual a través de los años de muestreo y la gráfica muestra la formación aproximada de 4 ciclos anuales aunque no muy claramente definidos y se puede notar un leve incremento en las curvas los últimos dos años estos es en 1994 y 1995. Los valores obtenidos para época de secas y lluvias se observa que en ésta última son ligeramente más elevados (Fig. 73 y 74; Cuadro XXXII).

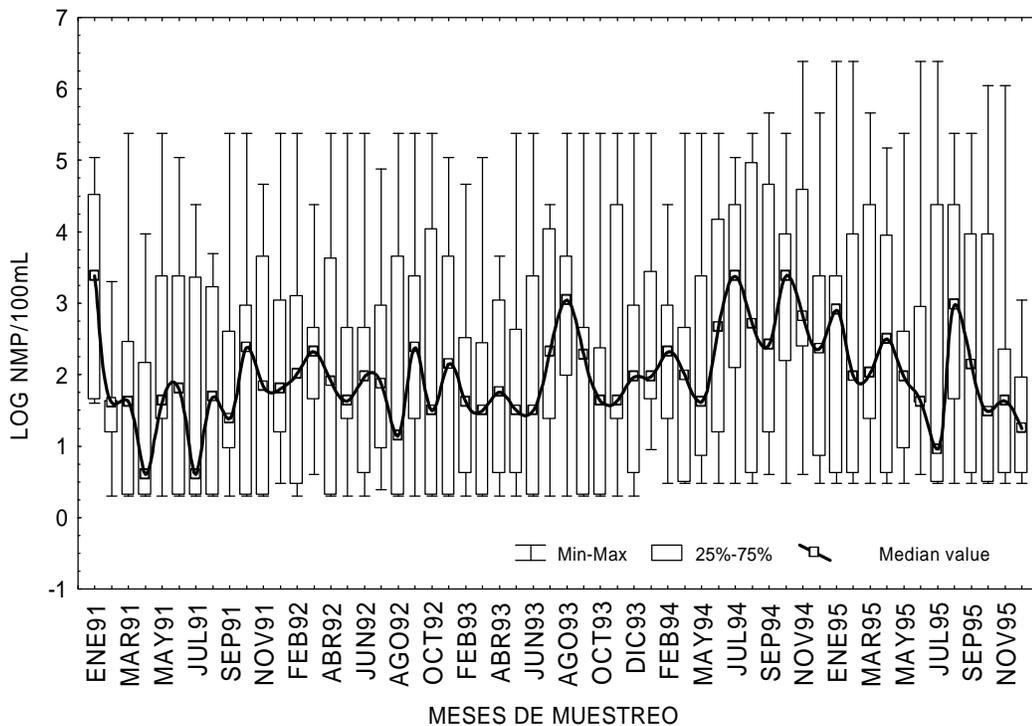


Figura 73.- Comportamiento del Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

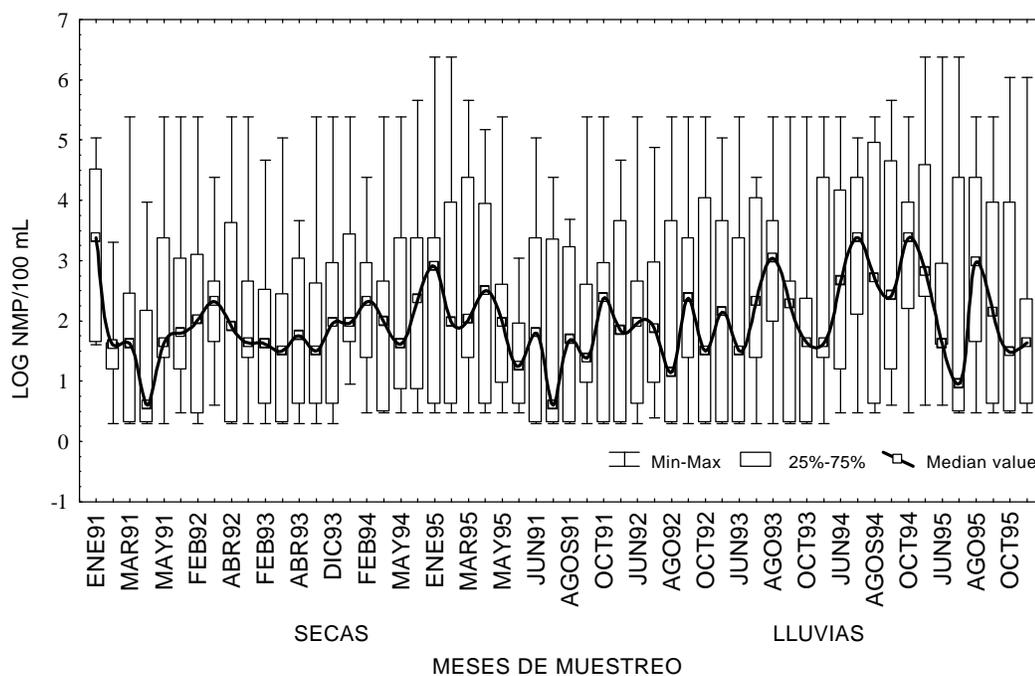


Figura 74.- Comportamiento del Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes en época de secas y lluvias, durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

**CUADRO XXXII.-** Estadística básica del Log del NMP/100mL de bacterias coliformes

**PROMEDIOS TOTALES**

	1991	1992	1993	1994	1995
<b>PROM</b>	4.147966	4.274783	4.290822	4.835822	5.059701
<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213
<b>MAXIMO</b>	5.380211	5.380211	5.380211	6.380211	6.380211
	est. 3 mar, may, sep y oct.	est. 3 casi todos los meses	est. 3 y 8 casi todo el año	est. 5 y 8 nov.	est 5 y 8 ene, feb, jun y jul

**EPOCA DE SECAS**

	1991	1992	1993	1994	1995
<b>PROM</b>	4.100554	4.236029	4.169091	4.456505	5.103482
<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213
<b>MAXIMO</b>	5.380211	5.380211	5.380211	5.662758	6.380211
	est. 3 marzo y mayo	est. 3 ene,feb, abr-jun	est. 3 y 8 may, jun y dic	est. 8 dic.	est 5 y 8, ene, feb y jun

**EPOCA DE LLUVIAS**

	1991	1992	1993	1994	1995
<b>PROM</b>	4.199050	4.311271	4.405998	5.061733	4.989577
<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213	<0.4771213
<b>MAXIMO</b>	5.380211	5.380211	5.380211	6.380211	6.380211
	est. 3 sept y oct	est. 3 y 6 jul,agos,sep y oct	est3 y 8 ago-nov.	est 5 y 8 nov. T est, 8 nov.	est. 8, julio, est. 3 y 8 jul, oct.y nov.

PROM = promedio real

Se realizó el análisis de las bacterias coliformes totales en forma anual en las diferentes zonas de muestreo (Golden Software Surfer 8, 2002 U.S.) y se encontró que el comportamiento es similar a través de los años de muestreo y los máximos valores se presentan a lo largo de todos los meses y en especial en época de lluvias en la zona del Puerto Interior (est. 3-8) mientras que los valores mínimos en la zona costera, en el centro y fuera de la bahía (est. 9-14) a través de todos los años del presente estudio, con pequeñas elevaciones en el NMP/100 mL de coliformes esporádicamente en algunos meses (Fig. 75).

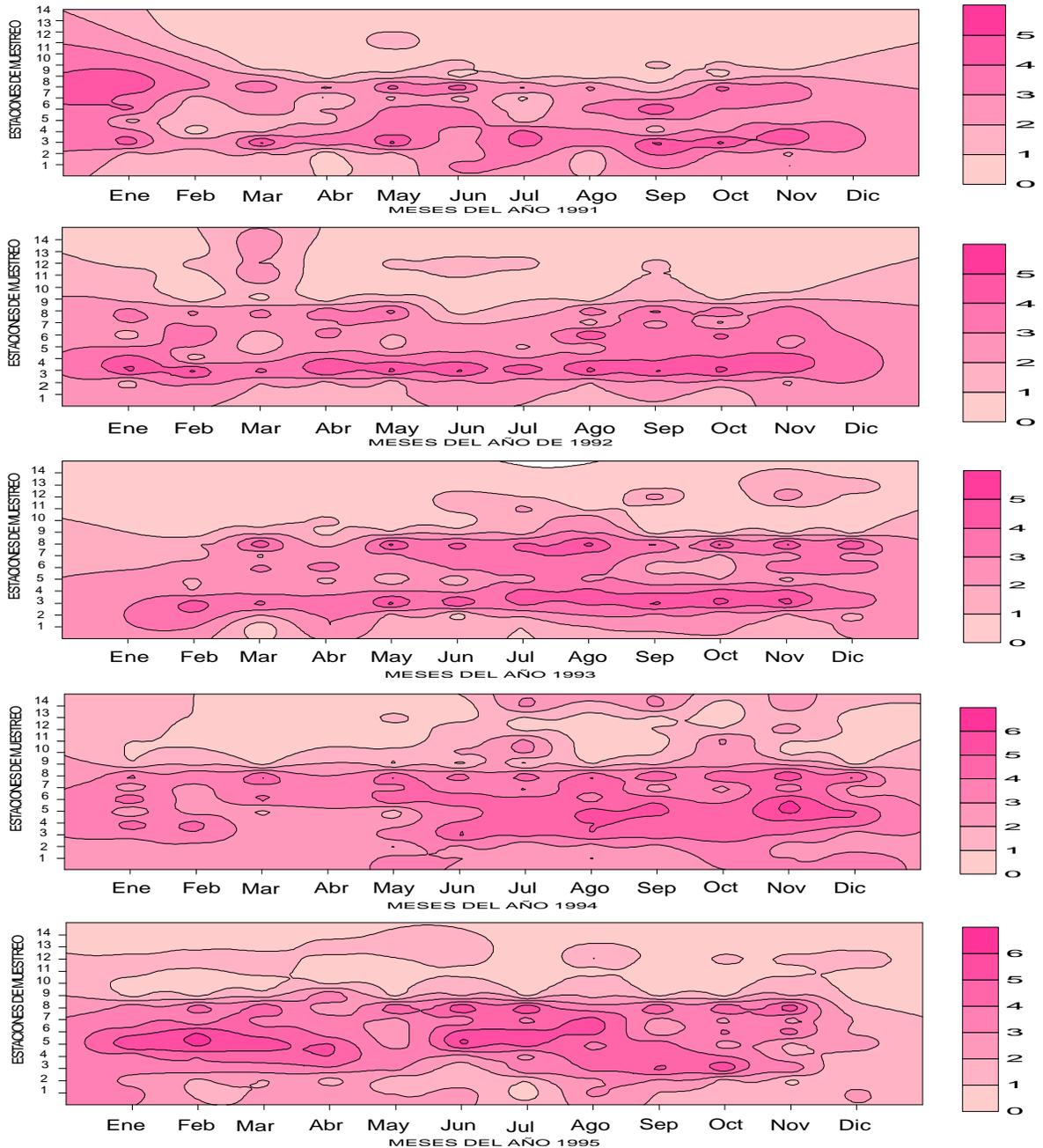


Figura 75.- Logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes totales en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

### 4.2.2.2 Bacterias coliformes fecales

El análisis de Fourier para el Log NMP/100mL de bacterias coliformes fecales, muestra que sigue el mismo comportamiento que las coliformes totales en cuanto a que se forman varios ciclos no muy delimitados con frecuencias diferentes. En la primera zona que se ubicó en el Puerto Interior y Muelle de PEMEX en la Dársena (est. 1, 2 y 7), se observa un ciclo con período de  $64/8 = 8$  meses y otro con un período de  $64/4 = 16$  meses, ambos períodos no corresponde a ningún evento natural establecido. En la segunda zona (est. 3-6 y 8) que abarca el Puerto Interior, Dársena y playa El Viejo, presentó la frecuencia con mayor energía que equivale a un período de  $64/9 = 7$  meses y la tercera zona, que corresponde a la zona costera, centro y fuera de la bahía (est.9-14), se aprecia que las frecuencias con mayor energía fueron las que corresponden a períodos de  $64/16 = 16$  meses y  $64/7 = 9$  meses aproximadamente y dichos períodos no se asocian con algún comportamiento cíclico natural (Fig. 76).

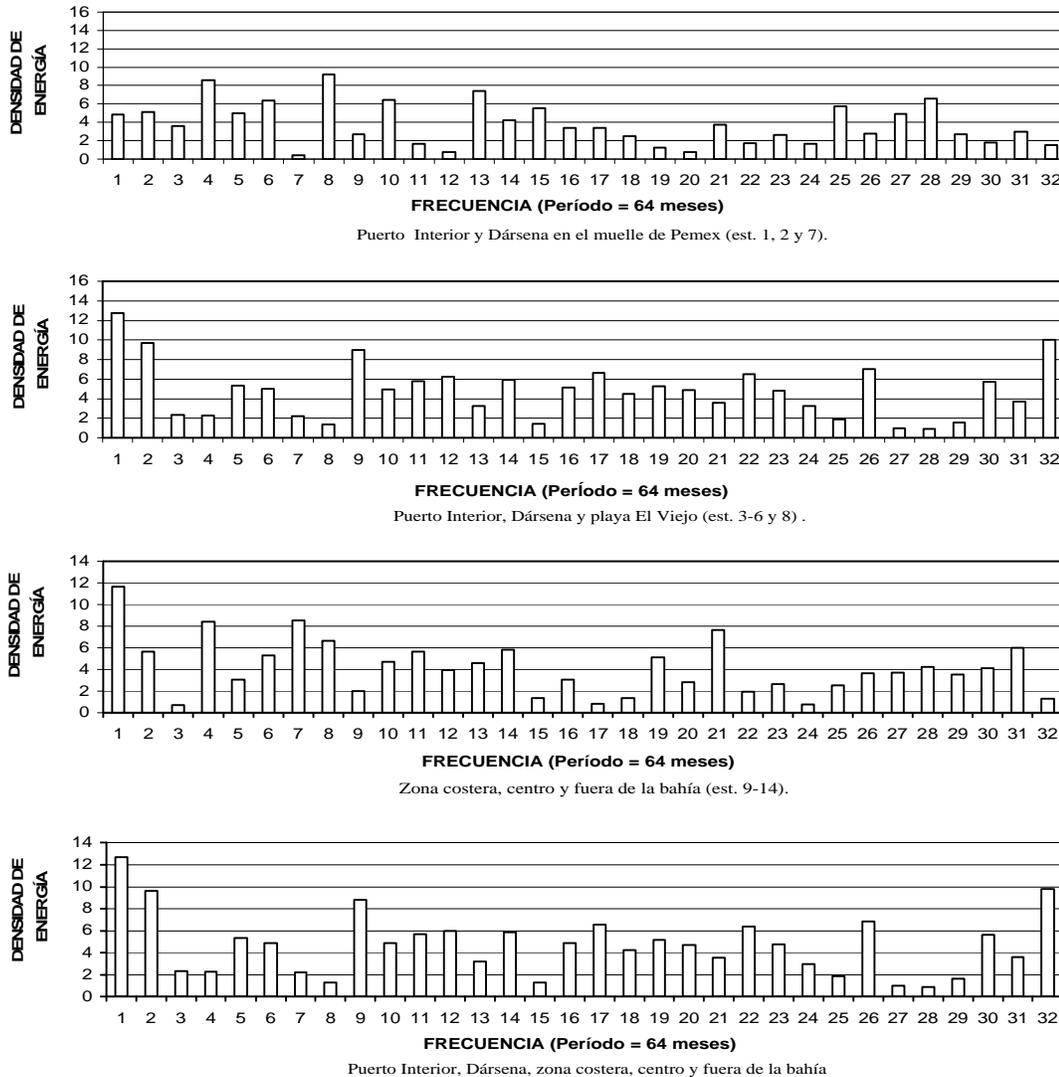


Figura 76.- Logaritmo del promedio de NMP/100mL de bacterias coliformes fecales durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Al graficar el Log del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales en forma mensual a través de los años de muestreo, se observa la formación de los ciclos anuales a través de los años de este estudio. También se puede apreciar que en hay un ligero aumento en los valores obtenidos en los dos últimos años de muestreo 1994 y 1995 (Fig. 77; Cuadro XXXIII).

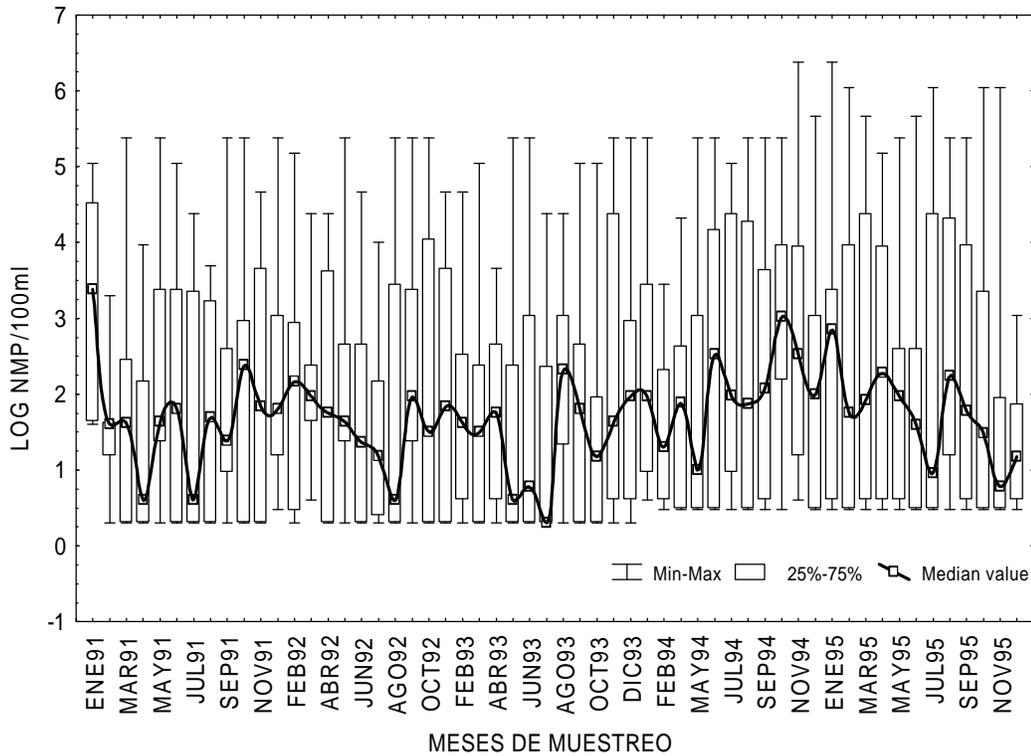


Figura 77.- Comportamiento del logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

En cuanto a época de secas se aprecia que este parámetro no se comporta en forma estacional y confirma lo obtenido mediante el análisis de Fourier. Por otro lado, se observa que aunque no es muy amplio el margen entre ellos; se registraron valores más bajos en época de secas con un promedio de 11,385 (Log 4.056), en 1991, 22,921 (Log 4.360), en 1992, 11,385 (Log 4.056) en 1993, 22,921 (4.360) en 1994 y 73,239 (4.864) en 1995 del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales, mientras que en lluvias los valores promedios fueron de 14,295 (Log 4.155) en 1991, 18,876 (4.275) en 1992, 13,868 (4.142) en 1993, 77,460 (Log 4.889) en 1994 y 67,770 (Log 4.831) en 1995 del NMP/100mL. El promedio en época de secas fue de 26,176 (Log 4.585) y el de lluvias de 39,991 (Log 4.730) del NMP/100 mL (Fig. 78; Cuadro XXXIII)

También, se observó que aunque es poca la diferencia entre los máximos en época de secas y lluvias, en forma general los valores mas altos se determinaron en lluvias, mientras que en secas los máximos fueron de 460,000 y 2,400,000 NMP/100mL en diciembre de 1994, enero 1995 y en época de lluvias los máximos fueron de 1,100,000 en noviembre de 1994 y de 1,100,000 NMP/100mL en julio, octubre y noviembre 1995, en la playa El Viejo y San Pedrito (est. 5 y 8) (Cuadro XXXIII).

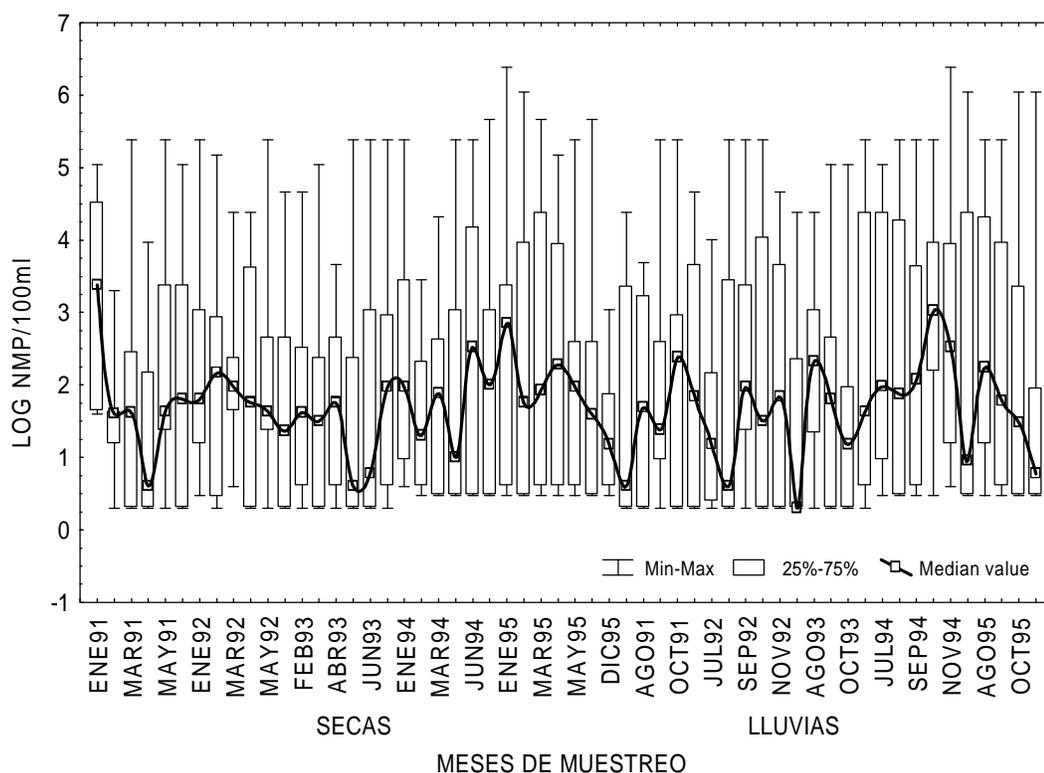


Figura 78.- Comportamiento del logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Al hacer el análisis de las bacterias coliformes fecales en forma anual en las distintas zonas de muestreo (utilizando el software Surfer), se encontró que año con año se presentaron en los mismos lugares como son el Puerto Interior en la banda 3-4 y 4-5, la Dársena que incluye a la playa de San Pedrito, muelle de la Flotilla y de PEMEX y la playa El Viejo los valores mas altos de bacterias coliformes (est. 1-8), y todos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles de < 240 NMP/100MI para aguas de servicios al público con contacto primario y de <1,000 NMP/100 mL para servicios al público con contacto indirecto u ocasional.

En la zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 9, 10, 11, 12, 13 y 14), los valores generalmente se encontraron dentro de los límites permisibles para la calidad del agua de acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL 1997 y en la Ley Federal de Derechos de la CNA, 2005 que establece como límite máximo permisible de < 240 NMP/100MI de bacterias coliformes fecales para las aguas con servicios al público con contacto primario, considerando que estos cuerpos se utilizan para recreación del turismo nacional e internacional, para la pesca artesanal de las poblaciones ribereñas y para el tráfico de embarcaciones (Fig. 79).

Cabe mencionar que en marzo de 1992 y septiembre de 1994 se determinaron valores por arriba de la norma oficial señalada en el centro y fuera de la bahía y esto probablemente se deba al patrón de circulación que se presenta en la bahía que transporta esta agua con altos contenidos de bacterias coliformes y también a que en algunas ocasiones los barcos achican sentinas en la bahía

(que está prohibido por norma internacional) y pudo haber coincidido con el tiempo de muestreo (Fig. 79).

**CUADRO XXXIII.- Estadística básica del Log del NMP/100mL de coliformes fecales**

**PROMEDIOS TOTALES**

	1991		1992		1993		1994		1995
<b>PROM</b>	4.124038	<b>PROM</b>	4.348002	<b>PROM</b>	4.096652	<b>PROM</b>	48,038	<b>PROM</b>	70,966
<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213
<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	6.380211	<b>MAXIMO</b>	6.380211
	est. 3 mar, may, sept y oct.		est. 3 y 6 ene, may, agos-oct		est. 3 y 8 may, jun, nov y dic		est. 8 noviembre		est. 5 enero

**EPOCA DE SECAS**

	1991		1992		1993		1994		1995
<b>PROM</b>	4.056342	<b>PROM</b>	4.360231	<b>PROM</b>	4.056342	<b>PROM</b>	4.360231	<b>PROM</b>	4.864740
<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213
<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	5.662758	<b>MAXIMO</b>	6.380211
	est. 3 marzo y mayo		est. 3 enero y mayo		est. 3 y 8 may, jun, dic.		est. 8 diciembre		est. 5 enero

**EPOCA DE LLUVIAS**

	1991		1992		1993		1994		1995
<b>PROMEDIC</b>	4.155190	<b>PROM</b>	4.275905	<b>PROM</b>	4.142025	<b>PROM</b>	4.889078	<b>PROM</b>	4.831040
<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213	<b>MINIMO</b>	<0.4771213
<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	5.380211	<b>MAXIMO</b>	6.041393	<b>MAXIMO</b>	6.041393
	est. 3 sept. y oct.		est. 3 y 6 agos,sept y oct.		est. 3 y 8 nov.		est. 8 noviembre		est. 3 y 8 jul, oct. y nov.

PROM = promedio real

Anualmente las bacterias coliformes fecales se comportan similarmente que las bacterias coliformes totales y solo varían un poco, pero el patrón general es el mismo, esto es, las zonas en la que se presentaron a lo largo de los años de muestreo fueron las estaciones 3-8 prácticamente en todos los meses.

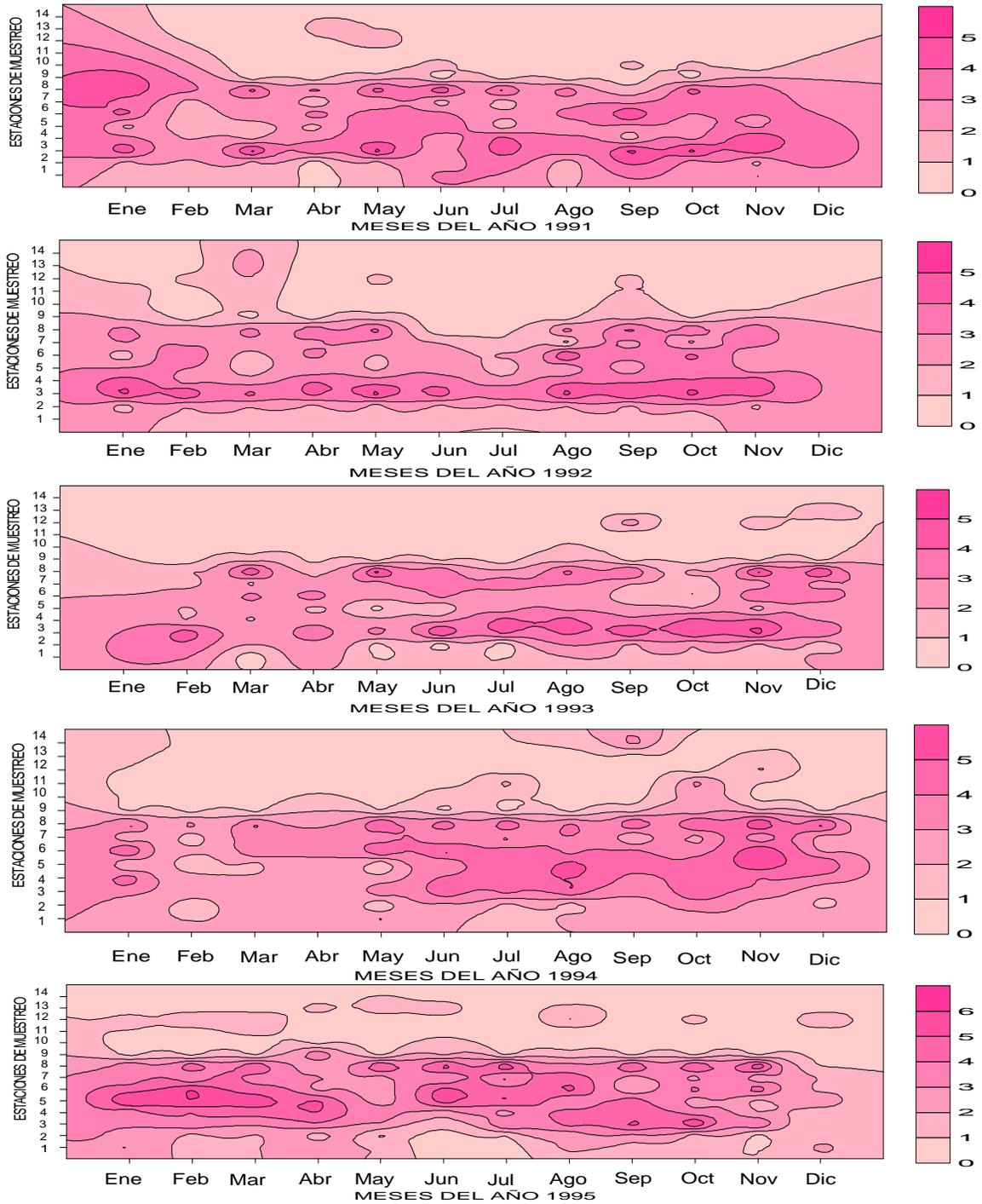


Figura 79.- Logaritmo del promedio del NMP/100mL de bacterias coliformes fecales en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

#### 4.2.2.4 Visibilidad

El análisis de Fourier para las dos zonas que se formaron a través del índice de similitud se observa que para la zona uno que comprende el Puerto Interior, Dársena y zona costera no se presenta aparentemente ningún tipo de periodicidad ni comportamiento cíclico, sin embargo, para la zona dos que corresponde al centro y fuera de la bahía se aprecia el período de frecuencia 5 que corresponde al período de  $64/5 = 13$  meses aproximadamente, esto es cercano a un cíclico anual que podría corresponder a época de secas y lluvias (Fig. 80).

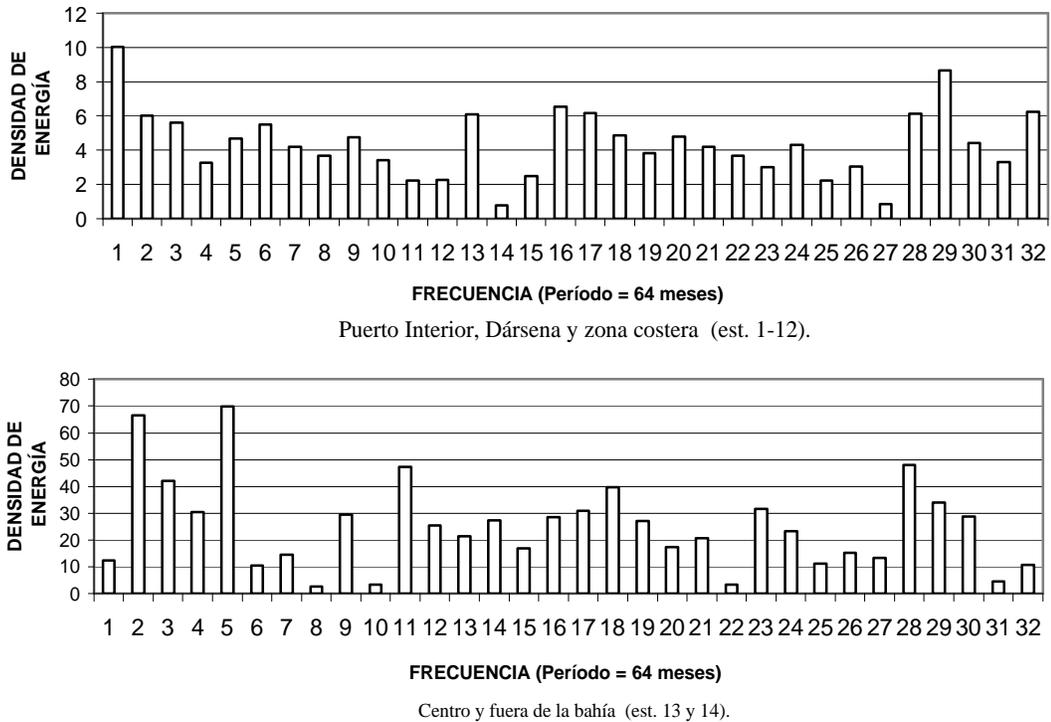


Figura 80.- Visibilidad del agua durante 1991 -1995 (análisis de Fourier).

El comportamiento de la visibilidad es muy similar en todos los años, ya que los valores promedios fluctuaron entre 3.95 a 4.78 m siendo este último el mas elevado en 1992 y no se observa ninguna variación fuerte del promedio, sin embargo, los valores puntuales mas altos de  $>20$  m se registraron en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14), en distintas épocas de los años, así como los valores de 0.1 a 0.5 m, más bajos se encontraron en el Puerto Interior y en la playa de San Pedrito principalmente en época de lluvias (est. 1-4 y 5). Prácticamente en todos los meses de los años muestreados no se aprecia ningún patrón claramente definido (Fig. 81; Cuadro XXXIV).

Para época de secas los valores promedios fluctuaron entre 4.02 m en 1991 y 4.69 m en 1995, con un rango de variación de 0.67 m y para lluvias entre 3.75 en 1993 y 4.72 en 1975 con una variación de 0.97 m por lo que en lluvias las fluctuaciones en la visibilidad son más amplias debido probablemente al aporte de materia orgánica por escurrimientos durante esta época mientras que en secas es ligeramente más estable y puede alterarse por el patrón de vientos y circulación de la zona (Fig. 82; Cuadro XXXIV).

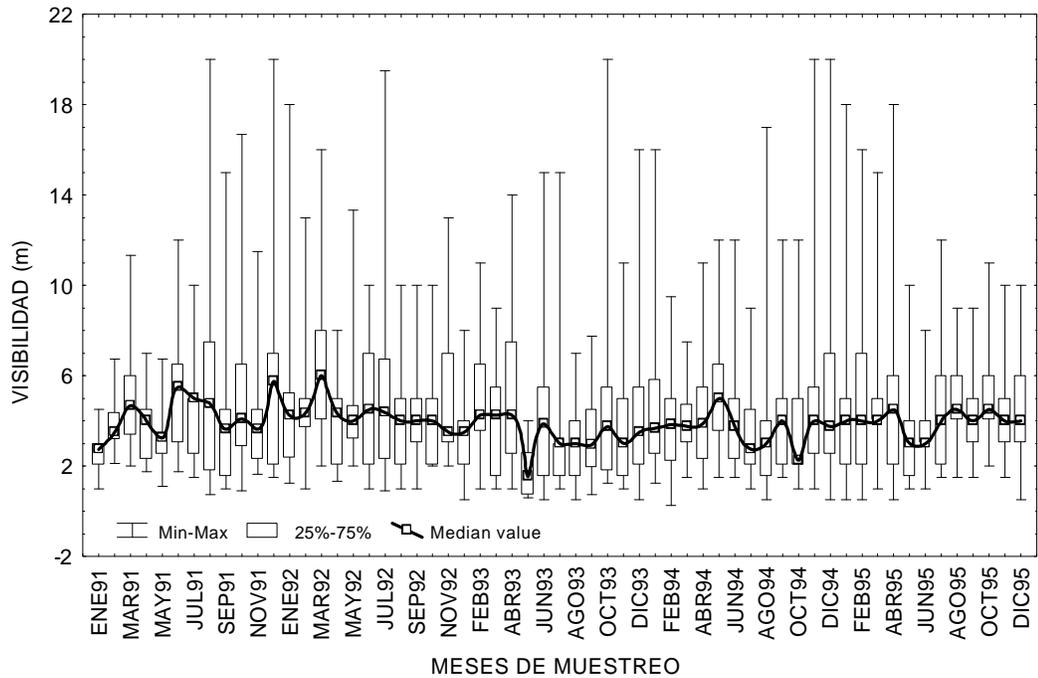


Figura 81.- Comportamiento de la visibilidad del agua durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

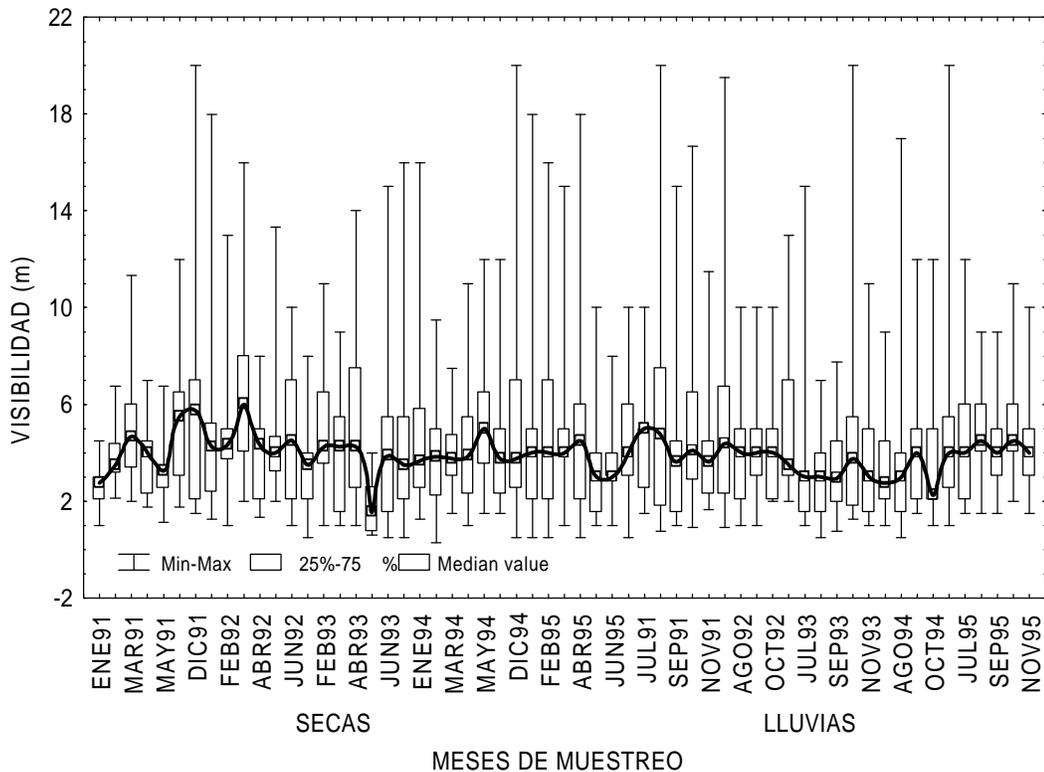


Figura 82.- Comportamiento de la visibilidad del agua en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

**CUADRO XXXIV.- Estadística básica de la visibilidad (m)**

**PROMEDIO TOTAL**

<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>	
PROM REAL	4.21	PROM REAL	4.78	PROM REAL	3.95
Mínimo 0.2	est. 2 octubre	Mínimo 0.3	est. 1 julio	Mínimo 0.5	est. 1,2 junio
Máximo 24	est. 14 agosto	Máximo 24	est. 13 julio	Máximo 20	est. 14 octubre
Desvest 3.11		Desvest 3.61		Desvest 3.29	
<b>1994</b>		<b>1995</b>			
PROM REAL	4.48	PROM REAL	4.70		
Mínimo 0.1	est. 1-2 febrero	Mínimo 0.5	est. 1-2 ene febrero		
Máximo 20	est. 13 nov-dic	Máximo 18	est. 14 ene, abril		
Desvest 3.53		Desvest 3.31			

**ÉPOCA DE SECAS**

<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>	
PROM REAL	4.02	PROM REAL	4.68	PROM REAL	4.11
Mínimo 0.5	est. 1 enero	Mínimo 0.5	est 1, 8 enero	Mínimo 0.5	est. 1,3,8 ene jun y dic
Máximo 22	est. 14 diciembre	Máximo 18	est. 14 enero	Máximo 15	est. 13,14 junio diciembre
Desvest 2.63		Desvest 3.3		Desvest 3.34	
<b>1994</b>		<b>1995</b>			
PROM REAL	4.48	PROM REAL	4.69		
Mínimo 0.1	est. 1-2 febrero	Mínimo 0.5	est. 1-2 dic-feb		
Máximo 20	est. 13 diciembre	Máximo 18	est. 14 ene, abril		
Desvest 3.35		Desvest 3.77			

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>	
PROM REAL	4.53	PROM REAL	4.98	PROM REAL	3.75
Mínimo 0.2	est. 2 octubre	Mínimo 0.3	est. 1 julio	Mínimo 0.5	est. 1,2 agos-sept
Máximo 24	est. 14 agosto	Máximo 24	est. 13 julio	Máximo 20.	est. 14 octubre
Desvest 3.78		Desvest 4.26		Desvest 3.25	
<b>1994</b>		<b>1995</b>			
PROM REAL	4.48	PROM REAL	4.72		
Mínimo 0.5	est. 2 agosto	Mínimo 1.5	est. 1-2 septiembre		
Máximo 20	est. 13 noviembre	Máximo 12	est. 14 julio		
Desvest 4.04		Desvest 2.54			

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

El análisis de los valores de la visibilidad en espacio y tiempo, muestran claramente que los más altos se registraron en el centro y fuera de la bahía, mientras que los más bajos se encontraron en el Puerto Interior y en la Dársena en la mayoría de los meses de muestreo, esto es, la transparencia mayor se registró en algunas zonas costeras, en el centro y fuera de la bahía (Fig. 83).

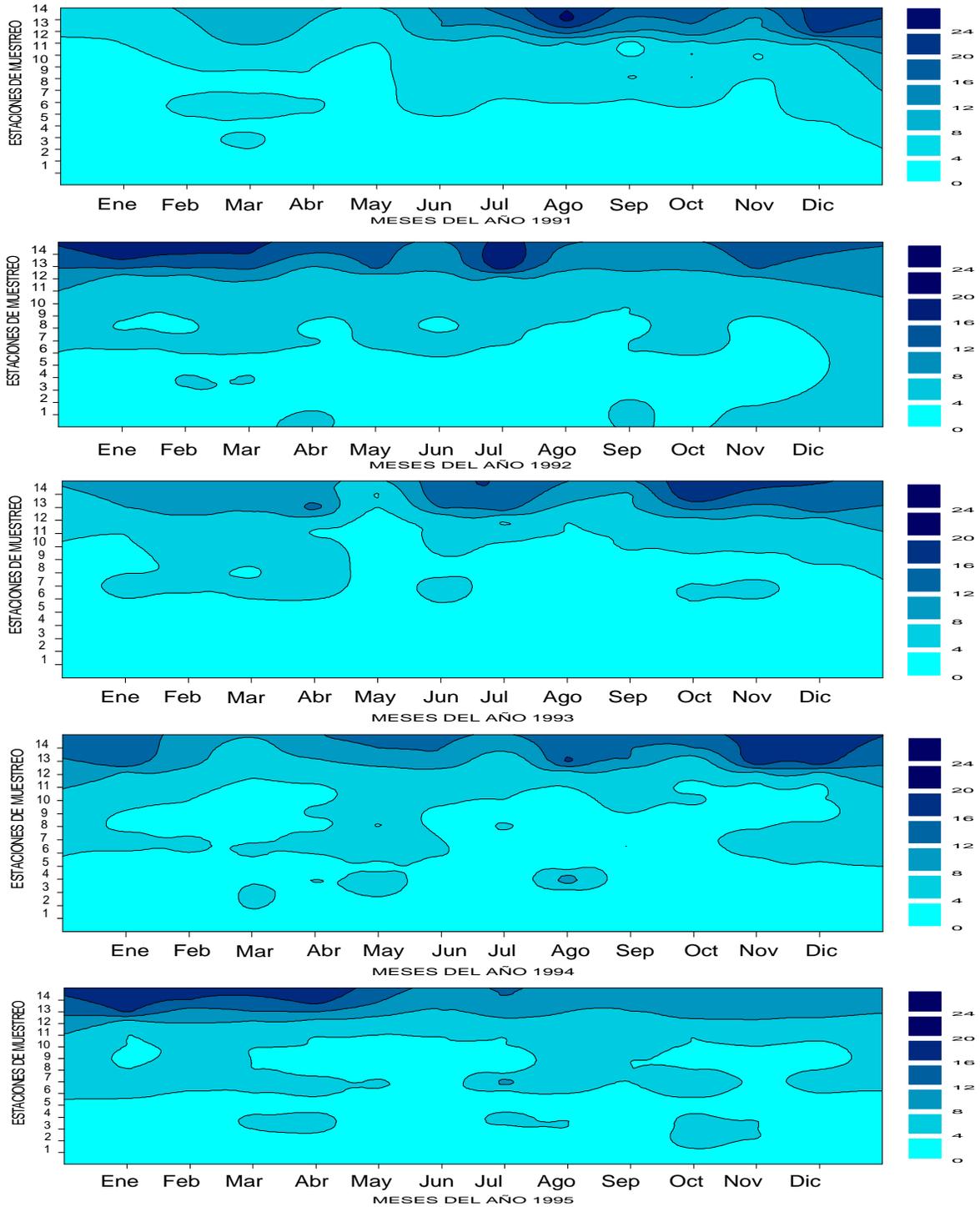
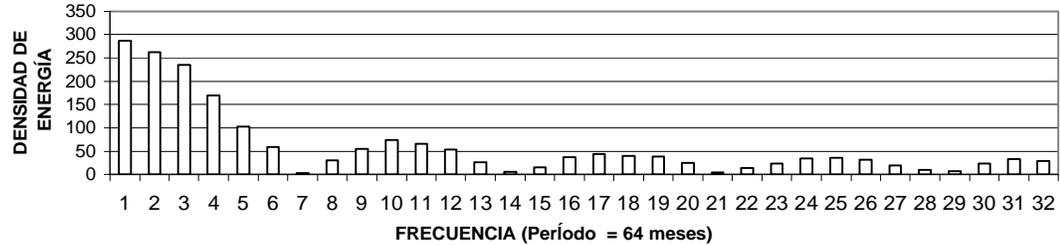


Figura 83.- Visibilidad (m) del agua en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

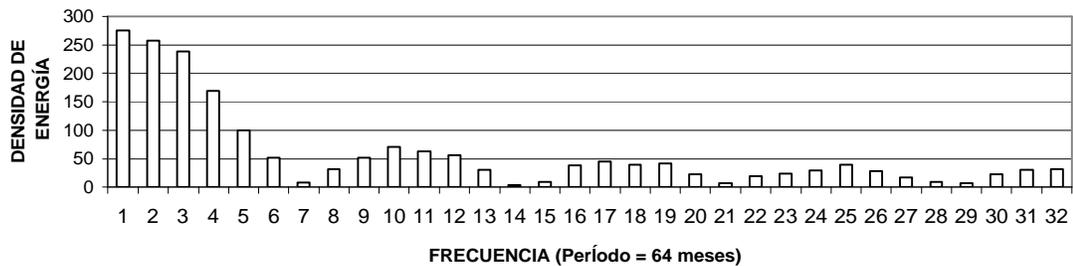
#### 4.2.2.4 Salinidad

##### a) Superficial

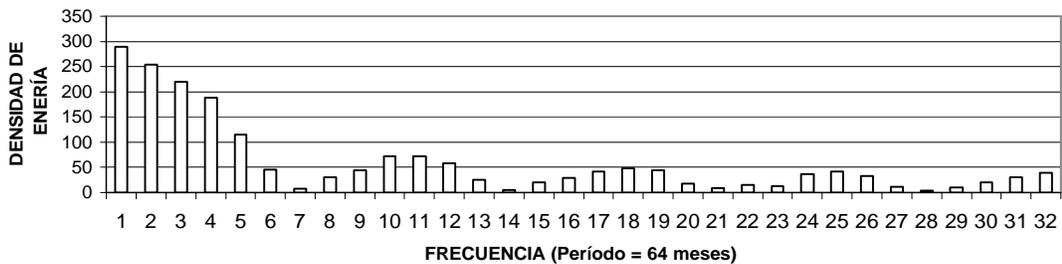
El índice de similitud dio la formación de tres zonas con características propias en cuanto a la salinidad, sin embargo, el análisis de Fourier no mostró claramente que exista periodicidad en ninguna de ellas que pueda ser explicado por un proceso natural cíclico y posiblemente se requiera un mayor número de datos tanto en espacio como en tiempo, para este tipo de análisis (Fig. 84).



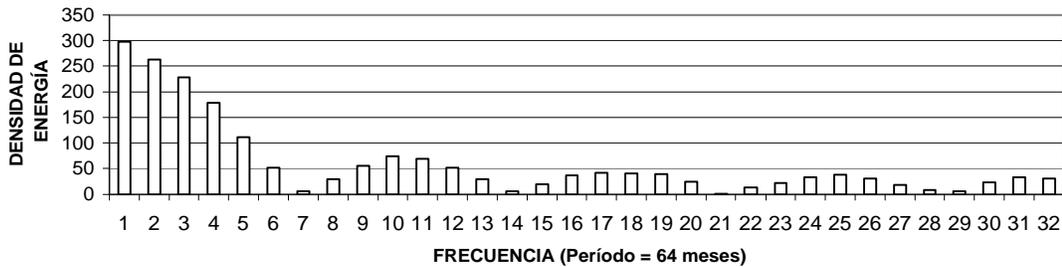
Puerto Interior (est. 1 y 2)



Puerto Interior (est. 3-4).



San Pedrito (est. 5)



Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est 5-14)

Figura 84.- Salinidad superficial durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

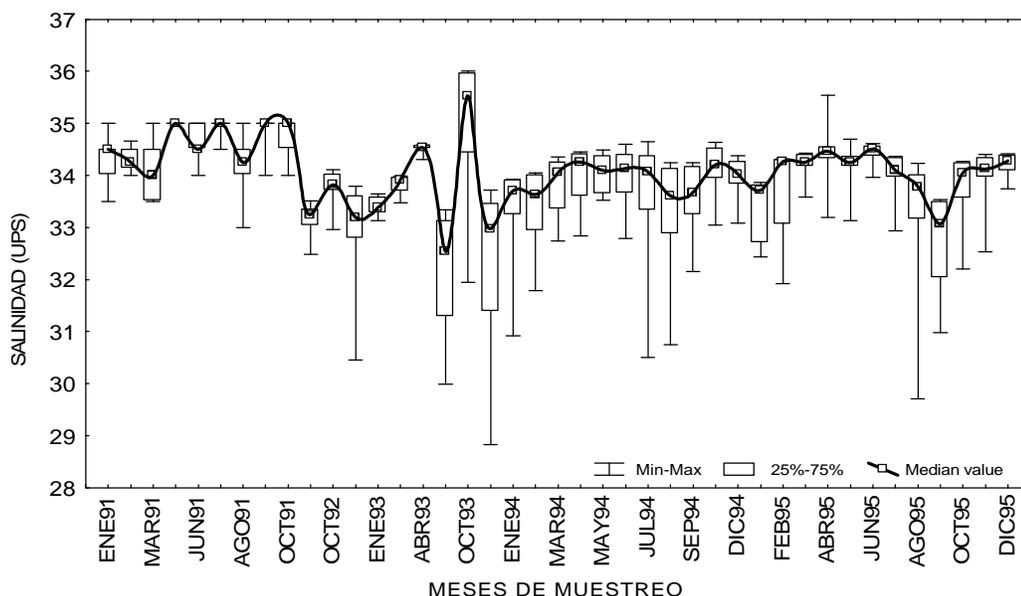


Figura 85.- Comportamiento de la salinidad en superficie durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

El promedio anual de la salinidad superficial a través de los años de muestreo fluctuó entre 34.5 UPS en 1991 y el más bajo de 33.3 UPS en 1992, aunque se registraron valores mínimos de 26.79 UPS en septiembre de 1993, 29.04 UPS en enero de 1994 y 29.71 UPS en agosto de 1995, y máximos en 1993 con 36.11 UPS en octubre, 35.54 UPS en 1995 y 35.0 UPS en 1991. Lo anterior corrobora el aporte de agua dulce procedente de las descargas de aguas residuales, ya que no existe ningún escurrimiento natural que pudiera disminuir este parámetro significativamente (Fig. 85; Cuadros X y XXXV).

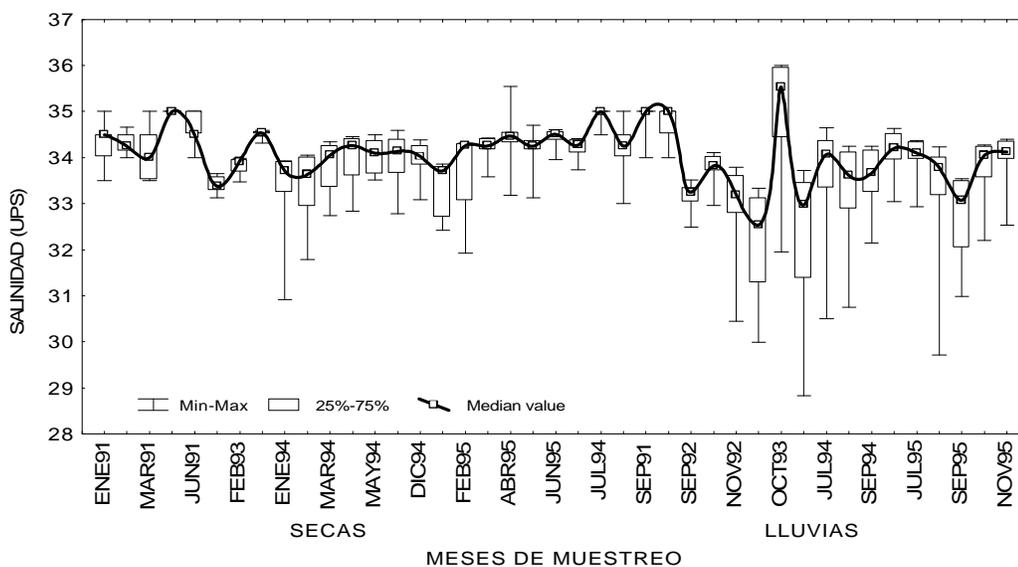


Figura 86.- Comportamiento de la salinidad en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

**CUADRO XXXV.- Estadística básica de la salinidad (UPS) en superficie.**

**PROMEDIO TOTAL**

	1991		1992		1993
PROM REAL	34.5	PROM REAL	33.3	PROM REAL	33.6
Mínimo 32	est. 1,5 enero	Mínimo 30.45	est. 3 noviembre	Mínimo 26.79	est. 7 septiembre
Máximo 35	varias est y meses	Máximo 34.11	est. 9 octubre	Máximo 36.11	est 9 octubre
Desvest 0,7		Desvest 0.7		Desvest 1.7	
	1994		1995		
PROM REAL	33.7	PROM REAL	33.9		
Mínimo 29.04	est. 2 enero	Mínimo 29.71	est 4 agosto		
Máximo 34.69	est. 13 junio	Máximo 35.54	est. 9 abril		
Desvest 0,8		Desvest 0,7			

**ÉPOCA DE SECAS**

	1991		1992		1993
PROM REAL	34.41	PROM REAL		PROM REAL	33.93
Mínimo 32	est. 1 enero	Mínimo		Mínimo 33.13	est. 1 enero
Máximo 35	est. 10-14 marzo mayo	Máximo		Máximo 34.59	est. 10 abril
Desvest 0,70		Desvest		Desvest 0,50	
	1994		1995		
PROM REAL	33.73	PROM REAL	34.08		
Mínimo 29.04	est. 2 enero	Mínimo 31.92	est. 5 febrero		
Máximo 34.69	est 13 junio	Máximo 35.54	est. 9 abril		
Desvest 0.75		Desvest 0.57			

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

	1991		1992		1993
PROM REAL	34.6	PROM REAL	33.3	PROM REAL	33.4
Mínimo 33.0	varias est. agosto	Mínimo 30.45	est. 3 noviembre	Mínimo 26.79	est. 7 septiembre
Máximo 35.0	varias est y meses	Máximo 34.11	est. 9 octubre	Máximo 36.11	est. 9 octubre
Desvest 0.64		Desvest 0.72		Desvest 2.15	
	1994		1995		
PROM REAL	33.6	PROM REAL	33.6		
Mínimo 30.5	est. 3 julio	Mínimo 29.71	est. 4 agosto		
Máximo 34.65	est. 3 julio	Máximo 34.4	ests 10,13 y 14 nov.		
Desvest 1.00		Desvest. 0.91			

PROM REAL = promedio real

Desvest. = desviación estándar

Aunque el promedio para lluvias de 33.8 UPS con mínimo de 26.79 UPS en la Dársena en el muelle de la flotilla y de PEMEX (est. 7), en septiembre de 1993, máximo de 36.11 UPS en la zona costera frente las Brisas en el mismo año, es menor que el promedio para secas de 34.0, Los valores promedios para lluvias variaron de 33.3 a 34.6 UPS y para secas de 33.70 a 34.4 UPS, siendo ligeramente mas bajos en época de lluvias que en secas, mínimo de 29.04 UPS en el interior del Puerto Interior en 1994 y máximo de 35.54 en la zona costera frente a las Brisas en abril de 1994. La variación entre estas dos épocas fue de 0.22 UPS (Fig. 86; Cuadros X y XXXV).

Se esperaría que los valores promedio de la salinidad para esta región geográfica estuvieran alrededor de los valores que se reportan para la corriente norecuatorial ascendente y los de la corriente de California de 34.5 aprox. Sin embargo se observan datos por debajo de estos debido al aporte de agua dulce procedente de las descargas de aguas residuales de la ciudad de Manzanillo y de las distintas colonias que se localizan alrededor de la bahía como son Salahua, Las Brisas, San Pedrito, etc. (Ver mapa 1), y por otro lado los valores más altos se deben al porte de agua salada procedente de la laguna de Cuyutlán a través del túnel y el canal de Ventanas cuyos valores reportados varían entre 35-39 ppm.

También se observa en la figura que los valores más bajos se registraron de julio a noviembre y las zonas en donde se determinaron estos valores fueron en el Puerto Interior banda 3 y 4, y en la Dársena en la playa de San Pedrito. Esto se pudo deber al aporte de aguas dulces procedentes de las descargas de aguas residuales del puerto y a los escurrimientos propios de la época de lluvias (Fig. 87).

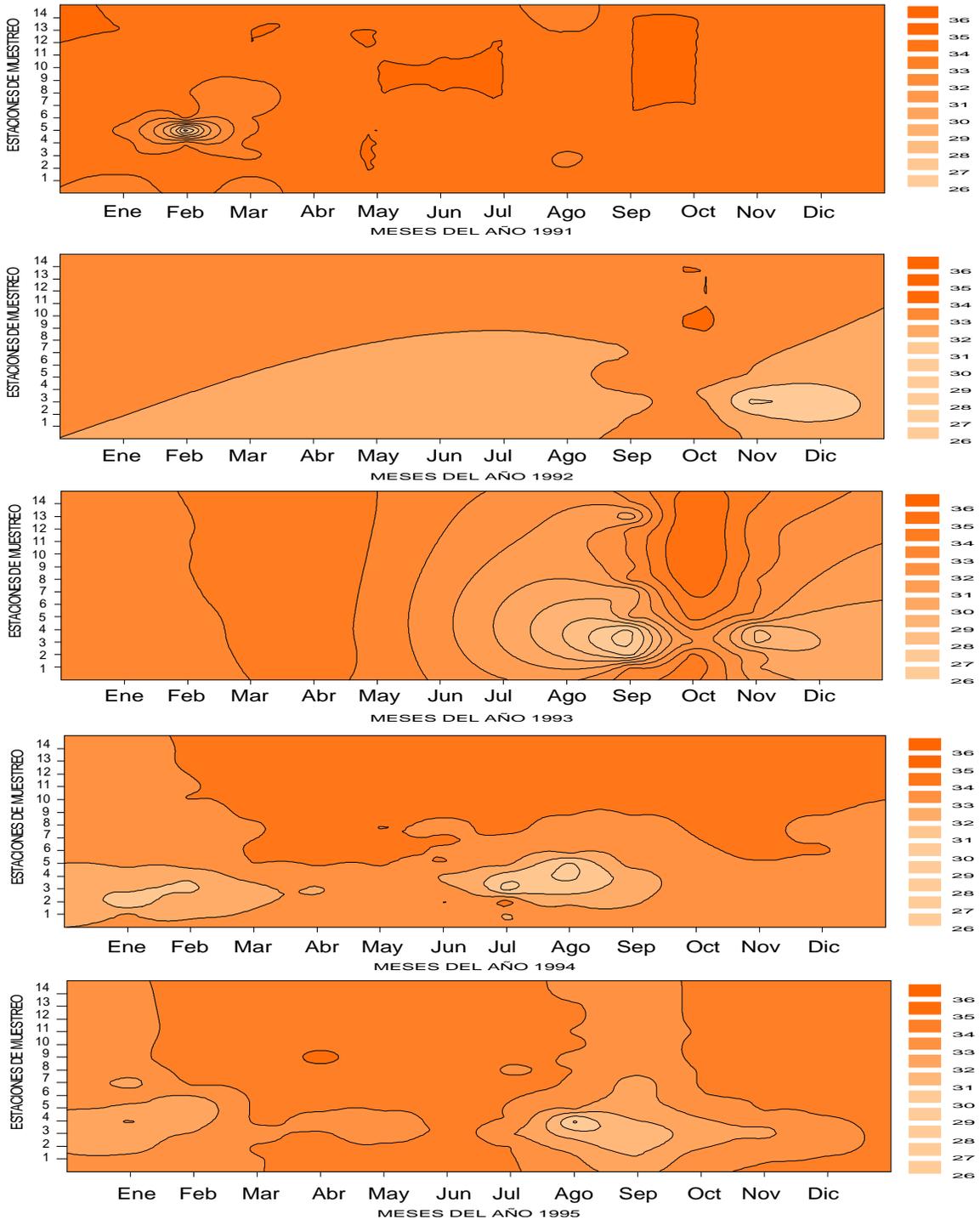
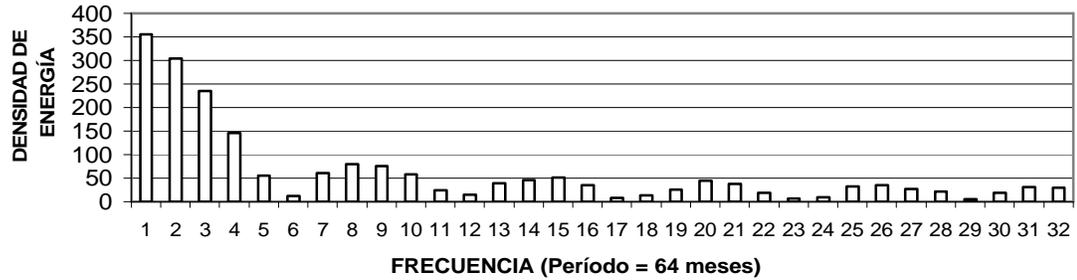


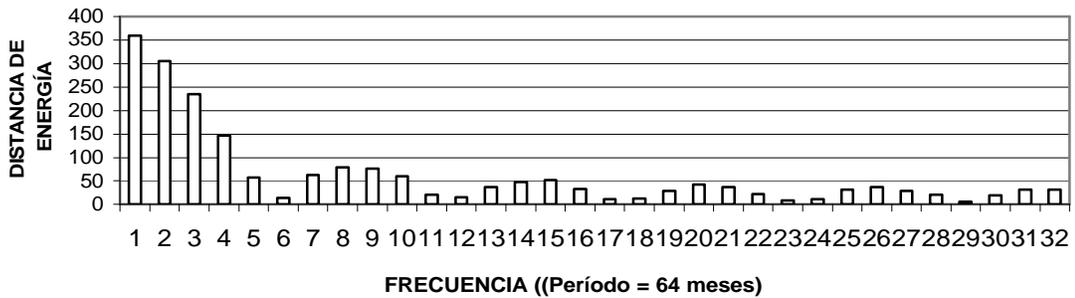
Figura 87.- Salinidad (UPS) superficial en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

## b) Fondo

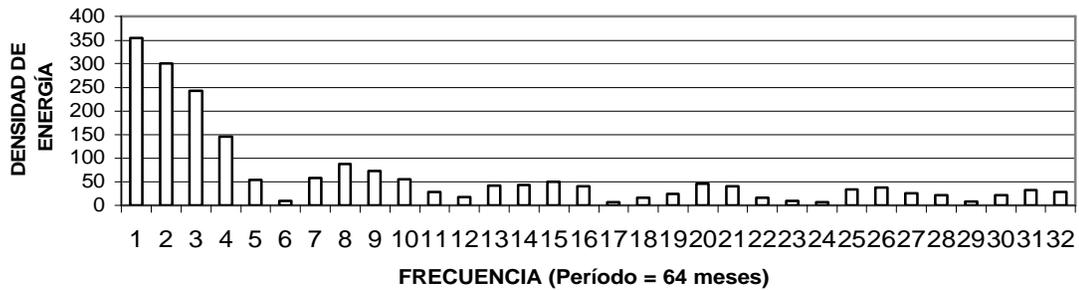
Al igual que en superficie la salinidad formó las mismas regiones y el análisis de Fourier no muestra una clara formación cíclica en los valores obtenidos para fondo, por lo que para este análisis se necesitarían una serie de tiempo con mas datos (Fig. 88).



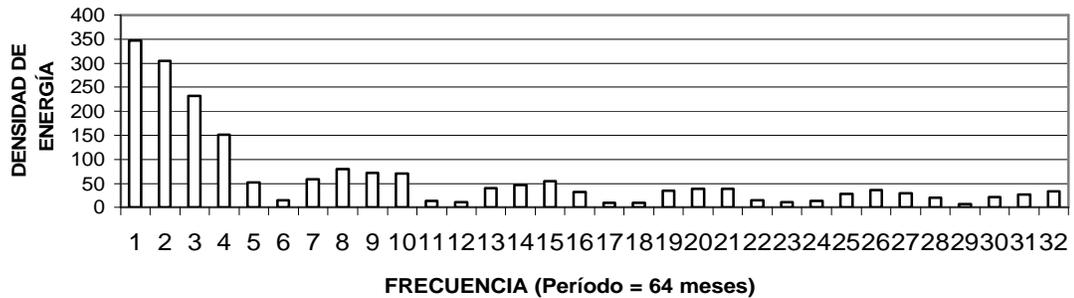
Puerto Interior (est. 1 y 2).



Dásena, zona costera centro y fuera de la bahía (est. 6-14).



Puerto Interior (est. 3 y 4).



San Pedrito (est. 5).

Figura 88.- Salinidad en fondo durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Los valores promedio anuales fluctuaron entre 33.69 en 1992 a 34.42 UPS en 1991 con promedio total de todos los muestreos de 34.17 UPS, mínimo de 30.75 UPS en agosto de 1994, en la playa de San Pedrito y máximo de 36.64 UPS, en el centro de la bahía en octubre de 1993. Para época de secas el promedio total fue de 34.18 UPS, con valores promedio entre 34.03 y 34.45 UPS, mínimo de 31.92 UPS en la Dársena en 1995 y máxima de 35.54 UPS en la zona costera frente a Salahua en abril de 1995. La variación entre épocas fue de 0.02 UPS, por lo que se puede decir que es mas estable y homogénea la salinidad en secas que en lluvias.

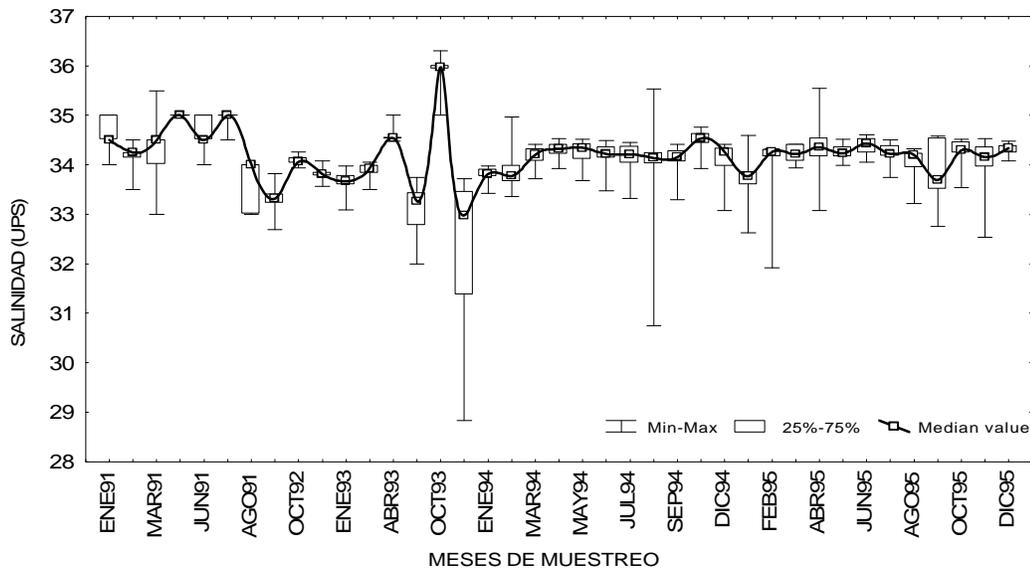


Figura 89.- Comportamiento de la salinidad en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

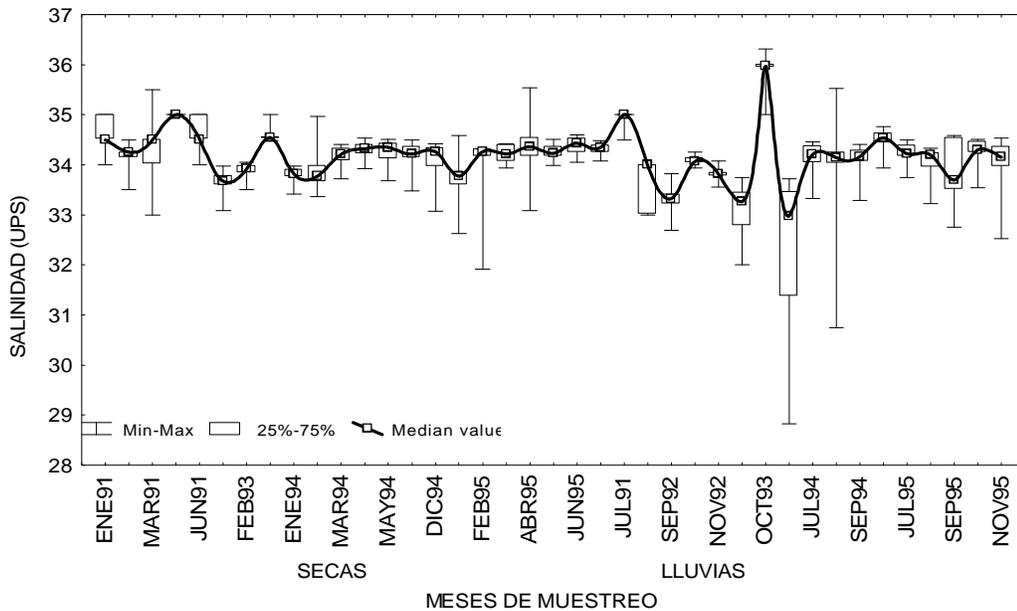


Figura 90.- Comportamiento de la salinidad en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

En época de secas los valores promedio de la salinidad fluctuaron entre 34.03 a 34.45 UPS, con valores máximo en de 35.54 UPS en marzo en la zona frente a Salahua (est. 11), en 1995 y 35.5 UPS en abril de 1991 en la zona costera frente a las Brisas.. El promedio anual más alto se determinó en 1991 con 34.45 UPS, mientras que los promedios más bajos se registraron en 1993 con 34.03 UPS y 34.18 UPS en 1994 y el promedio global para esta época fue de 34.18 UPS. (Fig. 90; Cuadros XII y XXXVI).

Para la época de lluvias, se registraron los valores mas bajos en 1994 con 30.75 UPS en agosto en la playa de San Pedrito y en 1993 con 31.06 UPS en septiembre en la playa de las Hadas y los mas altos en 36.64 UPS en 1993 en el centro de la bahía (est. 13). El promedio de esta época fue de 34.15 UPS, con valores promedio entre 33.68 en 1992 y 34.50 UPS en 1993 (Fig. 90; Cuadro XXXVI).

**CUADRO XXXVI.- Estadística básica de la salinidad (UPS) en fondo.**

**PROMEDIO TOTAL**

	1991		1992		1993
PROM REAL	34.42	PROM REAL	33.69	PROM REAL	34.3
Mínimo 32	est. 7 febrero	Mínimo 32.69	est. 12 septiembre	Mínimo 31.06	est. 12 septiembre
Máximo 35.5	est. 9 marzo	Máximo 34.26	est. 10 octubre	Máximo 36.64	est. 13 octubre
Desvest 0.65		Desvest 0.39		Desvest 1.19	
	1994		1995		
PROM REAL	34.07	PROM REAL	34.14		
Mínimo 30.7533	est- 5 agosto	Mínimo 31.92	est. 5 febrero		
Máximo 35.53	est 14 agosto	Máximo 35.54	est. 9 abril		
Desvest 0.41		Desvest 0.42			

**ÉPOCA DE SECAS**

	1991		1992		1993
PROM REAL	34.45	PROM REAL		PROM REAL	34.03
Mínimo 32	est. 7 enero	Mínimo		Mínimo 33.09	est. 1 enero
Máximo 35.5	est. 9 marzo	Máximo		Máximo 34.66	est. 13 abril
Desvest 0.64		Desvest		Desvest 0,43	
	1994		1995		
PROM REAL	34.03	PROM REAL	34.18		
Mínimo 33.03	est. 9 febrero	Mínimo 31.92	est. 5 febrero		
Máximo 34.97	est. 10 febrero	Máximo 35.54	est. 11 abril		
Desvest 0.34		Desvest 0.41			

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

	1991		1992		1993
PROM REAL	34.26	PROM REAL	33.69	PROM REAL	34.5
Mínimo 33.0	est 11-14 agosto	Mínimo 32.69	est. 12 septiembre	Mínimo 31.06	est, 12 septiembre
Máximo 35	est 4-13 julio	Máximo 34.26	est. 10 octubre	Máximo 36.64	est, 13 octubre
Desvest 0.72		Desvest 0.39		Desvest 1.49	
	1994		1995		
PROM REAL	34.18	PROM REAL	34.09		
Mínimo 30.75	est. 5 agosto	Mínimo 32.53	est. 3 noviembre		
Máximo 35.53	est. 14 agosto	Máximo 34.58	est. 6 septiembre		
Desvest 0.58		Desvest 0.43			

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

Durante los cinco años de muestreo, la salinidad en fondo no presenta un patrón de comportamiento cíclico, solo se puede decir que los valores más bajos se registraron en los meses de diciembre, enero y febrero aunque estos valores fueron muy cercanos a los reportados para aguas de procedencia oceánica en esta zona, los valores más altos no presentan un patrón anual a lo largo de los años de muestreo (Fig. 91).

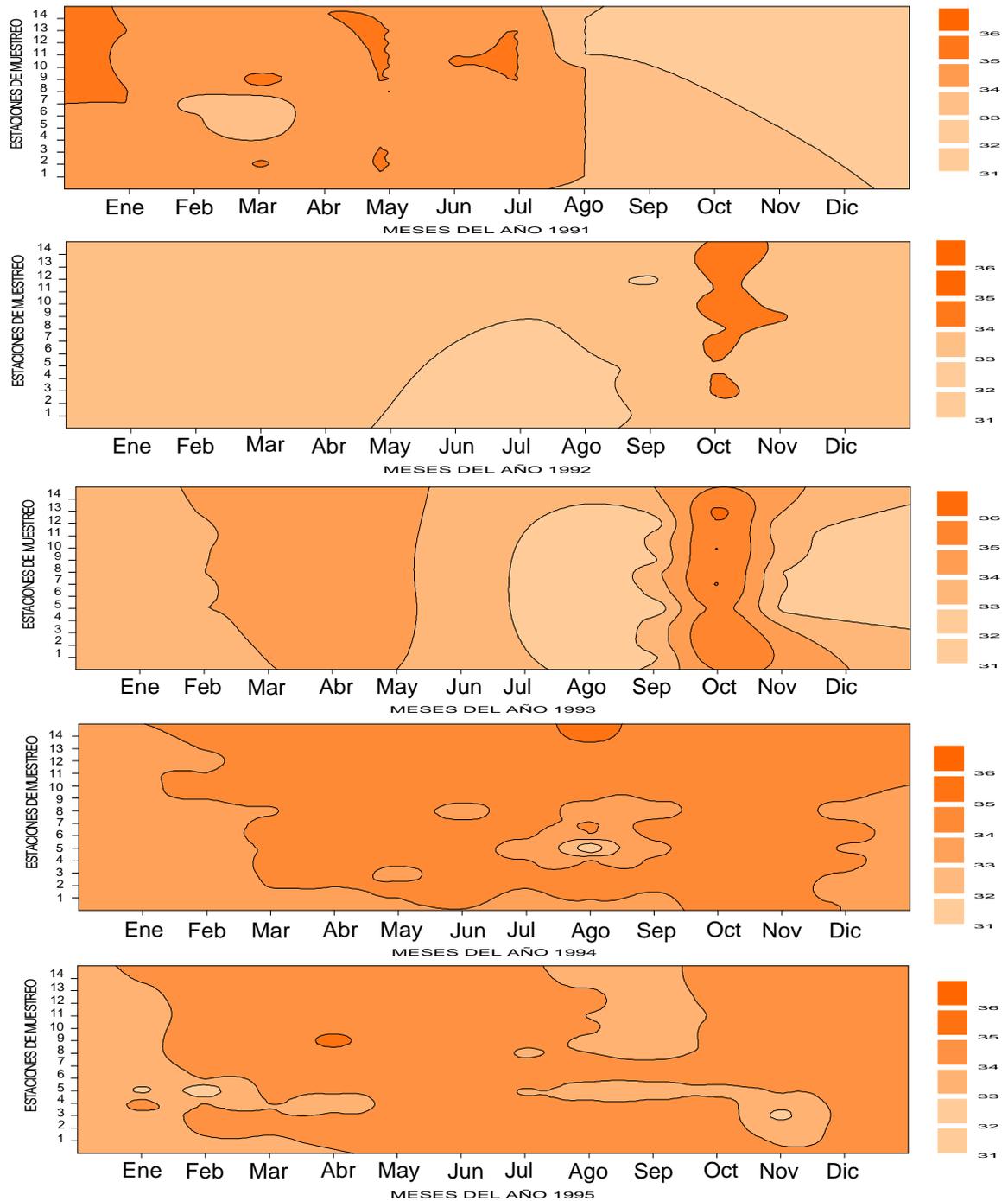
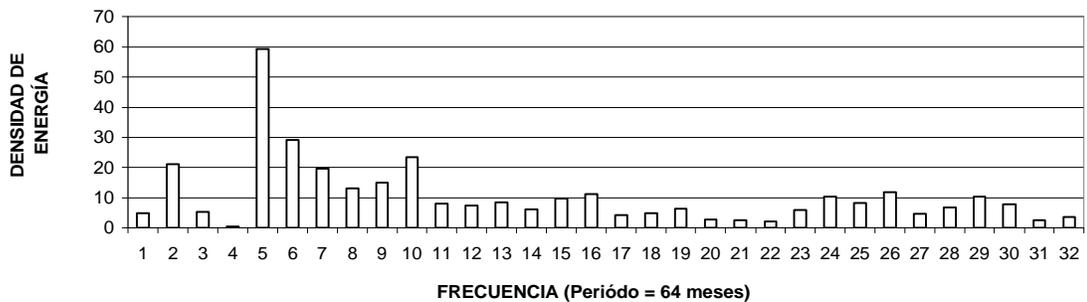


Figura 91.- Salinidad (UPS) en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

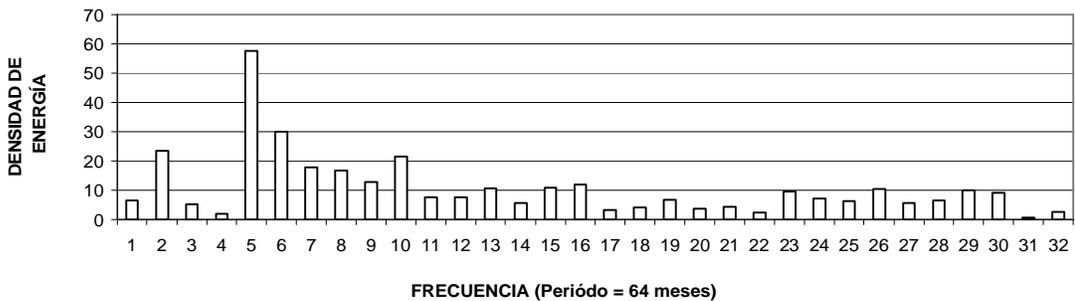
## 4.2.2.5 Temperatura

### a) Superficial

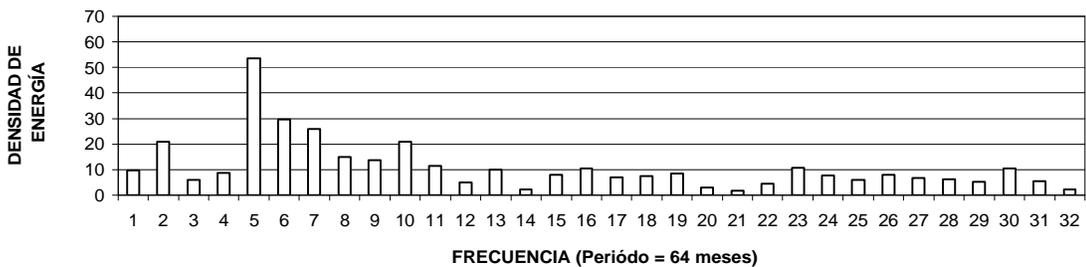
El comportamiento de la temperatura para las diferentes zonas que se determinaron mediante el análisis de similitud y aplicando las series de Fourier, muestra claramente que este parámetro está regido por dos períodos cíclicos naturales. El primero con una frecuencia de cinco que corresponde a un período de  $64/5 = 13$  meses aproximadamente a un ciclo anual y en el cual se ubica la época de secas y lluvias con valores máximos de  $32^{\circ}\text{C}$  durante los meses de julio, agosto y septiembre con temperaturas más elevadas y mayor insolación, con valores mínimos de  $22^{\circ}\text{C}$  en los meses de marzo y abril, con promedio de  $28.13^{\circ}\text{C}$  en los años de muestreo excepto en 1992 que se comportó en forma anormal debido al fenómeno del niño (ENSO, 1992), con temperaturas mínimas de  $26^{\circ}\text{C}$  y máximas de  $32.2^{\circ}\text{C}$  y el promedio anual se incremento en  $2^{\circ}\text{C}$  y el segundo ciclo con frecuencia  $64/10 = 6$  (Fig. 92 y 93; Cuadro XXXVII).



Puerto Interior y muelle de Pemex est. 1,2 y 7.



Puerto Interior, Dársena y playa El Viejo est.3-6 y 8.



Zona costera, centro y fuera de la bahía est. 13 y 14.

Figura 92.- Temperatura superficial durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Los ciclos descritos anteriormente se corroboraron al graficar la temperatura promedio mensual a lo largo de los años de muestreo, encontrándose que entre 1991 y 1992 se presentó un ligero comportamiento anómalo de la temperatura, ya que se registraron los valores promedio más altos que en los otros años de muestreo y como ya se mencionó antes, 1992 correspondió al año en el que se tuvo el Fenómeno del niño (ENSO, 1992; Fig. 93; Cuadro XXXVII)

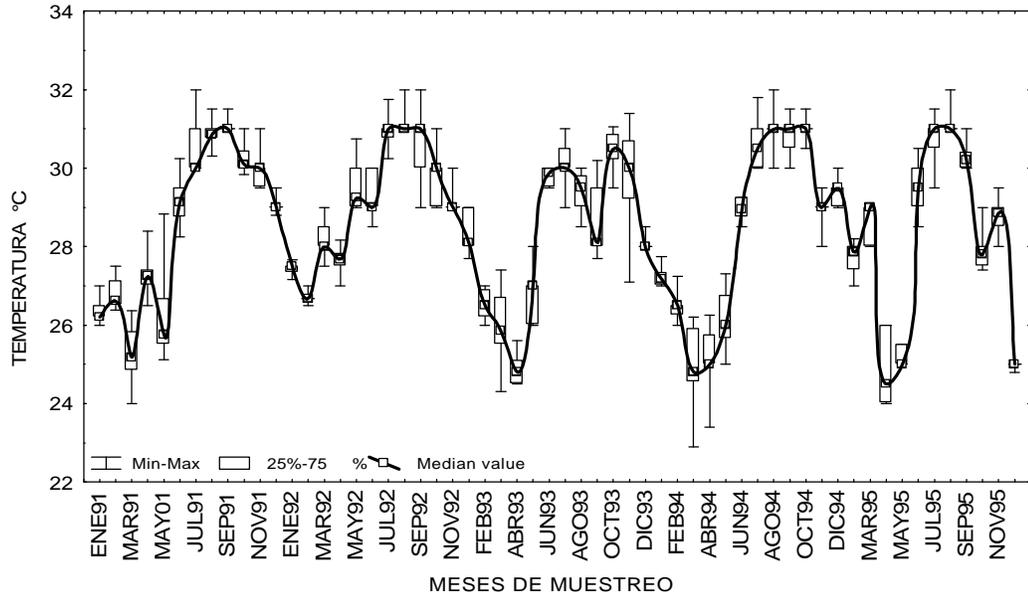


Figura 93.- Comportamiento de la temperatura superficial durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

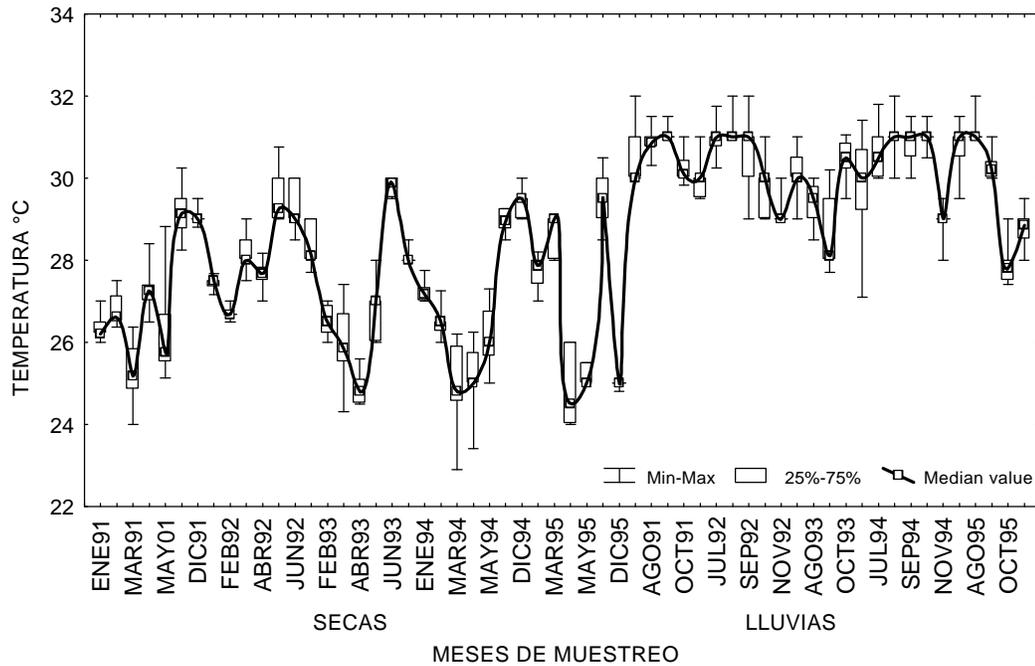


Figura 94.- Comportamiento de la temperatura superficial en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Con relación al período de secas y lluvias se observó que los valores más altos se determinaron en julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre con máximos 32°C todos los años de muestreo y promedio de 30.24 °C. Estos valores caracterizaron la época de mayores temperaturas en la zona, mientras que los mínimos de 27.1°C a 28°C; mientras que en secas la temperatura fue ligeramente más baja de 30 a 31.5°C como máxima, mínimos de 22.23°C y promedio de 27.17°C. La variación promedio entre las dos épocas del año es de 0.3°C aproximadamente (Fig. 94; Cuadros XVI y XXXVII).

También al hacer el análisis del comportamiento de este parámetro en forma anual y en las distintas zonas de muestreo, se aprecia que los meses de temperaturas mayores se determinaron en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, registrándose los valores más altos en el Puerto Interior y Dársena; los más bajos en la zona costera, en el centro y fuera de la bahía (Fig. 95; Cuadro XXXVII).

**CUADRO XXXVII.- Estadística básica de la temperatura en superficie (°C).**

**PROMEDIO TOTAL**

	1991		1992		1993
PROM REAL	28.26	PROM REAL	28.67	PROM REAL	28.51
Mínimo 22	est. 8 marzo	Mínimo 26.0	est. todas en feb	Mínimo 24.3	est. 3 marzo
Máximo 32.0	est. 6, julio	Máximo 32.0	est. 1 y 2 jul agos y sep	Máximo 32.0	est. 6 oct.
Desvest 2.24		Desvest 1.65		Desvest 1.89	
	1994		1995		
PROM REAL	27.81	PROM REAL	28.18		
Mínimo 22.9	est. 12 marzo	Mínimo 24.0	est. 8 a 11 abril		
Máximo 32.0	est. 2 noviembre	Máximo 32	est. 1 y 2 agosto		
Desvest 2.24		Desvest 2.3			

**ÉPOCA DE SECAS**

	1991		1992		1993
PROM REAL	26.88	PROM REAL	27.85	PROM REAL	27.51
Mínimo 22	est. 8 marzo	Mínimo 26.0	est. todas en feb	Mínimo 24.3	est. 3 marzo
Máximo 30.5	est. 1 y 3 junio	Máximo 31.5	est. 2 en mayo	Máximo 30.0	est. 1-14 junio
Desvest 1,71		Desvest 1,2		Desvest 1,76	
	1994		1995		
PROM REAL	26.79	PROM REAL	26.86		
Mínimo 22.9	est. 12 marzo	Mínimo 24.0	est. 8 a 11		
Máximo 30.50	est. 1-5 junio	Máximo 30.5	est. 1 junio		
Desvest 1,68		Desvest 1,7			

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

	1991		1992		1993
PROM REAL	30.47	PROM REAL	30.46	PROM REAL	29.84
Mínimo 29.0	casi todas est. nov	Mínimo 29.0	varias est. sep-nov.	Mínimo 27.1	est. 13 nov.
Máximo 32.0	est. 6, julio	Máximo 32.0	est. 1-2 jul-sep	Máximo 32.0	est. 6 oct.
Desvest 0,64		Desvest 0,91		Desvest 1.03	
	1994		1995		
PROM REAL	30.49	PROM REAL	29.77		
Mínimo 28.0	est. 1 y 2 agos	Mínimo 27.4	est. 7 octubre		
Máximo 32.0	est. 2 nov.	Máximo 32	est. 1 y 2 agosto		
Desvest 0.88		Desvest 1.34			

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

Los valores promedio para época de secas son de dos a tres grados mas bajos que para época de lluvias, sin embargo el rango entre el mínimo y máximo para secas es más amplio por lo que las variaciones en la temperatura son mayores alrededor de 8 - 9°C, mientras que en lluvias la variación es entre 4 y 5°C y desde mayo a noviembre se les considera los meses mas cálidos (Fig. 95; Cuadro XXXVII).

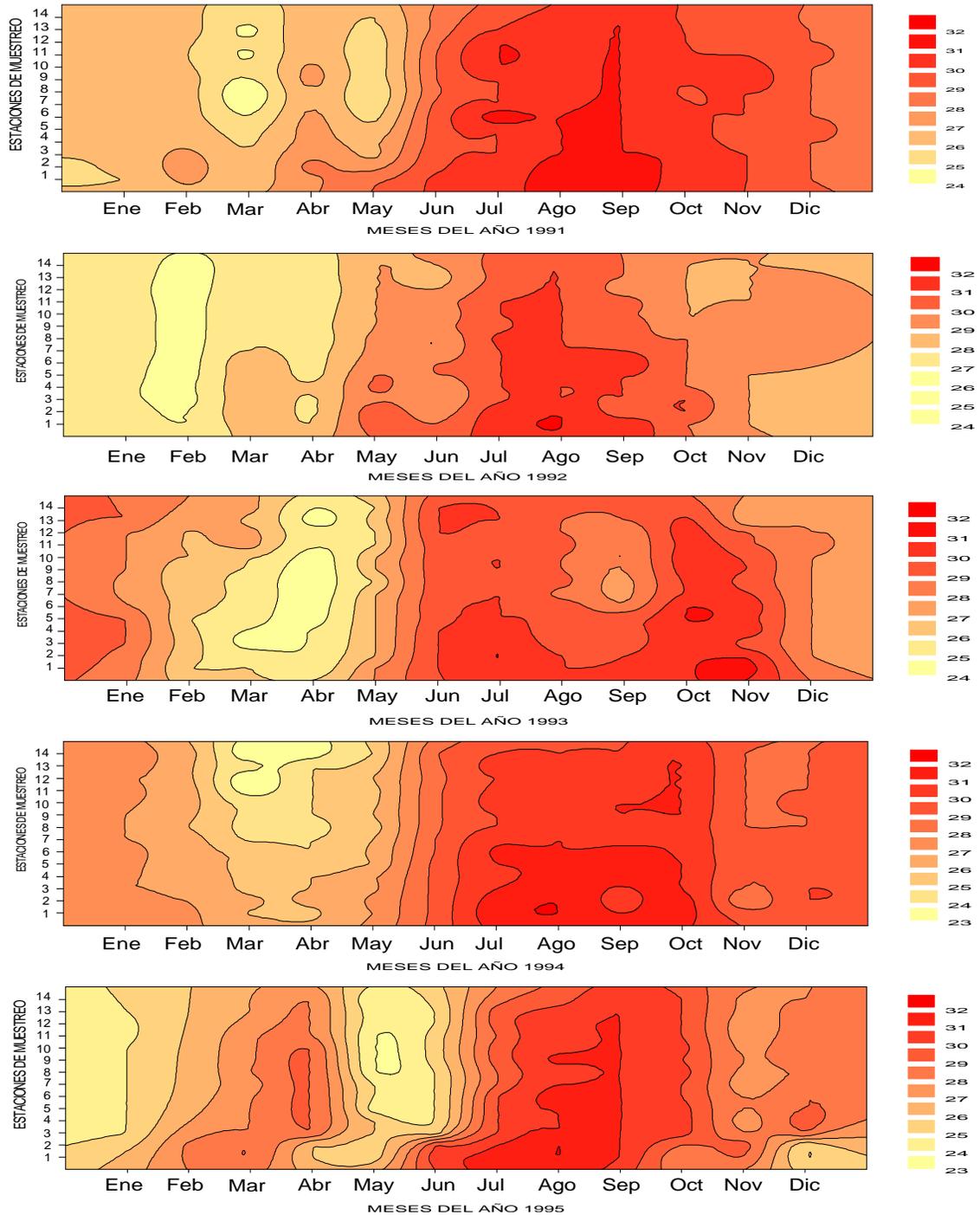
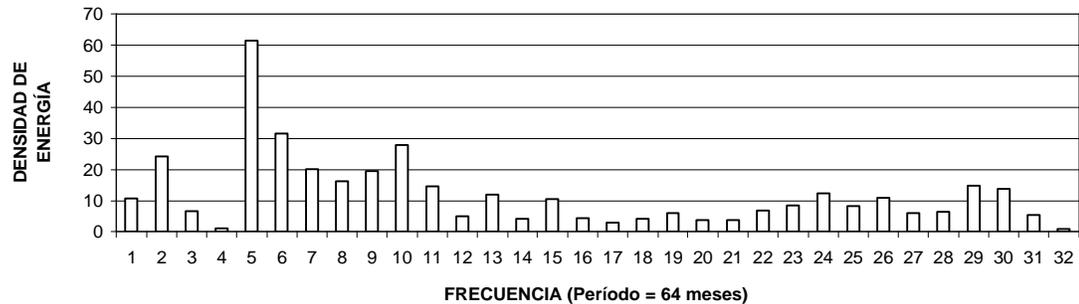


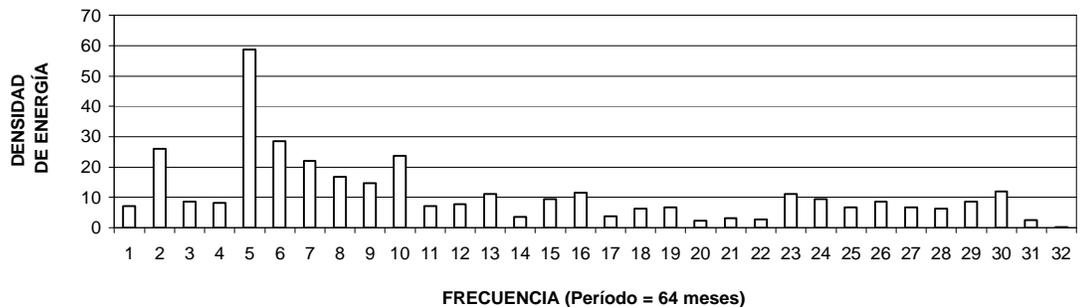
Figura 95.- Temperatura superficial (°C) en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

## b) Fondo

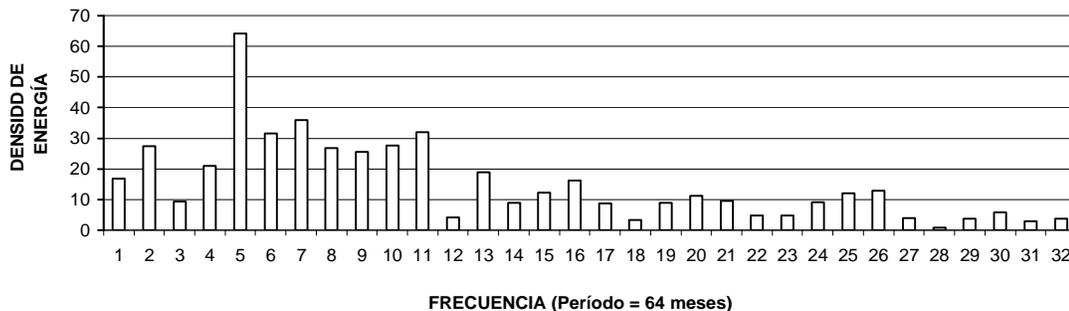
El comportamiento de la temperatura en fondo y de acuerdo con las zonas formadas por el índice de similitud, el análisis de Fourier muestra la formación de un ciclo que corresponde a la época de secas y lluvias cuyo período fue de  $64/5 = 13$  meses para toda el área de estudio, y hay un ciclo de menor intensidad de frecuencia 10 que corresponde a un período de  $64/10 = 6$  meses aproximadamente en el Puerto Interior, la Dársena y la zona costera pero que no se presenta ni en el centro ni fuera de la bahía, lo que indica que esta zona se puede ver mas influenciada por las masas de agua externas con características oceanográficas propias de la región exterior y procedentes de la corriente norecuatorial, o de la corriente de California que deja sentir su influencia al registrarse valores mínimos de  $19^{\circ}\text{C}$  para esta zona en marzo y abril. Los promedios fluctuaron entre  $27.32^{\circ}\text{C}$  en 1994 y  $28.31^{\circ}\text{C}$  en 1991. con un mínimo de  $19^{\circ}\text{C}$  en el centro y fuera de la Bahía y máximo en el Puerto Interior con  $32^{\circ}\text{C}$  (Figs. 96 y 97, Cuadros XIV y XXXVIII).



Puerto Interior est. 1 y 2.



Puerto Interior, Dársena y zona costera est. 3-12 .



Centro y fuera de la bahía, est. 13 y 14.

Figura 96.- Temperatura en fondo durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

En la Fig. 97 se observa el comportamiento ciclo de este parámetro a lo largo de los 5 años de estudio. Los promedios de la temperatura en fondo para época de secas vario de 26.01°C en 1991 a 27.47°C en 1992 con un rango de de 2°C, mientras que para lluvias éstos fluctuaron entre 29.22°C en 1995 a 30.18°C en 1994, también con el mismo rango de 2°C de variación (Fig. 98; Cuadro XXXVIII).

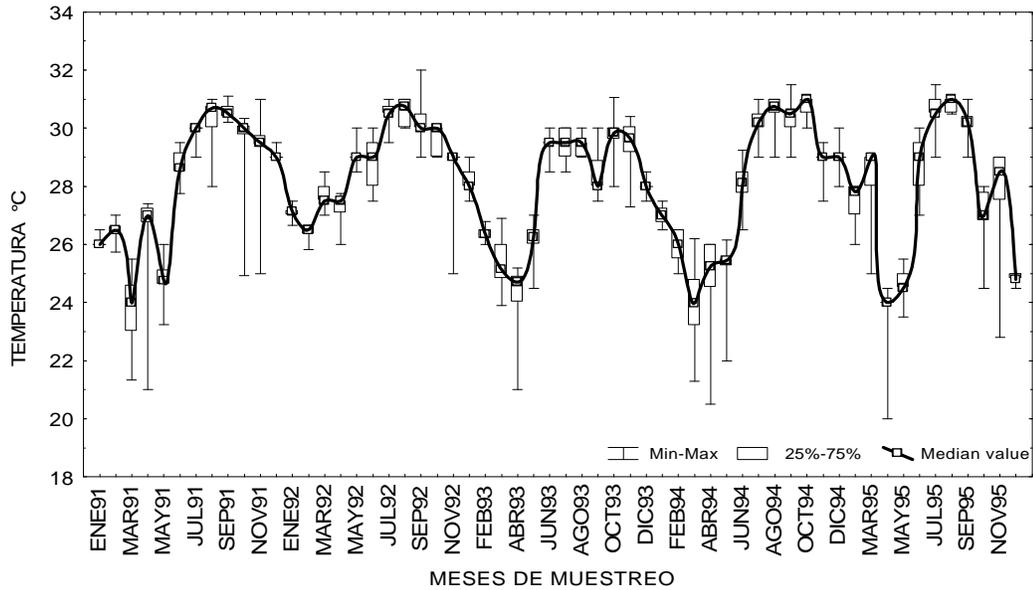


Figura 97.- Comportamiento de la temperatura en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

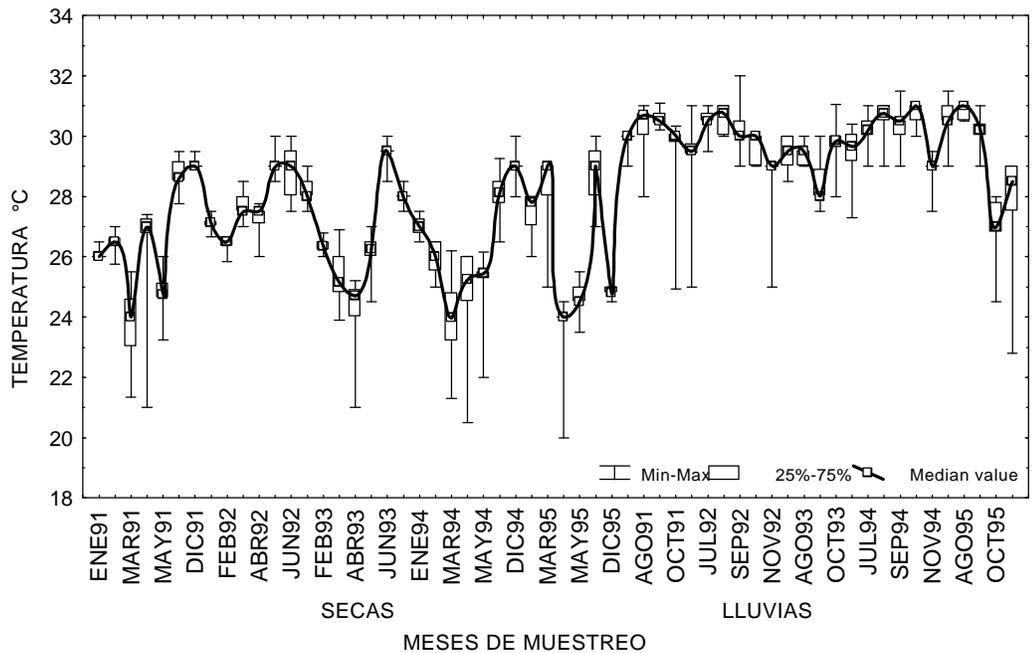


Figura 98.- Comportamiento de la temperatura en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Para la época de lluvias los valores mínimos de 22.8°C se registraron en el centro y fuera de la bahía (est. 13 y 14) en 1991 y 1995 con máximos de 32°C en el Puerto Interior y Dársena durante los meses de julio, agosto y septiembre mientras que para época de secas se observa el mínimo con 19°C en el centro y fuera de la bahía en marzo y abril; y el máximo de 30.75°C en el interior del Puerto Interior. Las mínimas temperaturas se presentan en época de secas en primavera y las máximas en época de lluvias en verano. (Fig. 98; Cuadro XXXVIII)

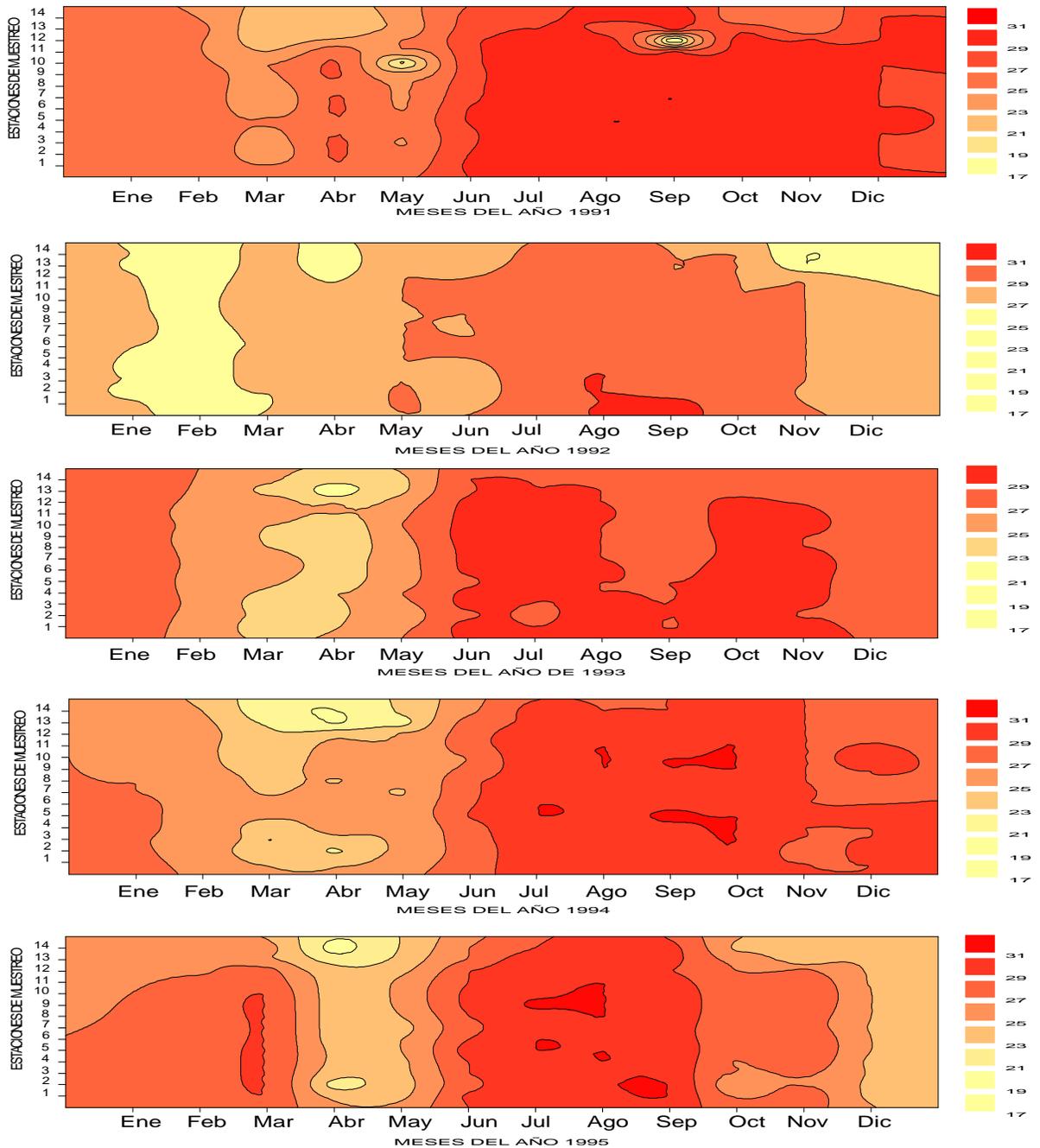


Figura 99.- Temperatura (°C) en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

La figura 99 muestra el comportamiento de la temperatura en fondo en los años de muestreo en las diferentes zonas observándose que los valores más altos se registraron en julio, agosto y septiembre en toda el área de estudio, mientras que en marzo, abril y mayo se registran los valores más bajos algunas veces en toda el área de estudio y otras solo en la zona costera, centro y fuera de la bahía.

**CUADRO XXXVIII.**- Estadística básica de la temperatura en fondo (°C).

**PROMEDIO TOTAL**

		<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>	
PROM. REAL		27.50	PROM. REAL	28.31	PROM. REAL	28.11	
Mínima 19.00	est. 13-14 marzo	Mínima 25.	est. 13-14 noviembre	Mínima 21.0	est. 13 abril		
Máxima 31.7	est. 7 septiembre	Máxima 32	est. 1 septiembre	Máxima 31.5	est. 5 y 9 octubre		
Desvest 2.75		Desvest 1.6		Desvest 1,94			
		<b>1994</b>		<b>1995</b>			
PROM. REAL		27.32	PROM. REAL	27.63			
Mínima 20.4	est.13 marzo-abril	Mínima 20	est 14 abril				
Máxima 31.00	varias est.jul-oct.	Máximo 31	varias est.jul-oct				
Desvest 2.52		Desvest 2.52					

**ÉPOCA DE SECAS**

		<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>	
PROM. REAL		26.01	PROM REAL	27.47	PROM. REAL	27.15	
Mínima 19.00	est. 13 -14 marzo	Mínima 25.5	est. 14 abril	Mínima 21.0	est. 13 abril		
Máxima 30.2	est. 5 junio	Máxima 30.0	est. 1-2, 4-6,11 may-jun	Máxima 30.5	est 3 y 9 Junio		
Desvest 2.31		Desvest 1.11		Desvest 1.96			
		<b>1994</b>		<b>1995</b>			
PROM REAL		26.21	PROM REAL	26.30			
Mínima 20.4	est. 13 marzo-abril	Mínima 20.0	est 14 abril				
Máxima30.5	est. 5 junio	Máximo 29.5	est. 1, 9-10 junio				
Desvest 2,04		Desvest 2,21					

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

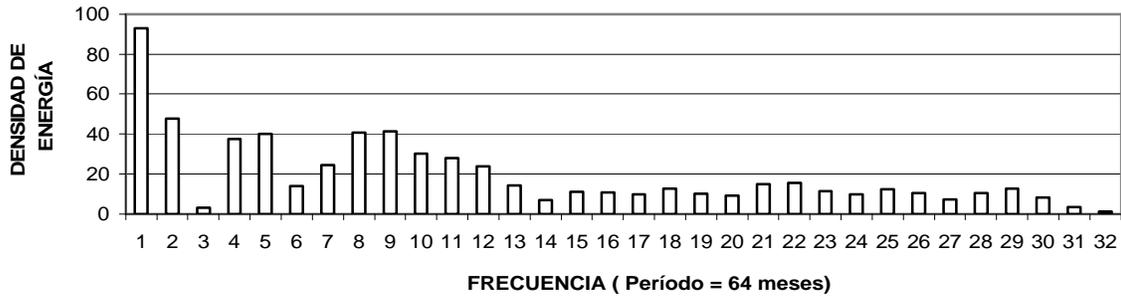
		<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>	
PROM. REAL		29.87	PROM. REAL	29.93	PROM. REAL	29.41	
Mínimo 22.8	est. 14 octubre	Mínimo 25	est. 13-14 nov	Mínimo 26.4	est. 13, octubre		
Máximo 31.7	est. 7 septiembre	Máximo 32	est 1 septiembre	Máximo 31.5	est. 5 y 9 octubre		
Desvest 1.39		Desvest 1.09		Desvest 0.86			
		<b>1994</b>		<b>1995</b>			
PROM. REAL		30.18	PROM. REAL	29.22			
Mínimo 27.5	est. 2 noviembre	Mínimo 22.8	est. 13 noviembre				
Máximo 31.0	varias est.jul-oct.	Máximo 31.5	est. 9 julio.				
Desvest 0.82		Desvest 1.88					

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

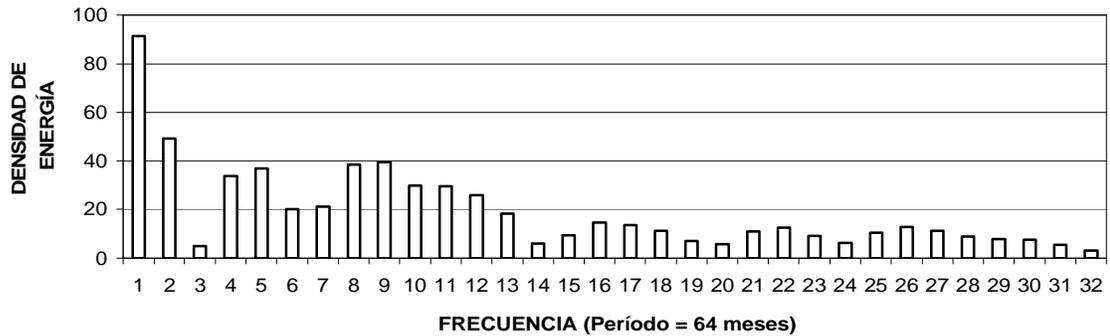
### 4.2.2.6 pH

#### a) Superficial

El análisis de Fourier para las dos regiones formadas por el índice de similitud muestra que hay dos discretas formaciones cíclicas que corresponderían al igual que en la temperatura a la época de secas y lluvias con una frecuencia de 5 que corresponde a un período de  $64/5 = 13$  meses y la otra con un período de  $64/9 = 7$  meses aproximadamente, que podría corresponder a las estaciones del año (primavera-invierno), aunque no está muy claramente definido este comportamiento debido probablemente a que los muestreos no fueron muy regulares y hay ausencia de datos (Fig. 100).



Puerto Interior est. 1 y 2.



Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía est 3-14.

Figura 100.- pH en superficie durante 1991-1995, (análisis de Fourier).

El valor mas bajo de 7.4 para del potencial de hidrógeno se registró en octubre de 1993 en el Puerto Interior y el máximo de 8.8 en septiembre en la playa El Viejo. Los valores promedios anuales variaron de de 8.11 para 1991, 7.97 para 1992, 7.98 en 1993, 8.15 en 1994 y 8.04 en 1995, el promedio anual fue de 8.05 y la variación entre los promedios fue de 0.07 (Fig. 101; Cuadros XVIII y XXXIX).

Como se observó los valores promedios calculados variaron ligeramente de 7.96 a 8.15 para secas y de 7.96 a 8.10 para lluvias, se presentó el valor mínimo de 7.46 en 1995 en el Puerto Interior y el máximo de 8.8 en 1991 en secas En lluvias en la playa El Viejo en 1994 en septiembre se determino el máximo con 8.8, mientras que el mínimo de 7.42 en el Puerto Interior en 1993. El promedio total para secas fue de 8.08 y para lluvias de 8.01 (Fig. 102; Cuadro XXXIX).

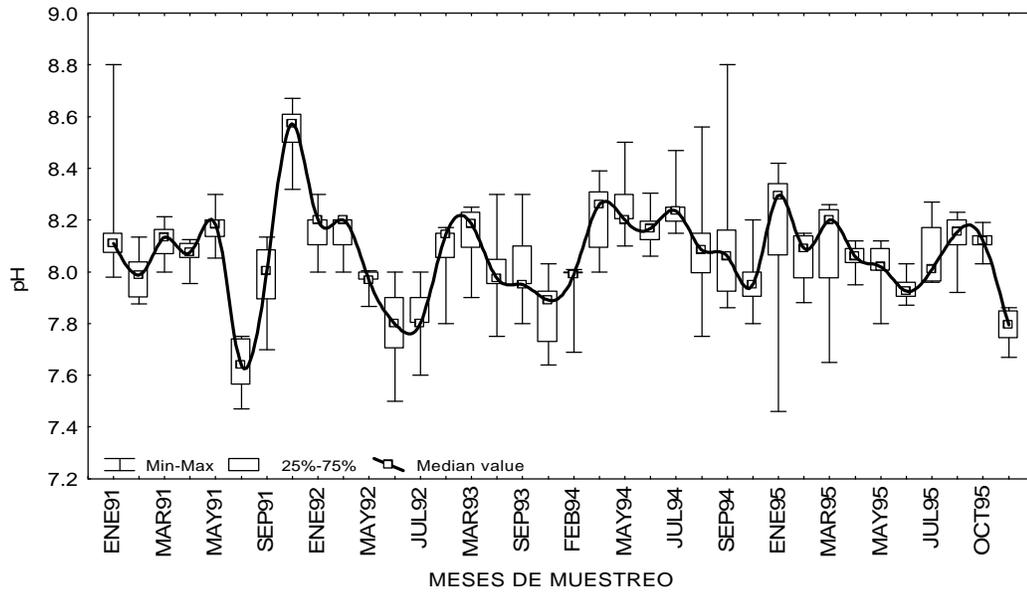


Figura 101.- Comportamiento del pH en superficie durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

El comportamiento a través de los años no obedece ningún patrón natural establecido para las diferentes regiones ya que mientras en 1991 en la zona costera y 1992 prácticamente en toda el área de estudio excepto en junio y julio, los valores más altos se registraron en noviembre y diciembre, mientras que en 1993, 1994 y 1995 se determinaron los valores más bajos para noviembre y diciembre en el Puerto Interior y Dársena (Fig. 103).

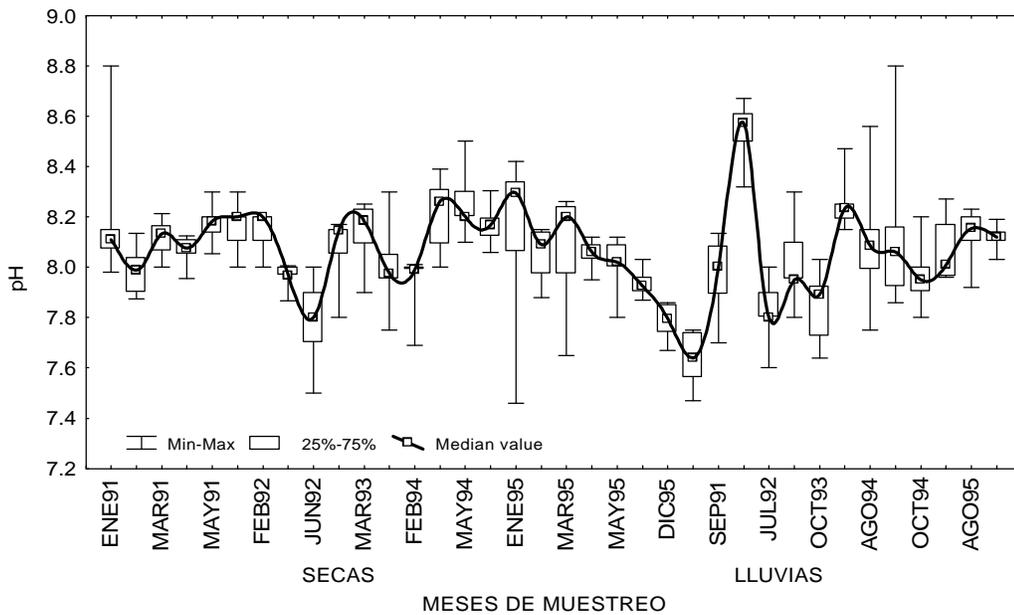


Figura 102.- Comportamiento del pH en superficie en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

**CUADRO XXXIX.- Estadística básica del pH en superficie**

**PROMEDIO TOTAL**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	8.11	7.97	7.98
Mínimo 7.47 est4 agosto	Mínimo 7.5	est. 3 junio	Mínimo 7.4 est. 3 y 4 octubre
Máxima 8.8 est 2 enero	Máximo 8.3	est. 13 enero	Máximo 8.3 est.12 mar 1 y 9 abril
Desvest 0.24	Desvest. 0.16	Desvest 0.21	
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	
PROM REAL	8.15	8.04	
Mínimo 7.75 est. 6 agosto	Mínimo 7.46	est. 1 enero	
Máximo 8.8 est. 8 sept	Máximo 8.42	est. 8 enero	
Desvest 0.17	Desvest. 0.16		

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	8.15	7.82	7.87
Mínimo 7.47 est 4 agosto	Mínimo 7.6	est 7 julio	Mínimo 7.42 est. 3 y 4 octubre
Máximo 8.68 est. 4,5,10 y 11 octubre	Máximo 8.0	est. 6 julio	Máximo 8.3 est. 5 sept
Desvest. 0.14	Desvest. 0.16	Desvest. 0.14	
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	
PROM REAL	8.1	8.10	
Mínimo 7.75 est. 6 agosto	Mínimo 7.92	est. 2 agosto	
Máximo 8.8 est. 8 septiembre	Máximo 8.27	est. 2 julio	
Desvest. 0.11	Desvest0.18		

**ÉPOCA DE SECAS**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	8.10	7.99	8.07
Mínimo 7.73 est, 6 marzo	Mínimo 7.5	est. 3 junio	Mínimo 7.75 est. 3 abril
Máximo 8.8 est. 2 febrero	Máximo 8.3	est. 12 enero	Máximo 8.3 est. 8 abril
Desvest. 0.39	Desvest. 0.11	Desvest 0.23	
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	
PROM REAL	8.19	8.02	
Mínimo 7.9 est. 4 junio	Mínima 7.46	est. 1 enero	
Máximo 8.5 est. 1 mayo	Máxima 8.42	est. 8 enero	
Desvest. 0.2	Desvest. 0.09		

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

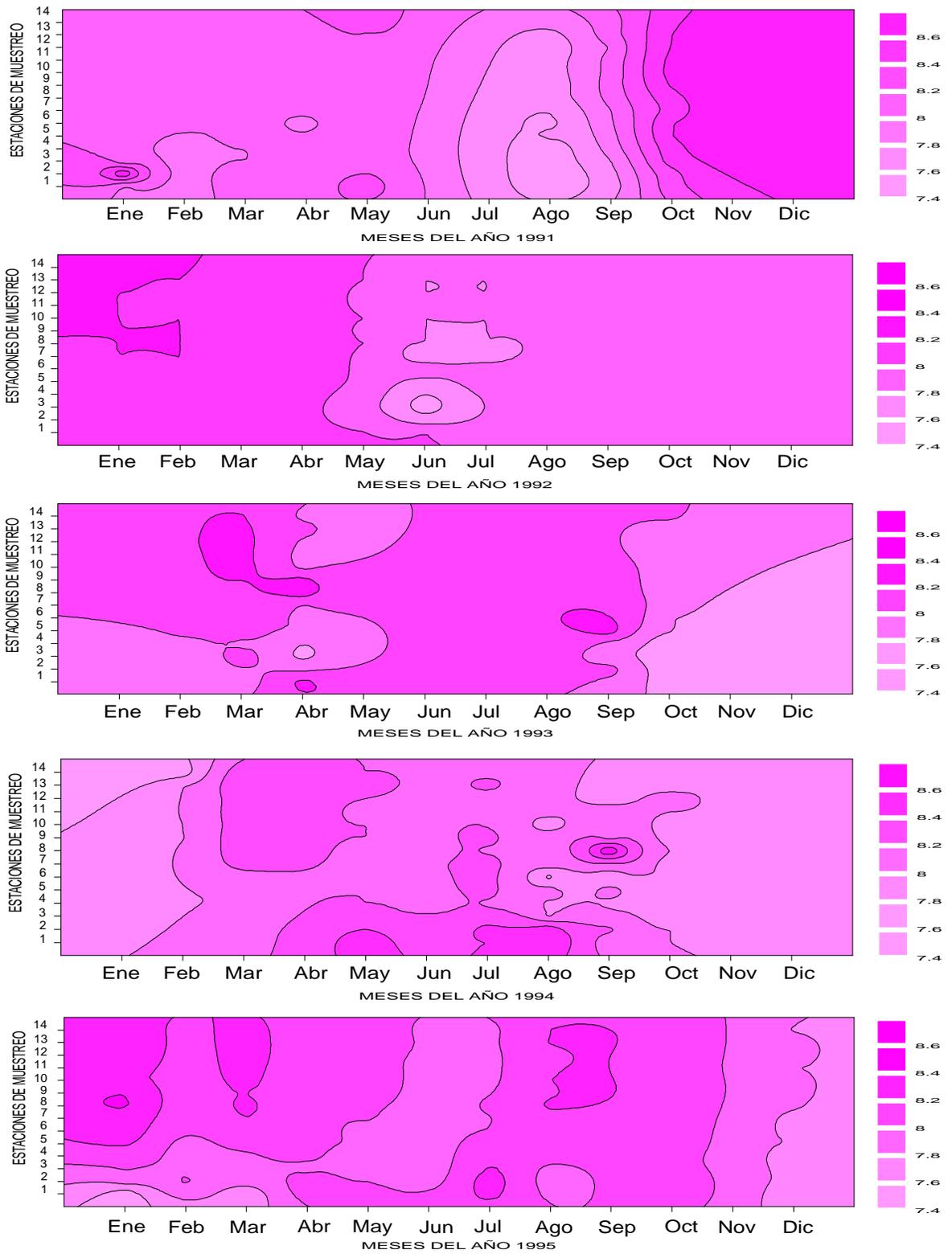


Figura 103.- pH en superficie en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

## b) Fondo

En las cinco zonas que se forman para el índice de similitud, el análisis de Fourier se esbozaron dos ciclos que están determinados en forma natural aunque no están claramente definidos. El primero de un período de  $64/5 = 13$  meses que corresponde a un ciclo anual y el segundo de período de  $64/8 = 8$  meses para el Puerto Interior, Dársena y zona costera, mientras que en el centro y fuera de la bahía no se detectaron señales cíclicas (Fig. 104).

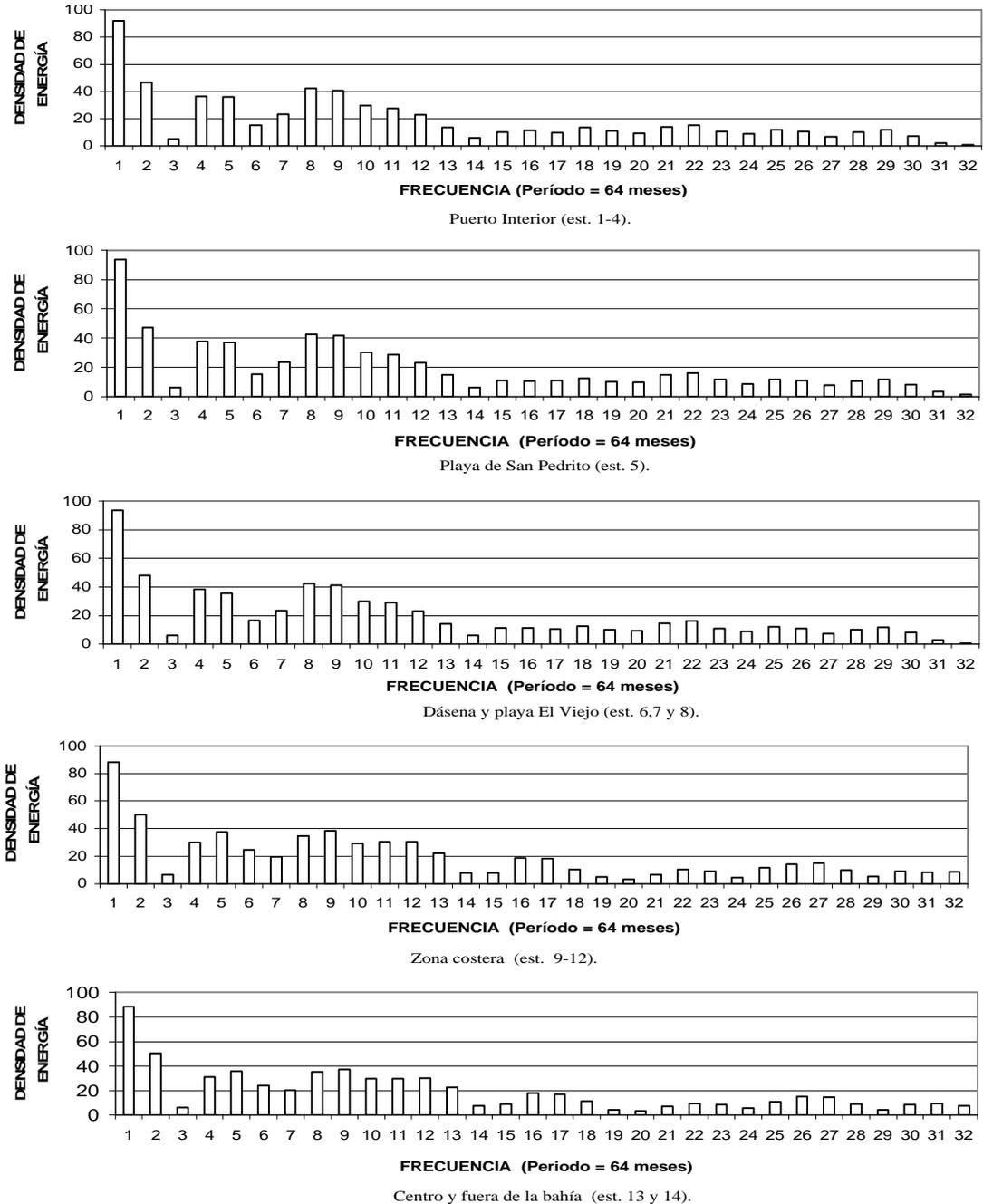


Figura 104.- pH en fondo durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Los valores más bajos del potencial de hidrógeno en fondo se determinaron en la Dársena frente a la descarga de aguas residuales en 1992 con 7.3 en junio y julio y de 7.38 en el Puerto Interior en octubre de 1993, mientras que los más altos 8.84 y 8.8 en el centro y fuera de la bahía y en la playa El Viejo en 1991 y 1995 respectivamente. Los promedios fluctuaron entre 7.9 a 8.08 y no se observa algún comportamiento cíclico (Figs. 105 y 106; Cuadro XL).

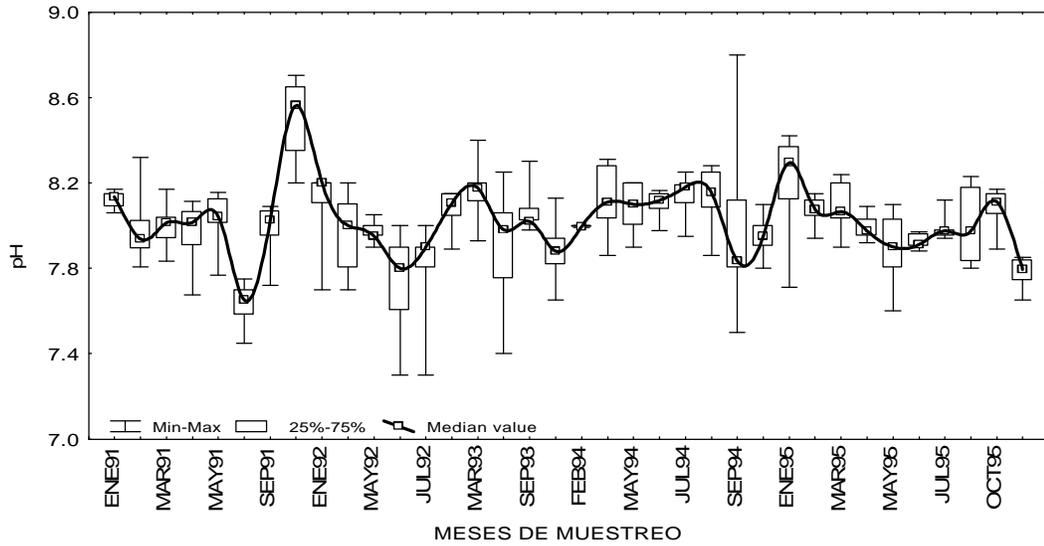


Figura 105.- Comportamiento del pH en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

En época de secas se encontró un mínimo de 7.3 en 1992 en la Dársena y el máximo de 8.42 en el Puerto Interior en marzo de 1993. Se observa que el pH promedio es ligeramente más alto en lluvias que en secas con una leve variación de 0.03 y los intervalos promedios fluctuaron entre 7.94 a 8.11 (Figs. 105 y 106; Cuadro, XL).

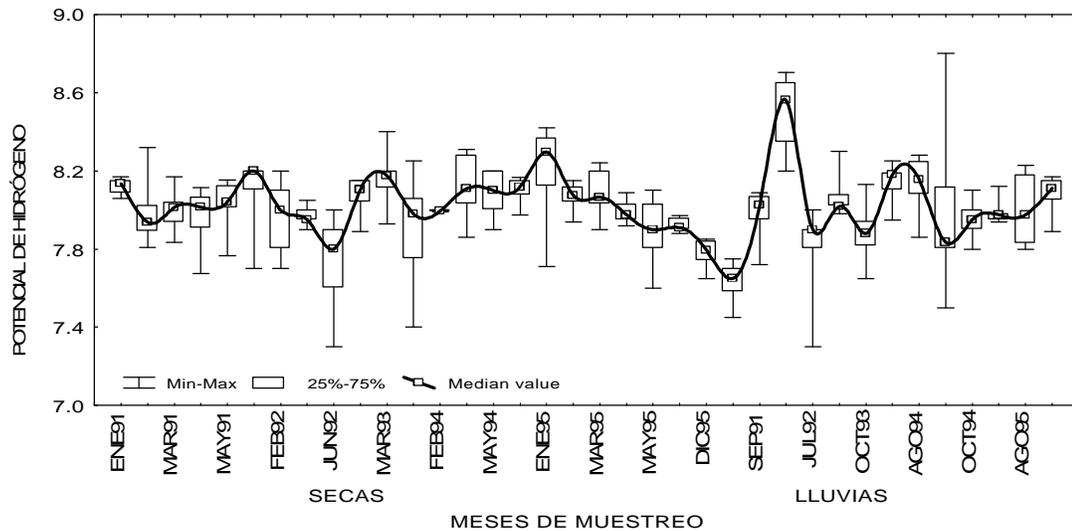


Figura 106.- Comportamiento del pH en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

También se observa un ligero aumento en este parámetro para lluvias de 8.01 a 8.03, y los valores ligeramente más bajos que en superficie. (Cuadros XVIII y XX). Los valores mínimos de 7.3 y 7.38 se determinaron en la Dársena y en el Puerto Interior en julio y agosto de 1992 y 1993, respectivamente y tanto el máximo en lluvias de 8.8 en la playa El Viejo y en el centro de la bahía. En forma anual los promedios mas bajos registraron en lluvias entre 7.83 y 8.13 con una amplitud mayor entre los valores encontrados, posiblemente se debieron al aporte de materia orgánica y sus procesos de óxido reducción acarreados por los escurrimientos en dicha época (Figs. 105 y 106; Cuadro XL).

**CUADRO XL.- Estadística básica del pH en fondo.**

**PROMEDIOS TOTALES ANUALES**

	1991		1992		1993
PROM REAL	8.03	PROM REAL	7.932	PROM REAL	7.98
Mínimo 7.45	est. 1 agosto	Mínimo 7.3	est 5 junio y julio	Mínimo 7.38	est. 1 octubre
Máximo 8.84	est. 13 y 14 oct.	Máximo 8.2	mayoría ests. enero	Máximo 8.40	est. 4 marzo
Desvest. 0.26		Desvest. 0.19		Desvest. 0.23	
	1994		1995		
PROM REAL	8.08	PROM REAL	8.00		
Mínimo 7.5	est. 1 septiembre	Mínimo 7.6	est. 7 mayo		
Máximo 8.8	est, 8 septiembre	Máximo 8.42	est. 8 enero		
Desvest 0.16		Desvest. 0.16			

**ÉPOCA DE SECAS**

	1991		1992		1993
PROM REAL	7.99	PROM REAL	7.94	PROM REAL	8.08
Mínimo 7.51	est. 1 mayo	Mínimo 7,3	est. 6 junio	Mínimo 7.4	est. 1 abril
Máximo 8.3	est. 10 mayo	Máxima 8.2	varias est. Enero	Máxima 8.4	est. 4 marzo
Desvest 0.16		Desvest. 0.19		Desvest 0.21	
	1994		1995		
PROM REAL	8.11	PROM REAL	8.00		
Mínimo 7.89	est. 2 marzo	Mínimo 7.6	est 3 mayo		
Máximo 8.31	est. 9 marzo	Máximo 8.42	est.8 enero		
Desvest. 10		Desvest 0.18			

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

	1991		1992		1993
PROM REAL	8.13	PROM REAL	7.83	PROM REAL	7.89
Mínimo 7.45	est. 1 agosto	Mínimo 7.3	est. 6 julio	Mínimo 7.38	est. 1 octubre
Máximo 8.84	est. 13 octubre	Máximo 8	est. 10 y 11 julio	Máximo 8.3	est. 5 septiembre
Desvest. 0.39		Desvest. 0.21		Desvest 0.22	
	1994		1995		
PROM REAL	8.05	PROM REAL	8.02		
Mínimo 7.5	est. 1 septiembre	Mínimo 7.8	est. 1 agosto		
Máximo 8.8	est. 8 septiembre	Máximo 8.23	est. 8 agosto		
Desvest. 0.20		Desvest. 0.11			

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

Analizando las figuras que se forman en la figura 107 se puede observar que los valores más bajos se registraron en noviembre y diciembre de 1992, 1993, 1994 y 1995 y los promedios más altos en los primeros meses del año.

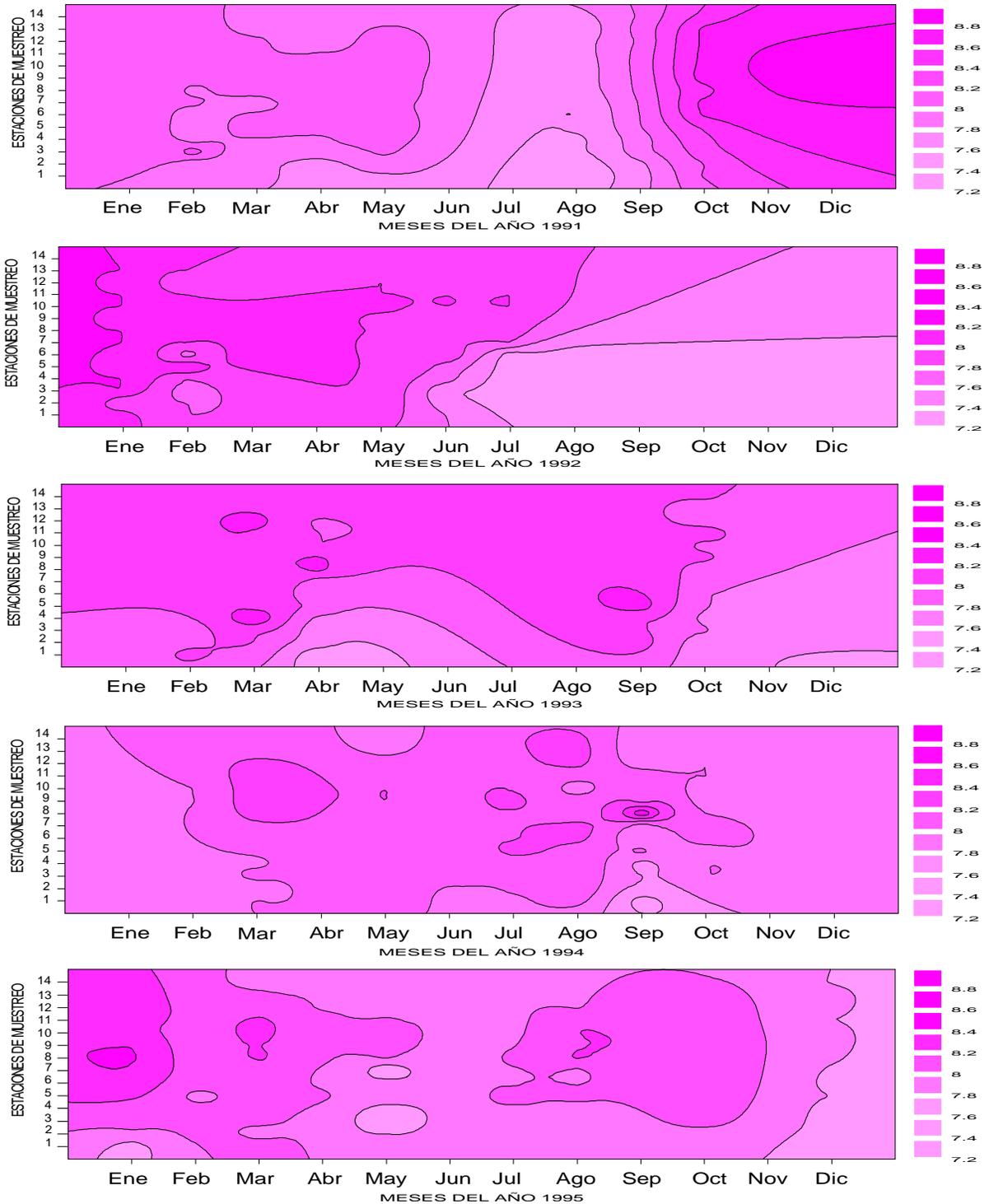
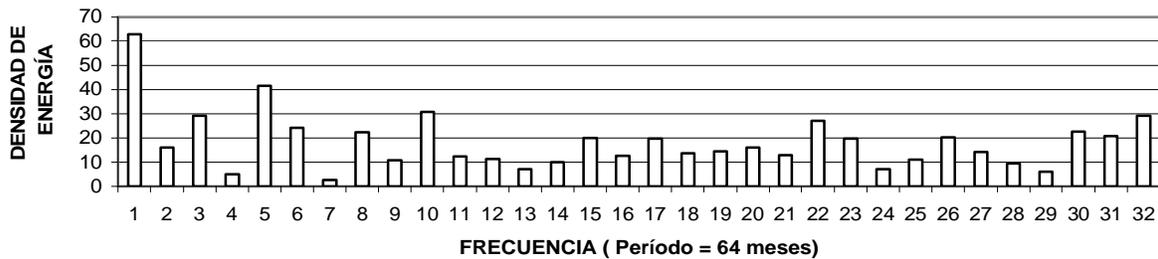


Figura 107.- pH en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

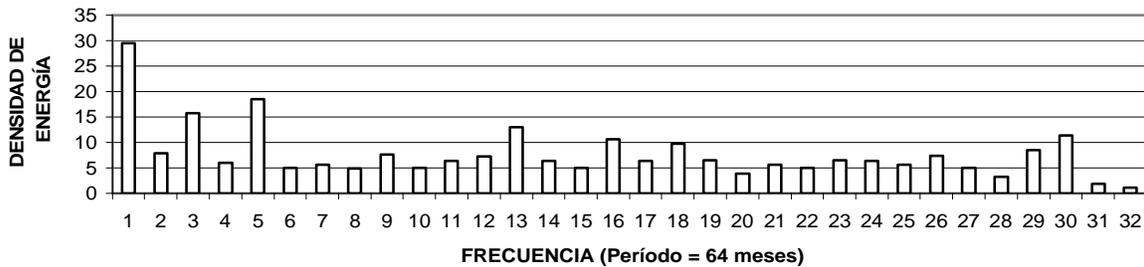
## 4.2.2.7 Oxígeno disuelto

### a) Superficial

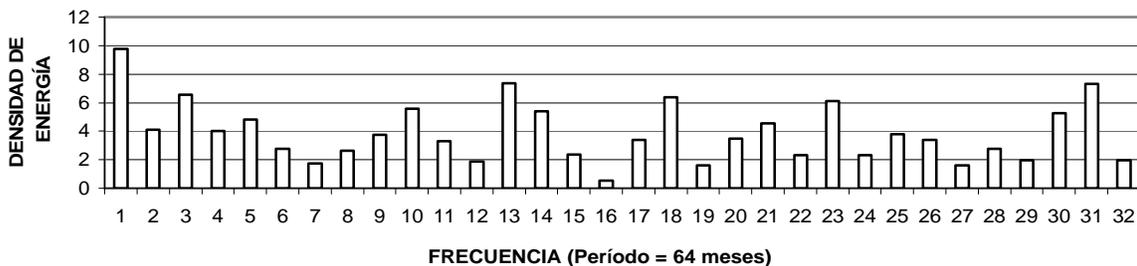
El oxígeno superficial en las dos primeras zonas formadas por Índice de Similitud presenta un comportamiento cíclico que corresponde a un ciclo anual con época de secas y lluvias con un período de  $64/5 = 13$  meses aproximadamente (en el Puerto Interior y en la Dársena), mientras que en la tercera zona que corresponde a la zona costera, centro y fuera de la bahía los valores de oxígeno no muestran un comportamiento cíclico posiblemente debido a las corrientes, vientos y movimiento de las masas de agua que se presentan en estas zonas, de acuerdo al análisis de Fourier (Fig. 108).



Puerto Interior (est. 1 y 2).



Puerto Interior (est. 3-4).



Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 5-14).

Figura 108.- Oxígeno disuelto en superficie durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

En el comportamiento del oxígeno superficial no se aprecia una variación marcada a través de los años. Los valores promedio más altos se registraron en 1994 con 7.2mg/L y en 1993 con 6.8 mg/L, mientras que los promedios más bajos en 1991 con 6.3 mg/L y 1992 con 6.3 mg/L. El promedio total fue de 6.62 mg/L para todos los muestreos y los valores máximos se registraron en mayo y junio en el Puerto Interior en 1991 y 1995. Cabe mencionar que se encontraron valores por

arriba del punto de saturación y sobresaturación en forma continua a través de los años de muestreo y probablemente hubo interferencia en el método (Winckler modificado), debido a la presencia de gran cantidad de materia orgánica que se encontraba suspendida en esta zona, y cuyo valor máximo es de entre 9 y 10 mg/L, mientras que el valor más bajo de 0.9 mg/L se registró en marzo de 1991 en la playa de las Hadas y de 1.7 mg/L en abril en el interior del Puerto Interior en 1992 (Fig. 109).

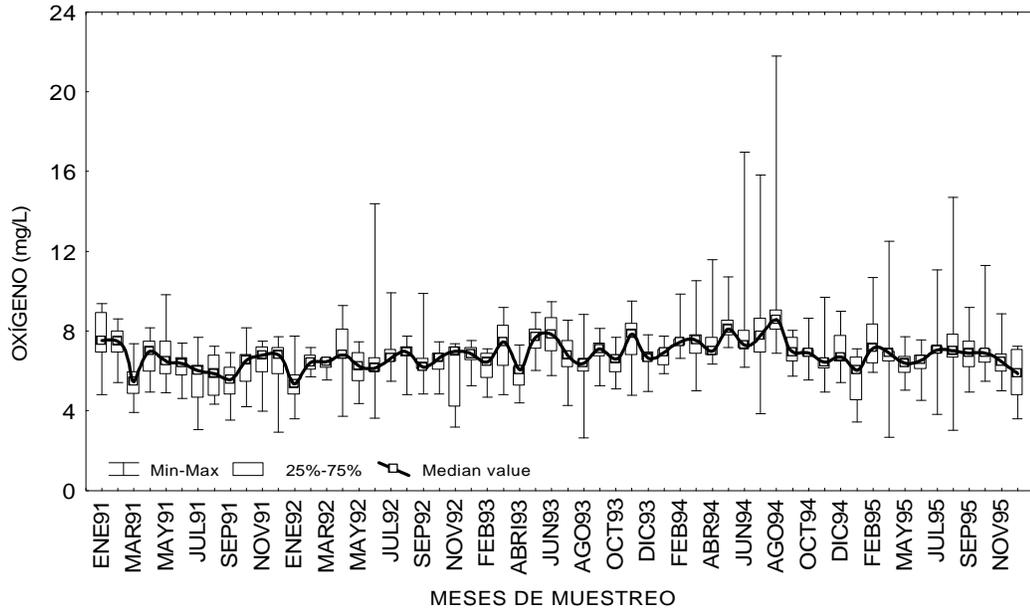


Figura 109.- Comportamiento del oxígeno disuelto en superficie durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

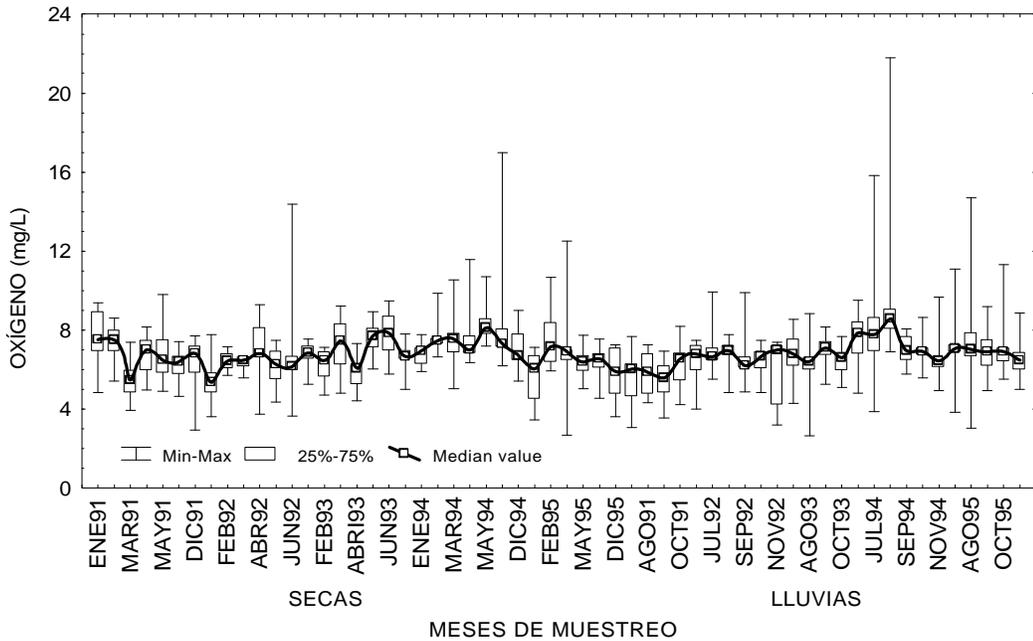


Figura 110.- Comportamiento del oxígeno disuelto en superficie en época de secas y lluvias, durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

En secas el valor máximo fue de 10.5 mg/L en mayo de 1991 y en junio de 1994 con 10.3 mg/L en el Puerto Interior y el mínimo de 0.97 3 mg/L en la zona costera frente a Las Hadas en 1991 ambos valores correspondieron a la época de secas, mientras que el mínimo de 0.97 mg/L y 1.75 mg/L en abril de 1992 también en el Puerto Interior. Los promedios más altos se encontraron en 1994 con 7.23 mg/L. Para la época de lluvias el rango de los valores estuvieron entre 2.63 y 3.85 mg/L en 1993 y 1995 ambos en el Puerto Interior y promedios entre 6.07 a 7.2 mg/L. El promedio total para ambas épocas es ligeramente más alto en secas que en lluvias (6.62 y 6.60 mg/L). La cantidad de oxígeno presente en la columna de agua depende del movimiento de las masas de agua principalmente por corrientes, mareas oleaje y actividad de organismos autótrofos (Fig. 110; Cuadro XLI).

**CUADRO XLI.-** Estadística básica del oxígeno disuelto (mg/L), en superficie.

**PROMEDIOS TOTALES**

	1991	1992	1993
PROM REAL	6.33	6.31	6.80
Mínimo 0.97 est. 12 marzo	Mínimo 1.75 est. 1 abril	Mínimo 2.63 est. 3 agosto	
Máximo 10.5 est. 1 mayo	Máximo 9.88 est. 2 septiembre	Máximo 9.7 est. 11 junio	
Desvest 1.66	Desvest 1.40	Desvest 1.16	
	1994	1995	
PROM REAL	7.23	6.45	
Mínimo 2.82 est. 1 abril	Mínimo 2.68 est. 14 abril		
Máximo 10.3 est. 3 junio	Máximo 9.19 est. 2 septiembre		
Desvest 1.15	Desvest 1.09		

**ÉPOCA DE SECAS**

	1991	1992	1993
PROM REAL	6.55	6.24	6.82
Mínimo 0.97 est. 12 marzo	Mínimo 1.75 est. 1 abril	Mínimo 3.64 est. 3-4 junio	
Máximo 10.51 est. 1 mayo	Máximo 9.81 est. 8 abril	Máxima 9.7 est. 11 junio	
Desvest 1.76	Desvest 1.51	Desvest 1.23	
	1994	1995	
PROM REAL	7.24	6.27	
Mínimo 2.82 est. 1 abril	Mínimo 2.68 est. 14 abril		
Máximo 10.3 est. 1 junio	Máximo 8.56 est. 2 febrero		
Desvest 1.14	Desvest 1.13		

**EPOCA DE LLUVIAS**

	1991	1992	1993
PROM REAL	6.00	6.45	6.8
Mínimo 3.07 est. 4 julio	Mínimo 3.19 est. 4 noviembre	Mínimo 2.63 est. 1 agosto	
Máximo 9.31 est. 10 octubre	Máximo 9.88 est. 2 septiembre	Máximo 9.5 est. 10 noviembre	
Desvest 1.42	Desvest 1.13	Desvest 1.07	
	1994	1995	
PROM REAL	7.20	6.68	
Mínimo 3.85 est. 1 julio	Mínimo 3.03 est. 3 agosto		
Máximo 9.68 est. 1 noviembre	Máximo 9.19 est. 2 septiembre		
Desvest 1.19	Desvest 0.97		

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

Por otro lado no se observa ningún patrón de distribución claramente establecido de este parámetro a lo largo de los años en las distintas regiones, solo un pequeño comportamiento de valores más altos entre los meses de mayo a julio para el Puerto Interior y más bajos en enero también en el Puerto Interior principalmente (Fig. 111).

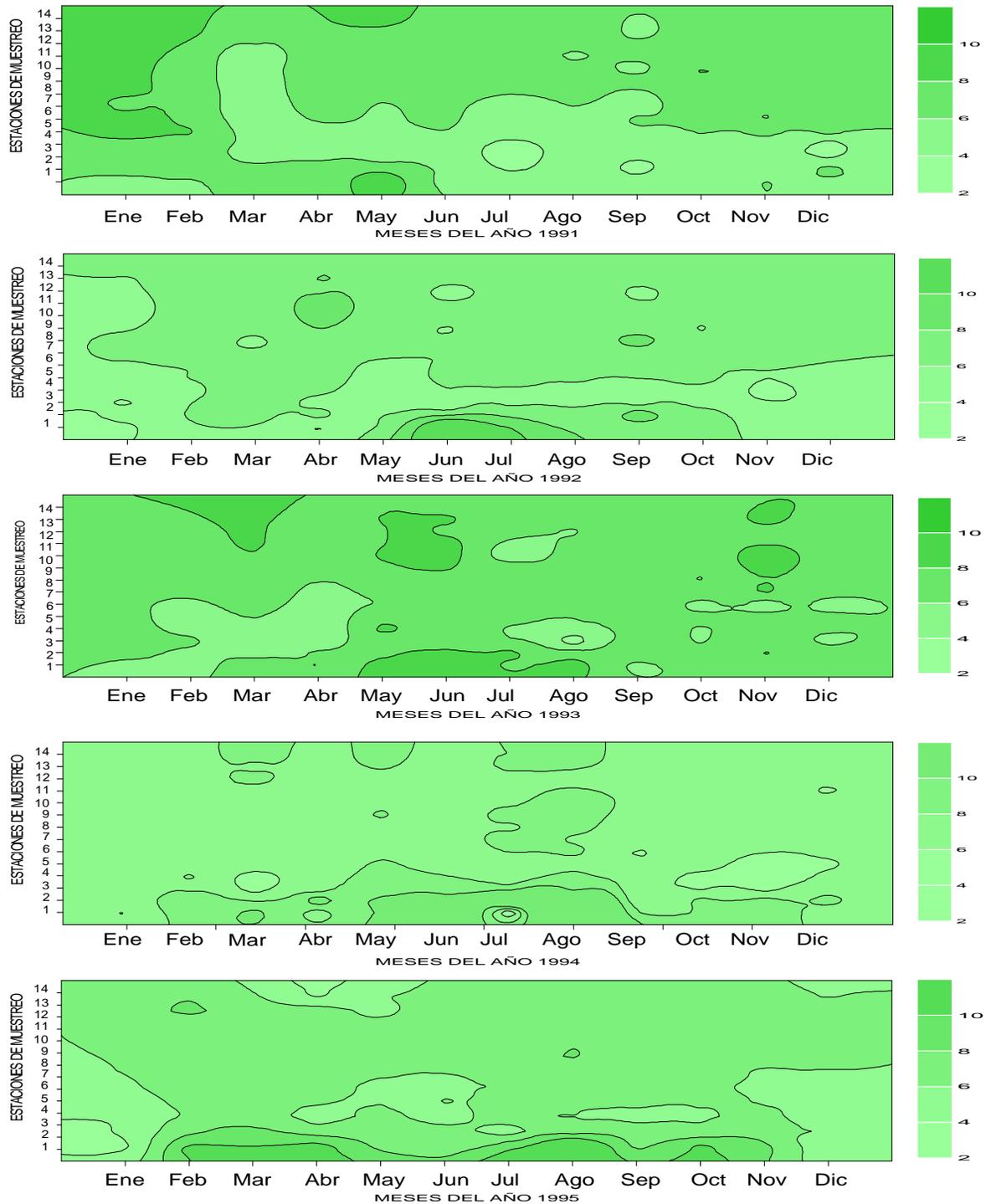
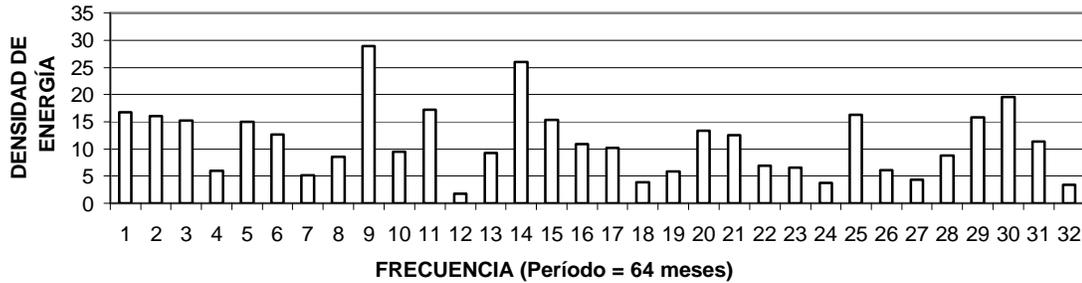


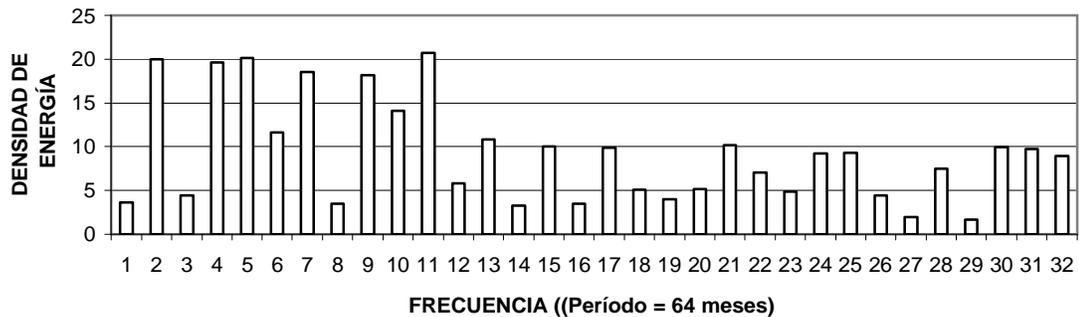
Figura 111.- Oxígeno disuelto (mg/L) en superficie en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

## b) Fondo

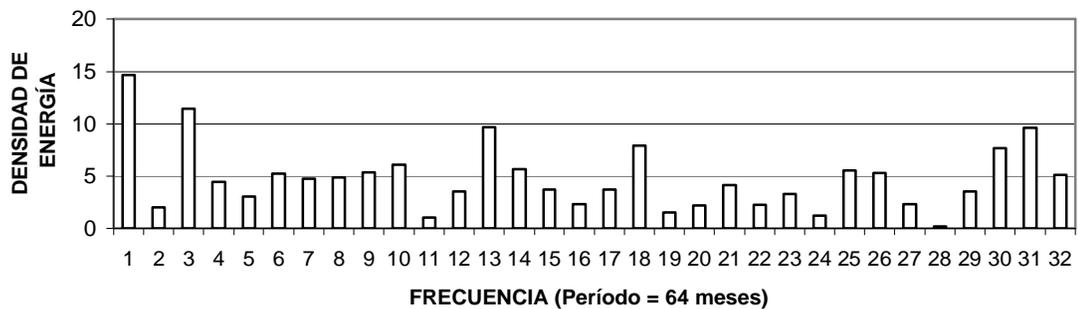
El oxígeno disuelto en fondo no obedece a un comportamiento cíclico en el área de estudio, excepto ligeramente se observa una periodicidad con período de  $64/9 = 7$  meses en el Puerto Interior, de acuerdo a las tres zonas que se formaron para el índice de similitud y que se conservaron para el análisis de Fourier (Fig. 112).



Puerto Interior (est. 1-4).



Centro y fuera de la bahía (est 13 y 14).



Dársena y zona costera (est . 5-12)

Figura 112.- Oxígeno disuelto en fondo durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

Los valores promedio más bajos para el oxígeno disuelto en fondo se determinaron en 1991 y 1995 con 5.47 y 5.92 mg/L respectivamente. La condición anóxica se encontró en 1992 en enero en el Puerto Interior, banda tres y cuatro con un valor de  $< 0.03$  mg/L en 1992, 0.29 mg/L en 1991 y 0.38 mg/L en agosto de 1995 en la parte más interna del Puerto Interior. En general se observa que los promedios más bajos entre 5.43 y 5.91 mg/L se determinaron en 1991 y 1995 en la parte del Puerto Interior, mientras que los promedios más altos en la zona costera con 6.12 y 6.08 mg/L en 1994 y 1993 respectivamente (Cuadro XLII).

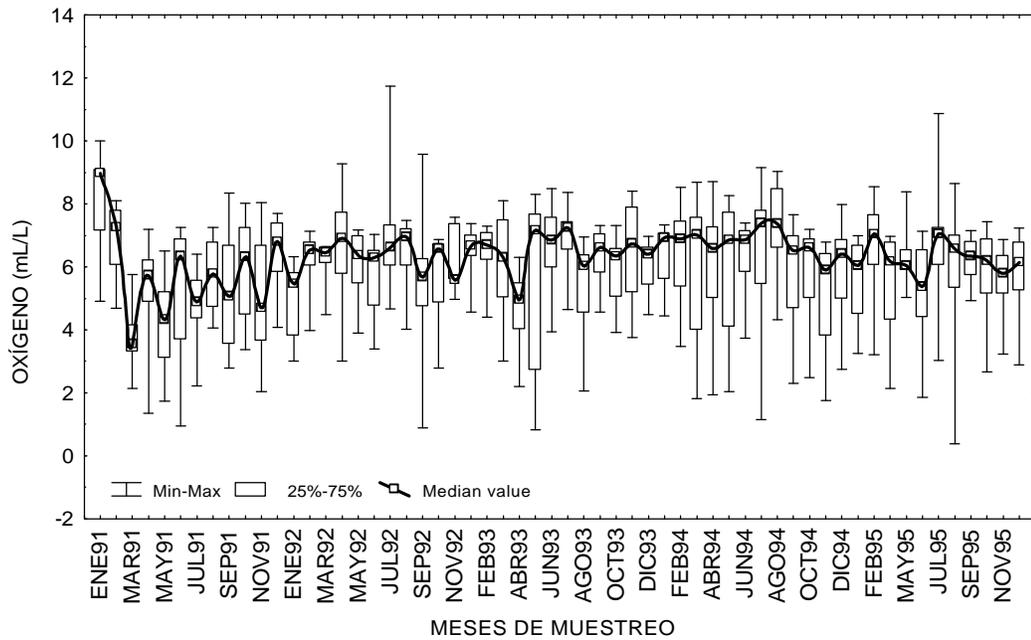


Figura 113.- Comportamiento del oxígeno disuelto en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

En época de secas se presentaron los valores más bajos de oxígeno en comparación con lluvias. Los promedios fluctuaron entre 5.31 y 6.13 mg/L. El promedio para este período fue de 5.84 mg/L (Cuadro XLII).

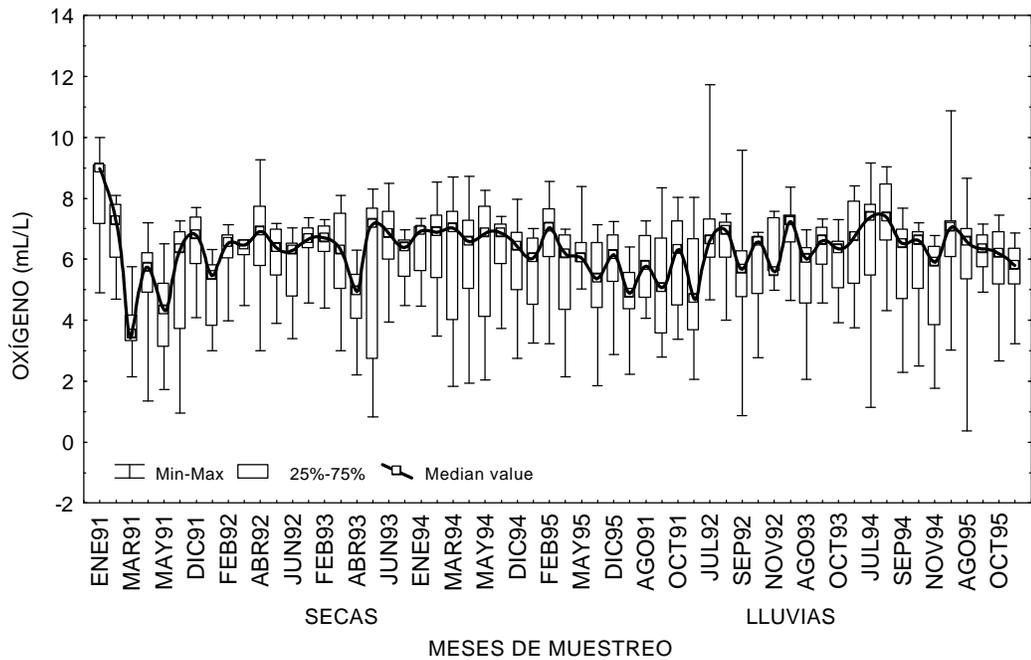


Figura 114.- Comportamiento del oxígeno disuelto en fondo en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

El promedio para lluvias fue de 6.02 mg/L con rangos promedios de 5.64 a 6.17 mg/L, mínimo de 0.38 mg/L en agosto en el Puerto Interior en 1995 y máximo de 9.58 mg/L en la playa El Viejo en septiembre de 1992. El promedio general de este parámetro para lluvias fue de 6.02 mg/L y fue ligeramente más alto que en secas lo que se podría explicar por el acarreo litoral de materia orgánica y mayor movimiento en la columna de agua (Fig. 114; Cuadro XLII). Se observó mayor variabilidad en los valores encontrados en lluvias.

**CUADRO XLII.-** Estadística básica del oxígeno disuelto en fondo (mg/L).

**PROMEDIOS TOTALES**

	<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>
PROM REAL	5.43	PROM REAL	6.06	PROM REAL	6.08
Mínimo 0.29	est. 1 junio	Mínimo <0.03	est. 3 enero	Mínimo 0.83	est. 2 mayo
Máximo 10.42	est. 5 enero	Máximo 9.81	est. 10 abril	Máximo 10.1	est. 1 junio
Desvest 2.04		Desvest 1.55		Desvest 1.54	

	<b>1994</b>		<b>1995</b>
PROM REAL	6.12	PROM REAL.	5.91
Mínimo 0.91	est. 13 abril	Mínimo 0.38	est. 1 agosto
Máximo 9.26	est. 7 marzo	Máximo 8.66	est. 9 agosto
Desvest 1.81		Desvest 1.39	

**ÉPOCA DE SECAS**

	<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>
PROM REAL	5.31	PROM REAL	6.01	PROM REAL	6.03
Mínimo 0.29	est. 1 junio	Mínimo <0.03	est. 3 enero	Mínimo 0.83	est. 2 mayo
Máximo 10.42	est. 5 enero	Máximo 9.81	est. 10 abril	Máximo 10.1	est. 1 junio
Desvest 2.25		Desvest 1.62		Desvest 1.76	

	<b>1994</b>		<b>1995</b>
PROM REAL	6.13	PROM REAL	5.84
Mínimo 0.91	est. 13 abril	Mínimo 1.85	est. 1 junio
Máximo 9.26	est. 7 marzo	Máximo 8.55	est. 7 febrero
Desvest 1.84		Desvest 1.38	

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

	<b>1991</b>		<b>1992</b>		<b>1993</b>
PROM REAL	5.64	PROM REAL	6.16	PROM REAL	6.14
Mínimo 2.05	est. 3 septiembre	Mínimo 0.88	est. 1 septiembre	Mínimo 2.07	est. 3 agosto
Máximo 9.12	est. 10 septiembre	Máximo 9.58	est. 8 septiembre	Máximo 8.4	est. 9 noviembre
Desvest 1.64		Desvest 1.39		Desvest 1.24	

	<b>1994</b>		<b>1995</b>
PROM REAL	6.17	PROM REAL	6.00
Mínimo 1.15	est. 1 julio	Mínimo 0.38	est. 1 agosto
Máximo 9.16	est. 9 julio	Máximo 8.66	est. 9 agosto
Desvest 1.74		Desvest 1.41	

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

En la figura 115, no se observa claramente un comportamiento cíclico anual del oxígeno en fondo, sin embargo se aprecia que los valores más bajos se registraron en los meses de mayo, junio y julio en 1991, en septiembre en 1992 en mayo y agosto en 1993, de mayo a diciembre en 1994 y en marzo-abril y agosto-septiembre en 1995 y los valores más altos no están claramente definidos.

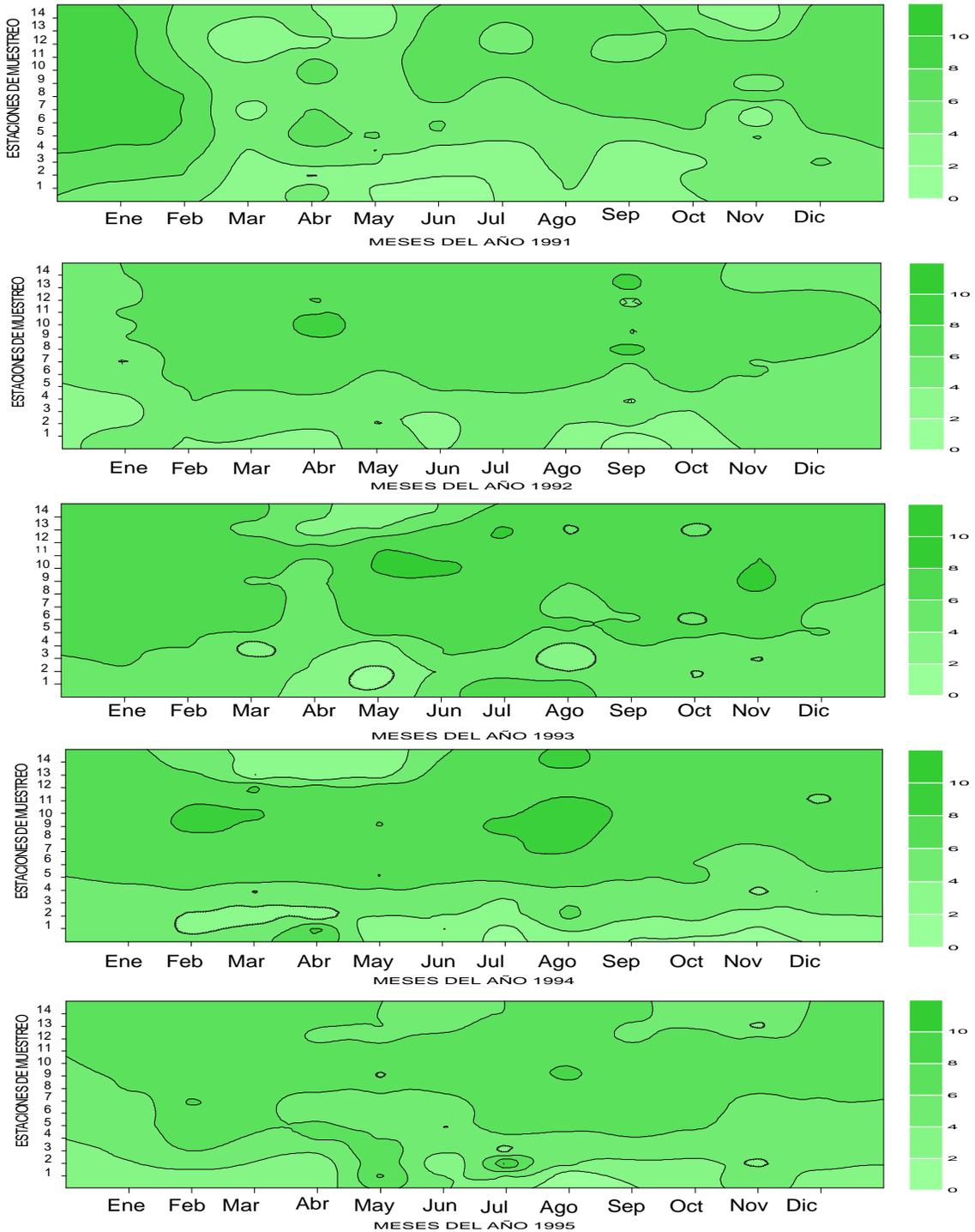


Figura 115.- Oxígeno disuelto (mg/L) en fondo en la Bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

## 4.2.2.8 Demanda bioquímica de oxígeno

### a) Superficial

El análisis de Fourier se aplicó para la demanda bioquímica de oxígeno superficial en las tres áreas que se formaron para el índice de similitud. Se observa que para la primera zona se presenta claramente un comportamiento cíclico que corresponde a un ciclo anual que incluye a las épocas de secas y lluvias; se localiza en la parte más interna del Puerto Interior con período de  $64/5 = 13$  meses aproximadamente. En la segunda zona también se aprecia un comportamiento cíclico que corresponde a un ciclo anual, aunque no está claramente representado y en la zona tres no se observa ningún comportamiento cíclico y ésta corresponde prácticamente a toda el área de estudio (Fig. 116).

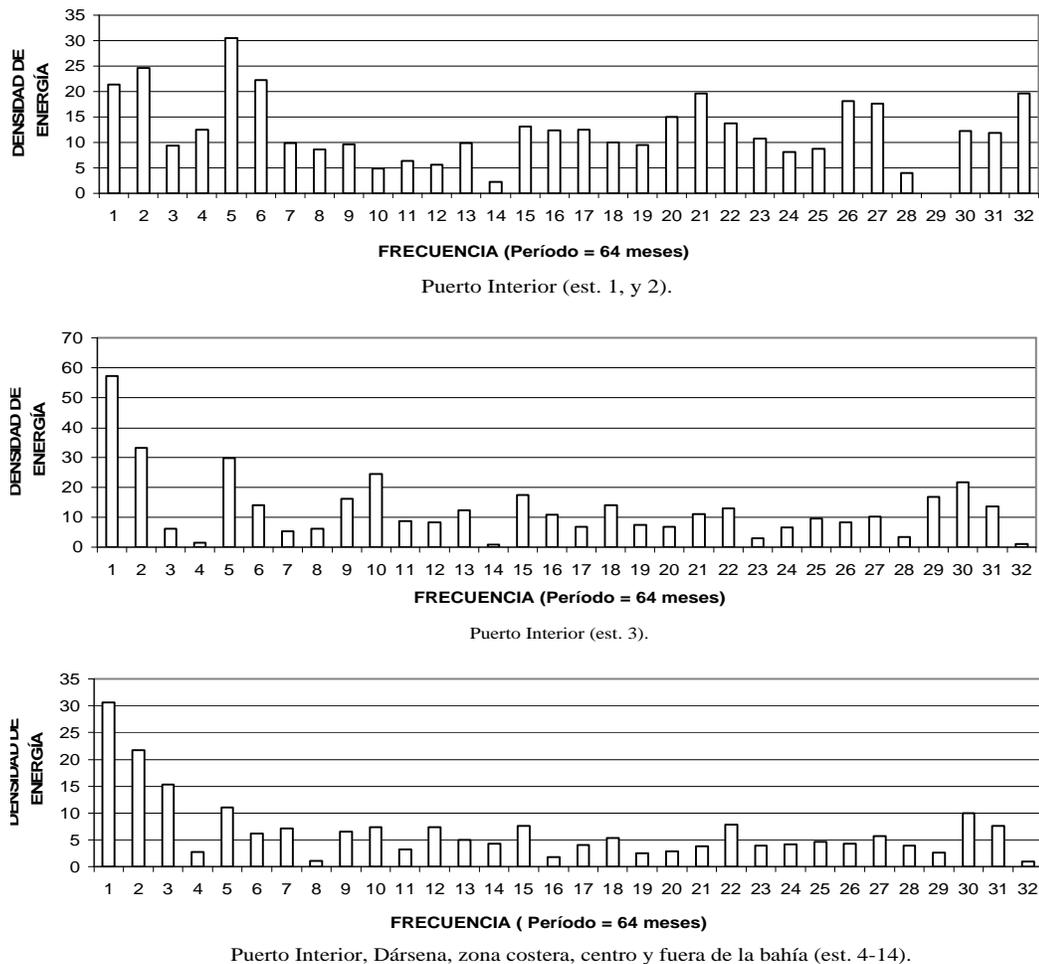


Figura 116.- Demanda bioquímica de oxígeno en superficie durante 1991-1995 (análisis de Fourier).

El promedio más alto de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie fue en 1991 con 4.6 mg/L mientras que en los siguientes cuatro años los promedios fluctuaron entre 2.08 y 2.72 mg/L. Se determinaron valores cercanos a cero prácticamente en todo el tiempo que duró el presente estudio en el centro de la bahía y en la zona costera en forma puntual, mientras que los máximos en la parte más interna del Puerto Interior también durante los 5 años muestreados (Fig. 117; Cuadro XLIII).

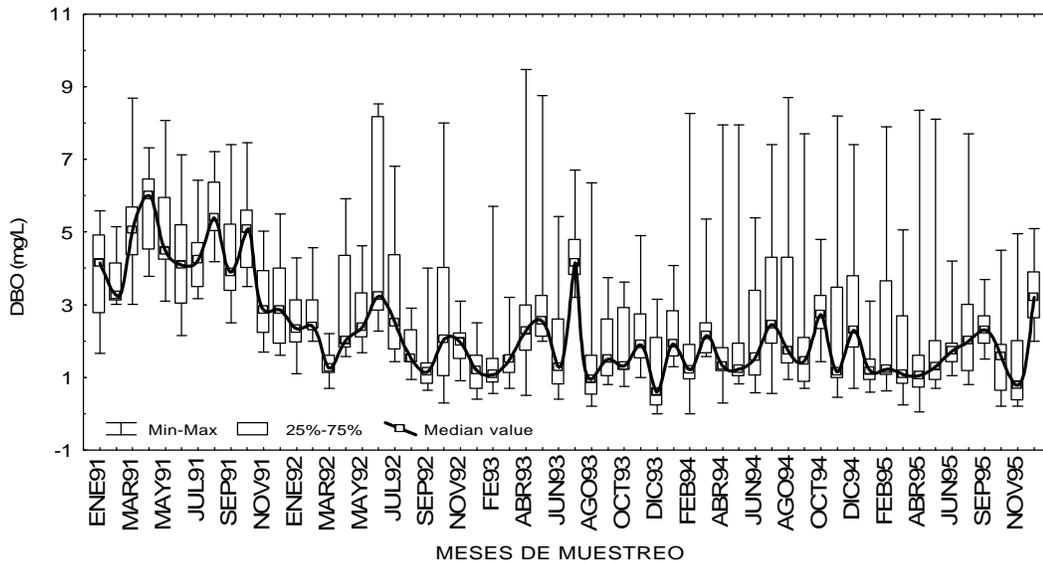


Figura 117.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

En época de secas los valores promedio mas altos fueron en 1991 con 4.52 mg/L y los más bajos en 1993 con 1.96 mg/L. También se aprecia que los valores más altos se registraron en el Puerto Interior y la Dársena en febrero, marzo y abril entre 8.35 y 10 mg/L. El mínimo de <0.03 mg/L se presentó en febrero en 1991 en la Dársena, en Diciembre de 1993 en el centro de la bahía y en 1994 en la zona costera, centro y fuera de la bahía. (Fig. 118; Cuadro XLIII).

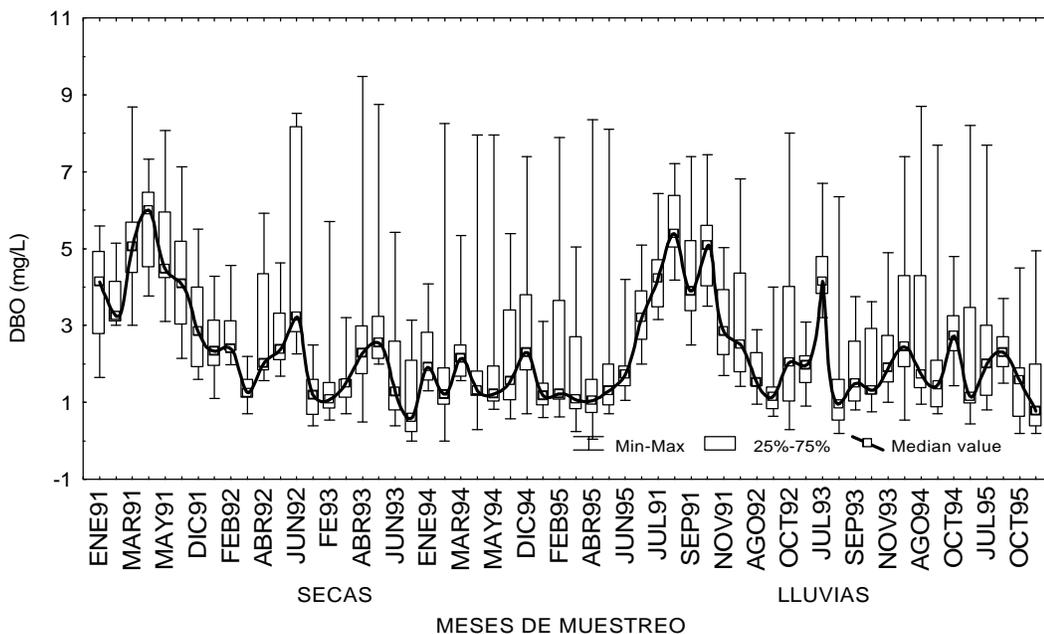


Figura 118.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

En lluvias los promedios fluctuaron de 4.73 a 2.04 mg/L. El promedio más alto se determinó en 1991 y el más bajo en 1995. El valor mínimo fue de 0.2 mg/L en 1993 en agosto en el Puerto Interior y en 1995 en octubre y noviembre en el centro de la bahía. El más alto en 1992 en julio en el Puerto Interior con 9.7 mg/L. En forma general se observa que los promedios tanto para secas como para lluvias son muy semejantes entre si, con una pequeña diferencia entre ellos de 0.03 mg/L más altos para la época de lluvias (Fig. 118; Cuadro XLIII).

CUADRO XLIII.- Estadística básica de la demanda bioquímica de oxígeno en superficie (mg/L).

**PROMEDIO TOTAL**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	4.60	PROM REAL 2.72	PROM REAL 2.08
Mínimo <0.03 est. 7 febrero	Mínimo 0.3 est. 13 octubre	Mínimo <0.03 est. 13 diciembre	
Máximo 10 est. 1 marzo	Máximo 9.7 est. 3 julio	Máximo 9.48 est. 1 abril	
Desvest 2.03	Desvest 1.84	Desvest 1.63	
	1994	1995	
PROM REAL	2.42	PROM REAL 2.11	
Mínimo <0.03 est. 9,10,12-14 febrero	Mínimo 0.05 est. 3 abril		
Máximo 8.9 est. 1 febrero	Máximo 8.35 est. 1 abril		
Desvest 2.05	Desvest 1.69		

**ÉPOCA DE SECAS**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	4.52	PROM REAL 2.83	PROM REAL 1.96
Mínimo <0.03 est. 7 febrero	Mínimo 0.7 est. 12 marzo	Mínimo <0.03 est. 13 diciembre	
Máximo 10 est. 1 marzo	Máximo 8.75 est. 5 abril	Máximo 9.48 est. 1 abril	
Desvest 2.06	Desvest 1.8	Desvest 1.69	
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	
PROM REAL	2.32	PROM REAL 2.15	
Mínimo <0.03 est. 9,10, 12-14 febrero	Mínimo 0.05 est. 3 abril		
Máximo 8.9 est. 1 febrero	Máximo 8.35 est. 1 abril		
Desvest 2.06	Desvest 1.75		

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	4.73	PROM REAL 2.47	PROM REAL 2.23
Mínimo 0.91 est. 13 noviembre	Mínimo 0.3 est. 13 octubre	Mínimo 0.2 est. 4 agosto	
Máximo 8.5 est. 10 octubre	Máximo 9.7 est. 3 julio	Máximo 6.7 est. 3 julio	
Desvest 1.99	Desvest 1.93	Desvest 1.56	
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	
PROM REAL	2.70	PROM REAL 2.04	
Mínimo 0.45 est. 13 noviembre	Mínimo 0.20 est. 13 octubre y noviembre.		
Máximo 8.7 est. 2 agosto	Máximo 7.7 est. 1 julio 95		
Desvest 2.0	Desvest 1.59		

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

El comportamiento anual de la demanda bioquímica de oxígeno muestra que los valores más altos se localizaron en el Puerto Interior en todos los años de muestreo excepto en 1991 y en la mayoría de los muestreos mensuales (Fig. 119).

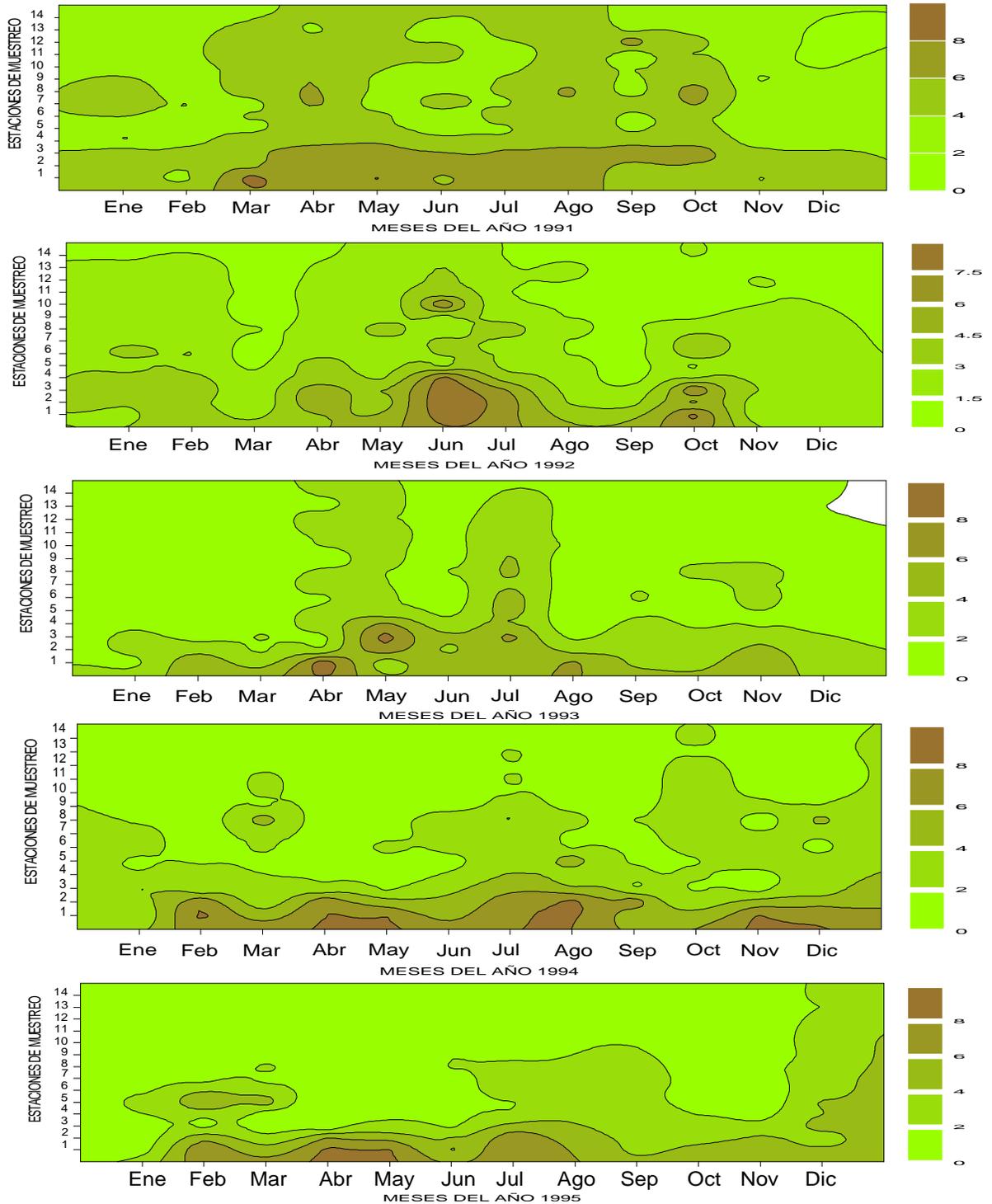
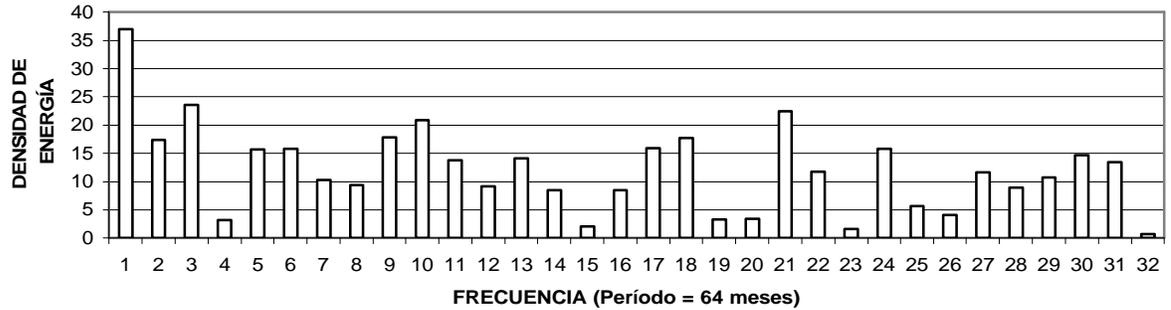


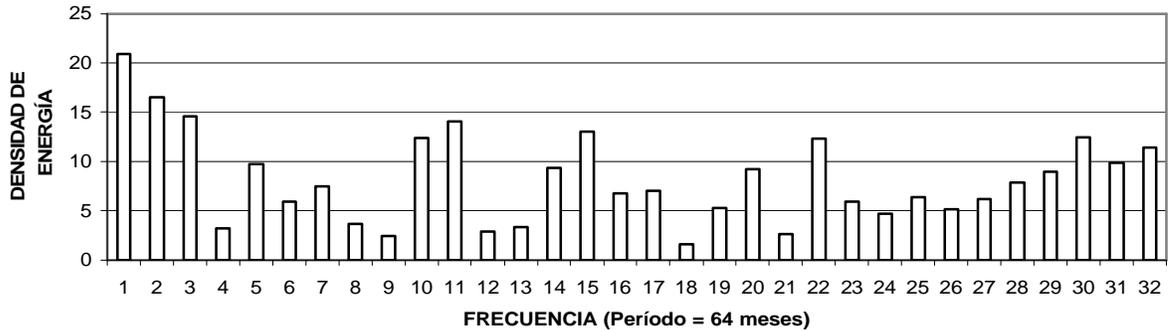
Figura 119.- Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en superficie en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

## FONDO

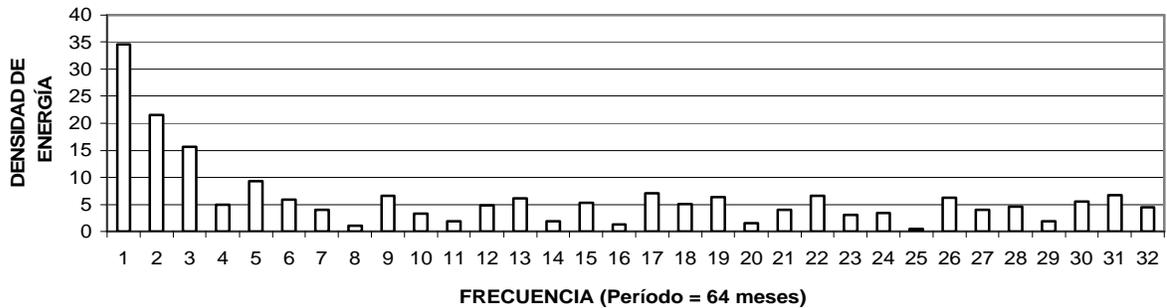
Se realizó el análisis de Fourier para las tres zonas que se formaron de acuerdo al índice de similitud y se observa que aparentemente no existe periodicidad en los valores obtenidos durante los años de muestreo, esto es, no dependen de ningún fenómeno cíclico (Fig. 120).



Puerto Interior (est. 1).



Dársena y playa El Viejo, (est. 5 y 8).



Puerto Interior, Dársena, zona costera, centro y fuera de la bahía (est. 2-4, 6-7, 9-14).

Figura 120.- Demanda bioquímica de oxígeno en fondo durante 1991 -1995 (análisis de Fourier).

La demanda bioquímica de oxígeno en fondo se comporta anualmente en forma similar que en superficie, el valor promedio más alto se registró en 1991 con 3.96 mg/L y el valor promedio más bajo en 1994 con 1.43 mg/L. También se presentó la tendencia en los valores promedios más altos en el Puerto Interior y los más bajos en la zona costera, centro y fuera de la bahía (Fig. 121; Cuadro XLIV).

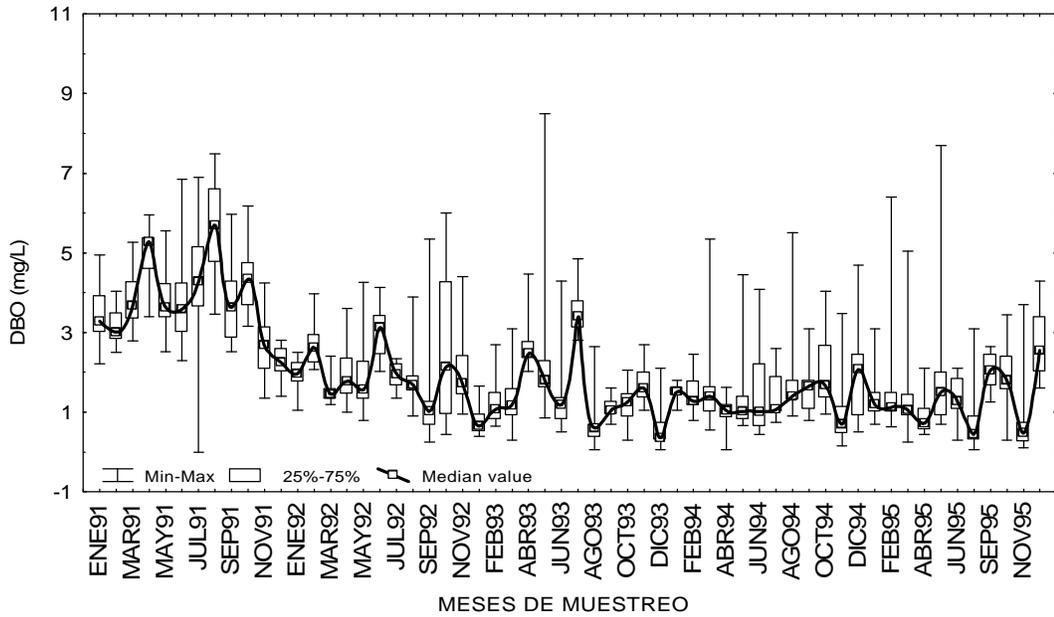


Figura 121.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

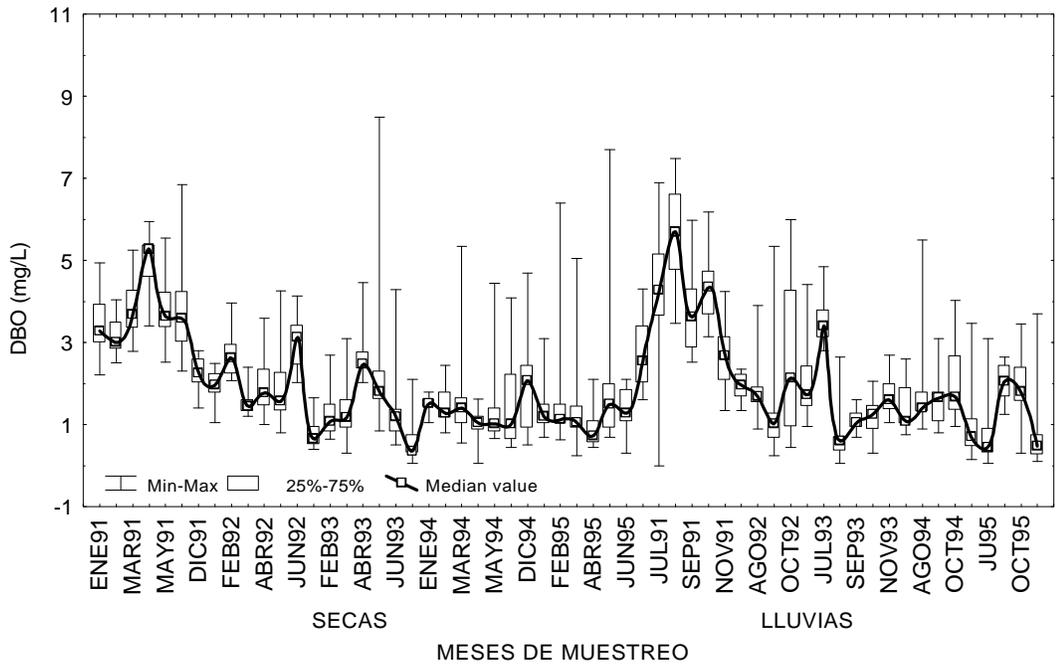


Figura 122.- Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en época de secas y lluvias durante 1991-1995, en la bahía y puerto de Manzanillo, México.

Cabe hacer mención que se determinaron valores puntuales más bajos de la demanda bioquímica de oxígeno en todos los años de muestreo y éstos fluctuaron entre  $<0.03$  y  $0.1$  mg/L y se presentaron al menos una vez en alguna parte del área de estudio

En época de secas el promedio mas alto se presentó en 1991 con 3.70 mg/L y el promedio más bajo en 1994 con 1.37 mg/L, la tendencia de los valores promedio mas altos en el Puerto Interior y Dársena continua y los valores más bajos en la zona costera, centro y fuera de la bahía. También se registro el valor puntual <0.03 mg/L en 1991 en la Dársena en febrero y en 1994 en febrero en casi toda la zona costera y fuera de la bahía. En lluvias también se determinaron valores bajos en la Dársena, zona costera y centro de la bahía entre <0.03 y 0.25 mg/L prácticamente en todos los meses que corresponde a lluvias. Los máximos de 4.8 en Julio en la playa de San Pedrito y el 9.0 en el Puerto Interior. (Fig. 122; Cuadro XLIV).

**CUADRO XLIV-** Estadística básica de la demanda bioquímica de oxígeno en fondo (mg/L).

**PROMEDIO TOTAL**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	3.96	PROM REAL 2.14	PROM REAL 1.48
Mínimo <0.03	est. 6-7 febrero y 8 julio	Mínimo 0.1 est. 14 mayo	Mínimo 0.05 est. 9 agosto
Máximo 9.0	est. 3 septiembre	Máximo 8.95 est. 5 abril	Máximo 8.5 est. 1 mayo
Desvest 1.79	Desvest 1.22	Desvest 1.12	
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	
PROM REAL	1.43	PROM REAL 2.11	
Mínimo <0.03	est 9,10 y 13 febrero	Mínimo 0.05 est. 3 abril	
Máximo 7.9	03-May	Máximo 8.35 est. 1 abril	
Desvest 1.02	Desvest 1.13		

**ÉPOCA DE SECAS**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	3.70	PROM REAL 2.22	PROM REAL 1.44
Mínimo <0.03	est. 6-7 febrero	Mínimo 0.10 est. 14 mayo	Mínimo 0.05 est. 13 diciembre
Máximo 7.7	est. 1 abril	Máximo 8.95 est. 5 abril	Máximo 8.5 est. 1 mayo
Desvest 1.58	Desvest 1.21	Desvest 1.14	
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	
PROM REAL	1.37	PROM REAL 2.15	
Mínimo <0.03	est. 9,10,13 febrero	Mínimo 0.05 est. 3 abril	
Máximo 7.9	est. 3 mayo	Máximo 8.35 est. 1 abril	
Desvest 1.03	Desvest 1.75		

**ÉPOCA DE LLUVIAS**

	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>
PROM REAL	4.38	PROM REAL 1.95	PROM REAL 1.51
Mínimo <0.03	est. 8 julio	Mínimo 0.25 est. 7 septiembre	Mínimo 0.05 est. 9 agosto
Máximo 9.0	est. 3 septiembre	Máximo 6.0 est. 3 octubre	Máximo 4.85 est. 5 julio
Desvest 2.03	Desvest 1.22	Desvest 1.02	
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	
PROM REAL	1.60	PROM REAL 2.04	
Mínimo 0.15	est. 13 noviembre	Mínimo 0.2 est. 14 oct y noviembre	
Máximo 5.5	est. 5 agosto	Máximo 7.7 est. 1 julio	
Desvest 0.96	Desvest 1.58		

PROM REAL = promedio real  
Desvest. = desviación estándar

La demanda bioquímica de oxígeno en fondo a través de los años que se realizó el muestreo no presentó ningún comportamiento cíclico anual bien definido, solo se pudo observar que los valores altos se registraron durante 1991, 1992 y 1993 en los meses de abril, julio y agosto en la mayoría de los puntos muestreados: en 1994 no hay un patrón claro del comportamiento de este parámetro y en 1995 se aprecia nuevamente un valor alto entre abril y junio (Fig. 123).

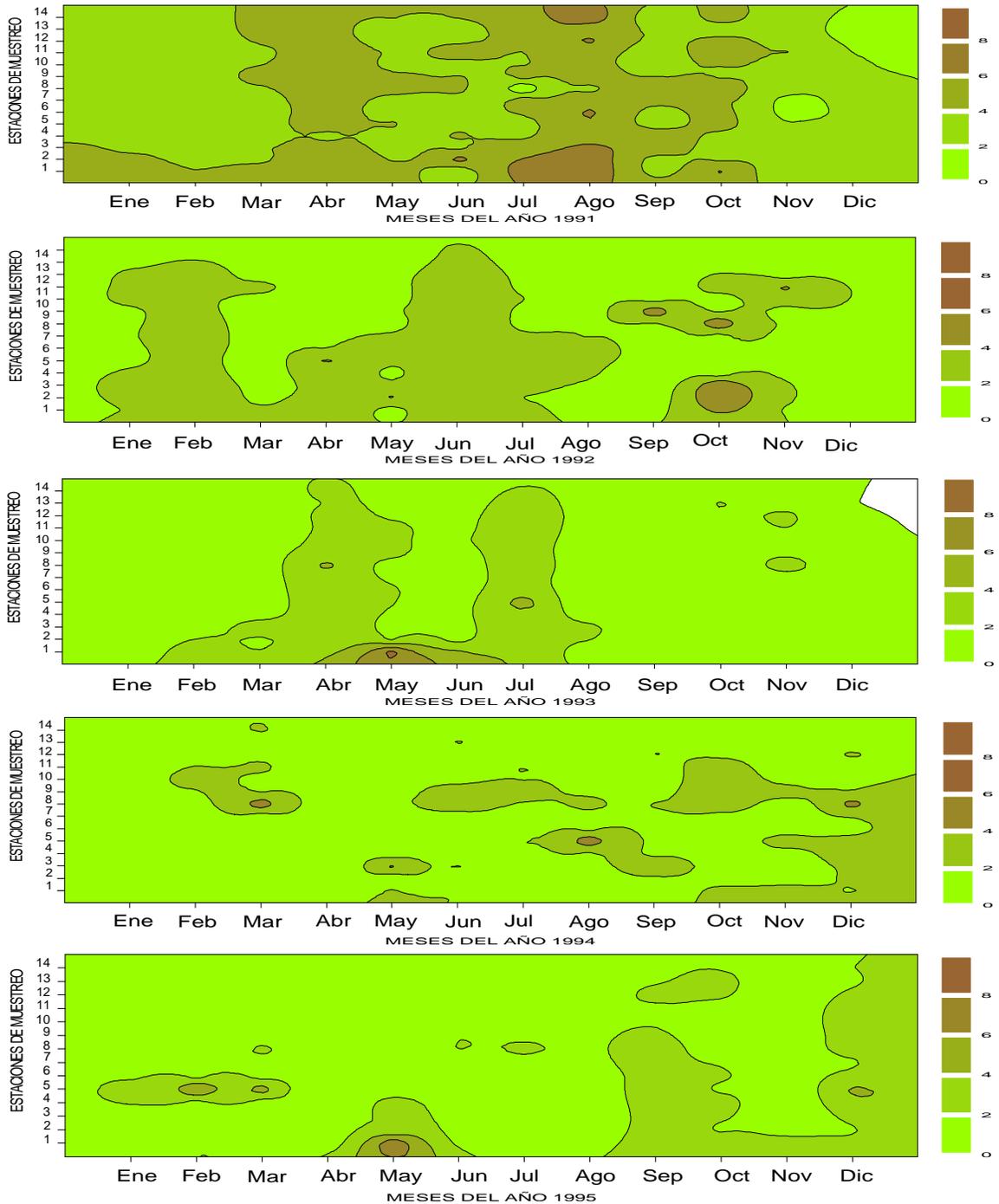


Figura 123.- Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en fondo en la bahía de Manzanillo, durante 1991-1995.

## CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

- Se determinó la presencia de las bacterias coliformes fecales durante el período 1991-1995, en forma constante con base en el análisis de los valores encontrados del NMP/100 mL de bacterias coliformes fecales. Los niveles registrados se observaron fuera de los límites permisibles para contacto primario en el Puerto Interior, y la Dársena y dentro de estos límites, la zona costera, centro y fuera de la bahía de Manzanillo.
- Con relación a los años de muestreo, se observó que durante 1994 y 1995 se determinaron valores más altos de bacterias coliformes fecales (de 1,100,000 NMP/100 mL registrado en los años anteriores a 2,400,000) y posiblemente puede atribuirse a un incremento en las descargas de aguas residuales hacia la zona costera debido al crecimiento urbano y poblacional..
- La correlación entre las variables ambientales de visibilidad, salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y bacterias coliformes fecales fue baja, por lo que la presencia de coliformes no este en función de los parámetros ambientales.

I. Las zonas que se formaron de acuerdo al índice de similitud fueron tres:

- a) La primera se localizó en el Puerto Interior, banda tres-cuatro y cuatro-cinco, en la Dársena en especial en la playa de San Pedrito y en la zona costera en la playa El Viejo, en donde se determinaron los valores más altos de bacterias coliformes fecales de 2,400,000 NMP/100 mL (83,839 NMP/100mL promedio). Prácticamente durante todo el tiempo que duraron los muestreos encontrándose fuera de los límites permisibles para uso recreativo con contacto primario. En esta área se localizaron descargas de aguas residuales (Fig. 123).
- b) La segunda zona incluye la parte más interna del Puerto Interior y la Dársena en el muelle de PEMEX en donde en la mayor parte de los muestreos se determinaron bacterias coliformes fuera de los límites permisibles alrededor de 21,000 NMP/100mL (531 NMP/100mL promedio) no fueron muy elevados (Fig. 123).
- c) La tercera que se localizó en la zona costera, centro y fuera de la Bahía en donde en casi todos los muestreos se encontraron valores dentro de los límites permisibles de bacterias coliformes fecales con un valor puntual de 9,000 NMP/100mL (51 NMP/100mL promedio), por lo que se considera que esta agua puede ser utilizada para actividades recreativa con contacto primario (Fig. 123).

II. De 735 muestreos, el 50% de las muestras estuvieron representadas totalmente por bacterias coliformes fecales y el 20% estuvieron dentro de los límites permisibles para el uso recreativo con contacto primario con  $> 3$  NMP/100 mL, de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL 1997 y en la Ley Federal de Derechos de la CNA, 2005.

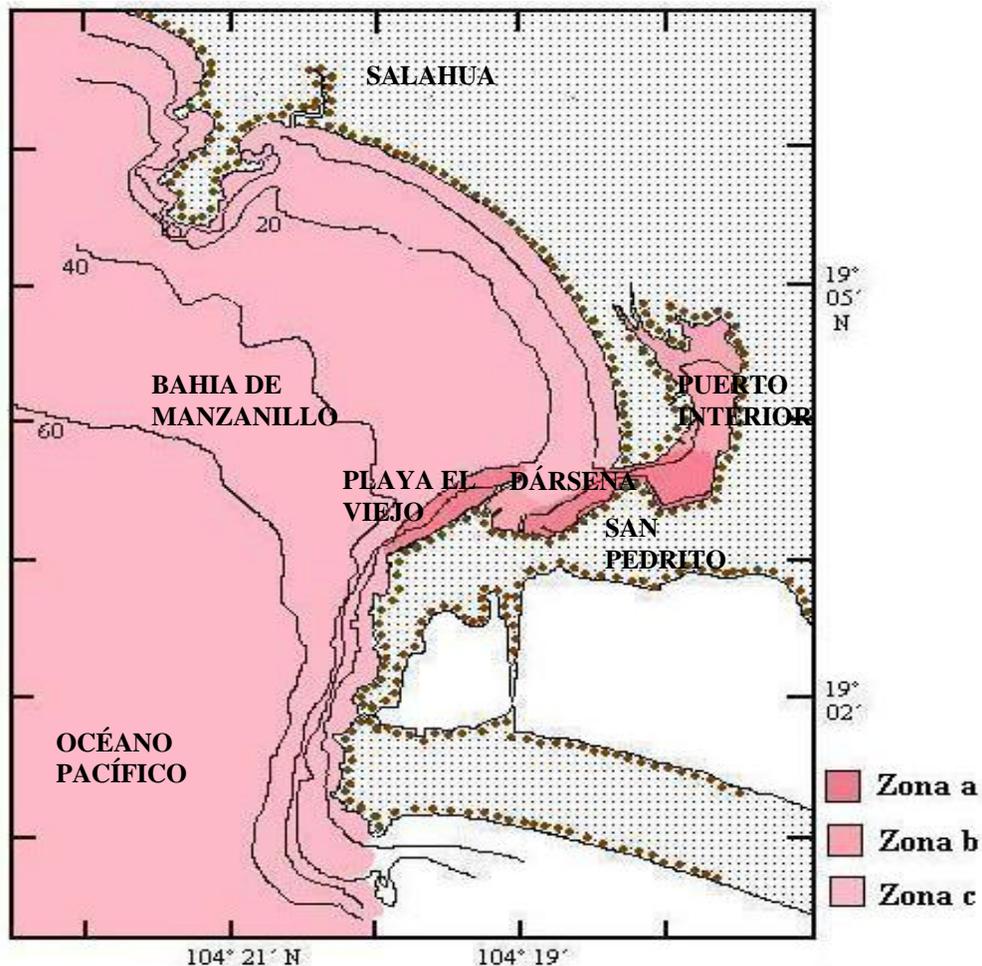


Figura 123.- Localización de las tres zonas que se forman de acuerdo al Índice de Similitud

III. Respecto al impacto de los parámetros ambientales se tiene que:

- a) Visibilidad de 0.10 m o menos, indica presencia de materia orgánica en suspensión en la columna de agua, como se encontró en el Puerto Interior y Dársena, mientras que en la zona costera, centro y fuera de la bahía se registraron índices elevados de visibilidad que corresponden a aguas costeras y oceánicas (>20 m) y fue el factor más significativo para el  $T_{90}$
- b) La salinidad fluctuó entre 28 a 36 UPS, y dado que no existen escurrimientos naturales de agua, los valores bajos obedecen a un aporte de agua dulce procedente de las descargas de aguas negras y las salinidades más elevadas a un aporte de agua con mayor contenido de sal a través del túnel o del canal de Ventanas procedente de la Laguna de Cuyutlán. También se puede decir que la salinidad si afecta a las bacterias coliformes y que éstas se encontraron en mínima concentraciones en un gradiente negativo hacia mar afuera. Mientras más se aleja de la descarga es menor el número.

- c) La temperatura superficial presentó valores mayores en época de lluvias con un intervalo de 27°C a 32°C, en secas de 22°C a 32°C y en fondo en secas los valores fluctuaron entre 19°C a 30.5°C y en lluvias entre 24 a 32°C. Para estos rangos de temperatura, la tasa de sobrevivencia de las coliformes fecales no tiene variación significativa ya que se encuentra dentro de la temperatura óptima de crecimiento.
- d) Se registraron los valores mínimos y máximos de pH (7.4 a 8.8) en el Puerto Interior, mientras que los más estables y cercanos al agua de mar en la zona costera, centro y fuera de la bahía. Dado que valores ligeramente básicos o ácidos no afectan el crecimiento de las bacterias coliformes fecales este parámetro no mostró ninguna influencia sobre las coliformes fecales en el área de estudio.
- e) En el Puerto Interior y la Dársena los registros de oxígeno indicaron una baja calidad fisicoquímica del agua mientras que en la zona costera, centro y fuera de la bahía estuvo dentro de los patrones establecidos como condiciones normales. Se registraron valores  $< 0$  mg/L y superiores a los de saturación del oxígeno disuelto en la parte más interna del Puerto Interior debido probablemente por la influencia de aguas de descarga y la poca circulación, mientras que en la zona costera, centro y fuera de la Bahía los valores se encontraron dentro de los intervalos normales. Por lo anterior se infiere que las bacterias coliformes pueden vivir dentro de la materia orgánica que se encuentra en abundancia en suspensión en el Puerto Interior.
- f) De manera similar al oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno se encontraron valores superiores de saturación o valores  $< 0$  en el Puerto Interior y Dársena lo que confirma las condiciones anómalas de estos cuerpos de agua.
  - o El comportamiento temporal de las bacterias coliformes al parecer no obedece claramente a ningún ciclo natural establecido, sin embargo, se observa que se incrementa el número de ellas por el aporte de mayor carga de aguas residuales debido a la afluencia de turistas en los períodos vacacionales de verano, invierno y primavera así como a la época de lluvias, en la cual hay escurrimiento de material fecal junto con aguas pluviales procedentes de las zonas aledañas al Puerto Interior y Bahía que pueden estar elevando el NMP/100 mL de bacterias coliformes.

IV. Se presenta un modelo analítico que incluye los efectos de la dispersión radial y de los dos parámetros que más influyen en las coliformes fecales (radiación solar y salinidad).

- a) Como lo demuestran los resultados, el contenido de bacterias coliformes fecales decrece a partir de la descarga de aguas residuales a medida que aumenta la distancia hacia mar abierto, se puede deducir que las aguas contaminadas se van diluyendo y se tornan más limpias debido a la presencia cada vez mayor del agua de mar.

- b) El  $T_{90}$  para la zona de estudio fue de 3 horas 23 minutos y los parámetros ambientales que más afectaron la tasa de mortalidad de las coliformes fecales fueron la radiación solar y la salinidad.
- V. El comportamiento espacial de las bacterias coliformes se puede explicar debido a la baja circulación que se presenta en el Puerto Interior, seguido de la Dársena, mientras que en la zona costera, centro y fuera de la Bahía las corrientes y el intercambio de masas de agua con el mar explica los valores bajos de estos microorganismos, por lo que se puede concluir que el Puerto Interior y la Dársena sólo servirá para agua de navegación o movimiento de embarcaciones, mientras que la zonas costera presenta una calidad adecuada para uso con contacto recreativo.

## CAPÍTULO 6 RECOMENDACIONES

Dada la presencia continua de las bacterias coliformes en el Puerto Interior y Dársena, se sugieren las siguientes acciones encaminadas a mejorar la calidad del agua:

- a) Es necesario que las aguas residuales procedentes de la zona conurbada del Puerto de Manzanillo, antes de ser vertidas en el Puerto Interior, Dársena y la playa El Viejo (lugares en donde se detectaron las descargas municipales), sean canalizadas a una planta de tratamiento de aguas y de ésta después de su tratamiento sean vertidas al mar.
- b) En tanto la acción antes mencionada se lleva a cabo, se debe prohibir el desarrollo de actividades recreativas así como la pesca en dichas áreas.
- c) Que las autoridades de Salud de los tres niveles de Gobierno desarrollen campañas de capacitación, educación y concientización a fin de evitar la defecación al aire libre, el mantenimiento periódico de las fosas sépticas, y el control de las heces fecales de los animales domésticos y de crianza para explotación comercial, ya que todos estos son fuentes de contaminación por bacterias coliformes fecales e inciden en la salud de la población del lugar así como del turismo que visita este Puerto.
- d) Que se mantenga un programa periódico de monitoreo de la calidad del agua con objeto de permitir que las autoridades competentes cuenten con la información necesaria que les permita la oportuna toma de decisiones para evitar que las altas concentraciones de estos microorganismos patógenos puedan llegar a niveles incontrolables y convertirse en una seria amenaza a la salud de la población y por ende afectar la actividad comercial y turística de este Puerto.

## REFERENCIAS

Álvarez, Jr., M., 1962. Provincias fisiográficas de la República Mexicana. Bol. Soc. Geol. Méx., 24(2):1-20.

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 13th. Washington, D. C: APHA, 1992 Sec 9-66 a 9-93.

Alvarez, O. J. F., 1989. Estudio sobre la evaluación anual de parámetros fisicoquímicos y biológicos en el área portuaria de Manzanillo, Col. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, 40 p.

Bergey, H. D., R. S., Bredd, E. G. D., Murra y H. P. Hitchens., 1939. Manual of determinative bacteriology, fifth Ed., Williams and Eilking Co., Baltimore, U.S.A.

Cacho Cruz, A. 1995. Análisis de datos sobre la contaminación bacteriológica en el área de bañistas de las bahías de Manzanillo y Santiago, Col. Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Marinas. Tesis de Licenciatura. :103.

Calendario de Mareas, Inst. Geofís. UNAM, 1994.

Cantera J. C., Juanes J. A., Pérez L y Koev N. Kalin. 1995. Modelling the coliforms inactivation rates in the Cantabrian Sea (Bay of Biscay) from *in situ* and laboratory determinations of T<sub>90</sub>. Wat. Sci Tech. 32(2) pp. 37-44.

Cano, I. G., 2001. Evaluación ambiental del área portuaria de Manzanillo, Col. Estudio Exploratorio. Tesina para obtener el diploma en la especialidad de Contaminación Marina. Instituto Oceanográfico del Pacífico. Secretaría de Marina, 51 p.

Capone, G. D., Bauer J. E 1992. Microbial Processes in Costal Pollution. Enviromental Microbiology, pages 191-237. Ed.. Wiley-Liss, Inc.

Cárdenas, Ponce, C. 1990. Elaboración de un estudio de Impacto Ambiental caso: empresa Pescado de Colima en el Puerto Industrial Pesquero de Manzanillo. Tesis profesional Fac. de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, Tomo I y II. 312 p.

Carpenter, L. V., L. R., Setter, y M. Weinberg, 1938. Treatment of sea water. Amer. J. Publ. Health. 28:929-932.

Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez-Estrada y R. Rodríguez Torres, 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costa mexicanas. An. Centro Cienc. Del Mar y Limnol, Univ. Nal. Autón. México, 2(1):81-88.

Carranza-Edwards, A., 2001. Grain Size and Sortin in Modern Beach Sands. Journal of Coastal Research 17(1), 38-52.

Chan Y. Y. y Killick G. E. 1995. The effect of salinity, light and temperature in a disposal environment on the recovery of *E. Coli* following exposure to ultraviolet radiation. *Wat. Res.* 29(5), pp. 1373-1377.

Chávez Comparán, J. C. 1982. Reporte preliminar sobre los peces presentes en las Bahías de Santiago, capturados en marzo. Reporte Técnico, Instituto Oceanográfico de Manzanillo, Secretaría de Marina, México.

Chávez Comparán, J. C. 1982. Variaciones amplias del pH en el Puerto Interior y exterior de Manzanillo. Instituto Oceanográfico del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico.

Chávez Comparán J. C. 1983. Muestras en la Bahía de Manzanillo con draga Van Veen acerca de poliquetos. Instituto Oceanográfico del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico.

Clemente Ramírez, R. 1991. Análisis de la corriente subsuperficial de marea en dos puntos fijos de la bahía de Manzanillo, Col. Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Marinas. Tesis de Licenciatura. : 62 p.

Coler, R. A. y W. Litsky, 1977. "Pollutants and Aquatic Ecosystems" Biological Aspects of Water Quality Problems. pp 355-383. In: Miller, W. M. and W. Litsky. Industrial Microbiology Mc. Graw Hill Book Co., Inc. New York, 465 pp

Comisión Nacional del Agua 2005. Ley Federal de Derechos (Disposiciones aplicables en materia de Aguas Nacionales). pp 16-19

Contreras, C. A. G., 1988. Variación espacial y temporal de algunos parámetros indicadores de la contaminación orgánica en el Puerto Interior de Manzanillo, Col. Tesis profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Universidad de Colima, 41 p.

Crane S. R. and J. A. Moore (1985). Modelling enteric bacterial die-off: a review. *Water, Air, and Soil Pollution* 27(1986) 411-439.

Cuevas García José Humberto (1995). La calidad del agua en áreas costeras del Pacífico Central y Sur Mexicano (enero-junio de 1993). Tesis Fac. de Ciencias. Univ. Nal. Autón. México.

Delaat, A. N.C., 1983. Microbiología. 2a. ed., Editorial Interamericana. México.

Diario Oficial de la Federación. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites Permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Diario Oficial de la Federación 1997. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996,

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Diario Oficial de la Federación 1998. NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Qué establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen servicios al público.

Espino Barr E., M. Cruz Romero y A. García Boa. 2003. Peces marinos con valor comercial en la costa de Colima, México. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Instituto Nacional de la Pesca. Centro Regional de Investigación Pesquera de Manzanillo.

Faulkner, J. D., 1961. Shellfish sanitation. Reimpreso "The Sanitarian J. Natl. Ass. Sanitarians. 24 p.

Gaader, R. y R. Saparck, 1931. Biochemical and Biological investigation of the variations in the productivity of west norwegian oyster pools. Conseil Perm. Inter. L'explor. de la mer., 76: 47-50.

Galicia, P. M. A., 1987. Modelación hidrodinámica numérica de las Bahías de Manzanillo y Santiago. Tesis de Maestría, Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología Univ. Nal. Autón. México, 35 p.

Galicia P. M. A., 1994. Estudio de Análisis Espectral en el Puerto de Manzanillo. Secretaría de Marina. Dir. Gral de Ocean. Naval. Ins. Ocean. del Pacífico. Reporte Técnico.

Gámez N. de R. E., 1994. Datos Mareográficos y Meteorológicos del Puerto de Manzanillo, Estación NGWLMS, en cooperación con la NOAA. Dir. Gral. Ocean. Naval. Inst. Ocean. del Pacífico. Secretaría de Marina. Reporte Técnico.

García E., 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía Univ. Nal. Autón. México 246 p.

Gaviño, R. J. y Galicia P. M. A., 1993. Modelación hidrodinámica de algunos cuerpos de agua de la Zona Económica Exclusiva de México. Instituto Oceanográfico del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico.

Gaviño R. J., 1994. Estudio de refracción de oleaje en el Puerto de Manzanillo, Col. Instituto Oceanográfico del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico.

Grasshoff K., Kremling K and Ehrhardt Manfred, (2006). Methods of Seawater Analysis. 3<sup>th</sup> edition. WILEY-VCH New York. USA.

Gluyas G y Chávez C. J., 1982. Trece clases del phylum Mollusca. Instituto Oceanográfico

del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico.

Inman, D. L. y C. E. Nordstrom, 1971. On the Tectonic and Morphologic Classification of COSAT. J. Geol., 79(1):1-21.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2002). Manzanillo. Perfil sociodemográfico. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. MEXICO: INEGI.

Ketchum, B. H., J. C. Ayers, y R. F. Vaccaro. 1952. Processes contributing to the decrease of coliform bacteria in a tidal estuarine. Ecology, 33:247-258 p.

Koneman, E. W., Allen, S. D., Dowell V. R., Janda W. M., Sommers, H. M. and Winn W. C. (1999), Diagnóstico microbiológico. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina.

Jannash, W. H., 1968. Competitive elimination of *Enterobacteriaceae* from Sea Water. Appl. Microbiol. 16(10):1616-1618 p.

Japan International Cooperation Agency (JICA). 1985. Draft final report for the study on development project of the port of Manzanillo in the United Mexican States. Tokyo Japan. 547 p.

Lancin, M. y A. Carranza, 1976. Estudio Geomorfológico de la Bahía y de la playa de Santiago en Manzanillo, Colima. Inst. Geol., Univ. Nal. Autón. México. Rev. 2:43-65.

Lara Villa (1993), Planta de Tratamiento de Aguas Negras en Manzanillo. Tesis profesional Fac. de Ciencias Marinas, Universidad de Colima,

Linton, A. H. y M. H. Hinton 1988. *Enterobacteriaceae* associated with animals in health and disease p. 71-87. In: B. M. Lund, M. Sussman, D. Jones and M. F. Stringer (Ed). Society for Applied Bacteriology symposium series No. 17. *Enterobacteriaceae* in the environment and as pathogens. Society for Applied Bacteriology, London.

López Ariza, F. J., (1990). Variación temporal de algunos parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en el Puerto Interior y Bahía de Manzanillo, Col., de octubre de 1987 a septiembre de 1988. Tesis profesional. Fac. Ciencias Marinas, Universidad de Colima, 37 p.

Madigan, M. T and Martinko, J. M. 2006. Brock, Biology of Microorganisms. 11 th ed. , Prentice Hall, USA.

Manzini L. J. 1978. Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions. J. WPCF, 2477-2484.

Mason, J. O. y W. R. McLean, 1962. Infectious hepatitis traced to consumption of raw oysters. Am. Jour. Hyg., 75:90-110.

Meyer, A. O., Ortiz, S., Sánchez, L., Canedo, S., Arce F. A., Vera, R., Gómez, A., Mariscal, A. y Parra, E. 1985. Estudio de preservación y control de la calidad de las aguas de las bahías de Manzanillo, Colima. Instituto Oceanográfico del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico.

Meyer, A. O., 1992 Evaluación de grasas y aceites producidos por derrames de hidrocarburos en el Puerto Interior, San Pedrito, el Túnel, Puerto Exterior, Bahía de Manzanillo, Canal de Ventanas, El Tapo, Campamento entrada Termoeléctrica I y III y salidas de las aguas negras de la Termoeléctrica. Instituto Oceanográfico del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico.

Millero, F.J., Sohn, M.L., (1992). Chemical Oceanography. Boca Raton: CRC Press. Miami, Florida, USA

Millero F.J., (2006). Chemical Oceanography. 3th. Edit. Taylor and Francis Group Boca Raton CRC Press. . Miami, Florida, USA

Mooser H.F., 1985. La estructura geológica y la tectónica de la Península de Santiago: Informe geológico del Grupo SACMAG de México, S.A., Ingenieros y Arquitectos Consultores. México.

Morales Blake, A. R. 1991. Hidrología descriptiva de las Bahías de Manzanillo y Santiago, Col., Tesis profesional Fac. de Ciencias Marinas. Universidad de Colima. 49 p.

Neumann G. and W. J. Pierson, 1966. Principles of Physical Oceanography edit. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J. USA

Núñez F. Ma C. E., 1984. Estudio Ictiológico de la Laguna de Cuyutlán, Colima, México. Características Ambientales y Poblacionales. Tesis de Maestría, Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología Univ. Nal. Autón. México, 241 p.

Nusbaum, I, y R. M. Gardner, 1955. Survival of coliform organisms in pacific coastal water. Journal 27: 1383-1385.

Ochoa M. L. M., 1988. Evaluación de la calidad de las aguas en el área del Puerto de Manzanillo Col. Instituto Oceanográfico del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico.

Olvera Malagón C., 1996. Ejemplo de procedimiento sistemático para establecer las medidas de prevención ante la alarma de un maremoto en la costa oeste de México. Tesis especialidad. Academia Politécnica Naval. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico. Armada de Chile.

Ortiz Guerra. J. C., 1989. Desarrollo costero del municipio de Manzanillo, Colima. Diagnósis y Perspectivas. Tesis profesional Fac. Ciencias Marinas, Universidad de Colima,

112 p.

Pramer, D., A. F. Carlucci y P. V. Scarpino. 1960. The bactericidal action of Sea Water. *Marine Microbiology Waltham, Mass Chronica Botanica Co.*: 567-571.

Pratt, D., 1974. Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities. Salt requirements for growth and function of marine bacteria 3-15. In: R.R. Colwell y R.Y. Morita (Eds.) University Park Press, Baltimore-Londres-Tokio. 587 p.

Prescott, C. S., 1950. *Water Bacteriology*. John Wiley and Sons, Inc., New York, U.S.A.

Pulcini P., Donaire R y Jardim W. F. 2004. Aplicación de la fotocatalisis heterogénea en aguas de embalse de Campina Grande, Paraíba, Brasi. *In: Avances en tecnologías económicas solares para desinfección, descontaminación y remoción de arsénico en aguas de comunidades rurales de América Latina (métodos FH y RAOS)- Proyecto OEA AE 141*

Quijano S. S. I. y Vidaurri S. A. 1987. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y productividad primaria en las bahías y lagunas de Manzanillo, Col. Instituto Oceanográfico del Pacífico, Direc. Gral de Ocean. Naval. Secretaría de Marina. México. Reporte Técnico. 113 p.

Quijano S. S. I y Salinas E., 1995, resultados preliminares de parámetros fisicoquímicos en 4 estaciones en las bahías de Manzanillo y Santiago, con 57 especies de fitoplancton silicio Escuela Superior de Ciencias Marina. Universidad de Colima.

Reyes H. C .A., 1988. Estudios Hidrodinámicos en el Puerto Interior de Manzanillo, Colima. Tesis profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Universidad de Colima. 50 p.

Rodier J. 1990. Análisis de las aguas, aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Ediciones Omega.

Roth, J. A., Brogden K. A., Stanton, T. B., Bolin, C. A., Minion, F. C. and Wannemuehler M. J. *Virulence Mechanisms of Bacterial Pathogens*. American Society Microbiology Press. Third ed. Washington. D. C.

Ruíz R. B. .M., 1994. Caracterización socioeconómica y ambiental de la zona costera del estado de Colima. Tesis profesional Escuela Superior de Ciencias Marinas. Universidad de Colima. 160 p.

Salyers, A. A. y Whitt, D. D. (1994). *Bacterial pathogenesis.: A molecular approach*. American Society for Microbiology. Washington, D.C. USA

Sarikaya Z. H. y Saatci M. A 1995. Bacterial die-away rates in red sea waters. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 32(2), pp 45-52.

Saz, A. K., Watson S., Brown S. R. y Lowery D. L. 1963. Antimicrobial activity of marine water. *Limno. Oceanogra.* 8(1):63-67.

Secretaría de Marina 1973. Estudio Geográfico de la región de Manzanillo Col. Dir. Gral. Ocean. Naval I.O.M. 363p.

Secretaría de Marina 1994. Estudio de refracción de oleaje en la Bahía de Manzanillo y Santiago. Dirección General de Oceanografía Naval. Instituto Oceanográfico del Pacífico. Reporte Técnico.

Secretaría de Marina. 2000a. Contaminación Marina en el Mar Territorial y Zonas Costeras de la República Mexicana. Informe Técnico del Instituto Oceanográfico del Pacífico. 127 p.

Secretaría de Marina. 2000b. Diagnóstico Portuario 2000 (Manzanillo Col., Lázaro Cárdenas, Mich., Puerto Vallarta, Jal., Zihuatanejo, Gro., Ixtapa, Gro y San Blas, Nay). Informe Técnico Instituto Oceanográfico del Pacífico. 283 p.

Secretaría de Marina. 2002 Atlas de Contaminación Marina en el Mar Territorial y Zonas Costeras de la República Mexicana. Direc. Gral. Adj. de Investigación y Desarrollo México. 54. 74-75.

Servicio Meteorológico Nacional (1991-1995), Estación Manzanillo, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.

Shepard, F. P., 1973. *Submarine Geology*, Harper and Row Co: New York, 517 p.  
Solic M. y Krstulovic N. 1992, Separate and Combined Effects of Solar Radiation, Temperature, Salinity, and pH on the Survival of Faecal Coliforms in Seawater. *Mar. Poll. Bull.* 24(8), 411-416.

Solic M y Krstulovi N. 1992. Separate and Cobined Effects of Solar Radiation, Temperature, Salinity and pH on the Survival of Faecal Coliforms in Seawater. *Mar. Poll. Bull.*, 24(8), 411-416

Stenstrom, T. A., e Il. Kunn. 1988. Phenotypic variatins within *Klebsiella pneumoniae*. A tool trace sources of contamination surface water. *Sci. Technol.* 20: 429-431.

Sverdrup, K.A., Duxbury, A.C., and Duxbury, A.B., (2003). *An Introduction to the World's Oceans*, 7th ed. McGraw-Hill Publishers, 521 p., 2003

Tamayo, J. L., 2002. *Geografía Moderna de México*. Editorial Trillas, s.A., México, , 512 p.

Vaatanen, P. C., 1980. Effects of enviromental factors on microbiol populations in brackin waters off the southern coastal of Finland. *Appl. Environ. Microbiol.* 40: p. 48-54.

Valencia Aparicio, R., 1991. Evaluación de la alteración por materia orgánica en el puerto de Manzanillo, Col., México. Colima.

Valencia Aparicio, R., 1992. Evaluación de la Calidad fisicoquímica y bacteriológica del Puerto de Manzanillo, Col. Tesis profesional Fac. Ciencias Marinas, Universidad de Colima. 55 p.

Vallarino, G. J. Rl, 1979. Estudio Geológico Marino de las alternativas 1 y 5 para la obra de toma de la planta Termoeléctrica de Manzanillo, Colima, México. Tesis profesional, Fac. Ingeniería, Univ. Nal. Autón. México. 120 p.

Van Donsel, D. y E. Geldreich, 1971. Relationships of *Salmonellae* to fecal coliforms in bottom sediments. *Water Res.* 5: 1079-1087.

Vaccaro, R. F., M. D. Briggs, C. L. Carey y B. H. Ketchum. 1950. Viability of *Escherichia coli* in sea water. *Amer. J. Publ. Health.* 40:1257-1265.

Waskman, S. A. y C. L. Carey. 1935. Decomposition of organic matter in sea water by bacteria. *Jour. Bact.* 29: 531.

Waskman, S. A. y V. Vartiovaara, 1938. The absorption of bacteria by marine bottom. *Biol. Bull.* 74: 56-60

World Health Organization. Water, Sanitation and Health Team. (2006) Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Cap 7 Recommendations (in press) *3rd ed*

Xu, H. S., 1984. An indirect fluorescen antibody staining procedure for detection of *Vibrio Cholerae* servar 01 cells *In*: Aquatic environmental samples. *J. Meth. Microbiol.* 2:221-231.

Zepeda J.A. y Luna H.J.R., 1982. Estudio sedimentológico, transporte litoral y corrientes en la Bahía de Santiago, Colima. Secretaría de Marina. Dir. Gral. Ocean. Naval I.O.P. Reporte interno 55 p.

Zepeda, J.A y Fernández G.A., 1985. Reconocimiento geológico de las costas colimenses. Secretaría de Marina. Dir.Gral. Ocean. Naval. I.O.M. Reporte interno 70 p.

Zepeda J.A, González Ch. I., Marmolejo R A. J. y Díaz Z. E., 1987. Estudio sedimentológico de las playas del estado de Colima. Secretaría de Marina. Dir. Gral. Ocean. Naval. I.O.M. Reporte interno 89 p.

Zinsser Hans, 1992. Microbiología Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires Argentina pp. 277-283

ZoBell, C.E., 1936. Bactericidal action of sea water. *Proc. Soc. Exp. Biol. and Medicinae*, 34(2):10-25.