

4.3 Monitoreo de la Calidad del Agua

4.3.1 Método

(1) Periodo de Monitoreo

Como se mencionó anteriormente el Monitoreo Piloto de la Calidad del Agua, se llevó a cabo durante las dos siguientes épocas:

Epoca de estiaje (Trabajo en sitio I) : Marzo 1, 2, 8 y 9, 1999
Epoca de lluvias (Trabajo en sitio II) : Julio 19, 20, 21 y 22, 1999

(2) Sitios y áreas de Monitoreo.

Las muestras de calidad del agua se tomaron de 2 niveles diferentes en 23 sitios de monitoreo y de un nivel como se muestra en la Tabla 4.7. Los niveles de observación fueron de la siguiente manera:

Sitios de monitoreo superficial : 0.5 m bajo la superficie
Sitios de monitoreo vertical : 0.5 m bajo la superficie
10 m bajo la superficie (Si la profundidad del agua es menor de 11 m, la muestra se debe tomar a 1 m del fondo)

Tabla 4.7 Areas y Puntos de Monitoreo

Areas de Monitoreo	Sitios de monitoreo superficial	Sitios de Monitoreo vertical	Salinidad y Agua mediante el STD*
Zona Costera	7	20	6
Río Pánuco	2	3	
Laguna de Pueblo Viejo	5		
Laguna del Conejo	2		
Total	16	23	6

*El monitoreo se llevó a cabo en la época de lluvias.

La Tabla 4.8 y la Figura 4.9 muestran la localización de los sitios de monitoreo de la calidad del agua.

(3) Métodos Analíticos y Parámetros de Monitoreo

Los métodos analíticos y los parámetros de monitoreo se muestran en la Tabla 4.9. Aun cuando se utilizó como referencia el libro "Manual Práctico para el Análisis del Agua de Mar", para los parámetros básicos, algunos de los parámetros se analizaron utilizando un método Japonés común para el análisis del agua, el Estándar Industrial Japonés (JIS) K0102, para Métodos de Prueba de Aguas Residuales Industriales.

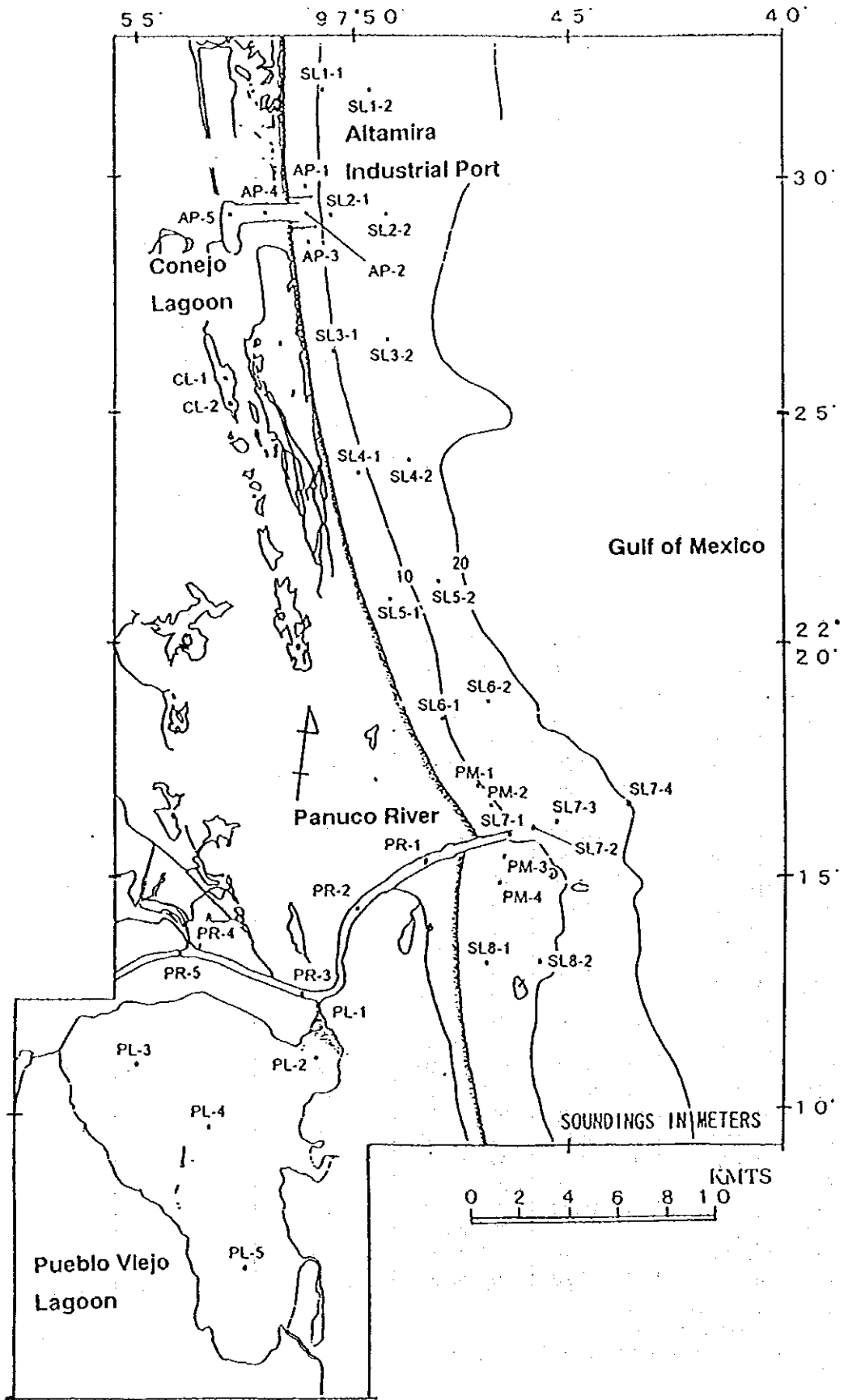


Figura 4.9 Localización de los Sitios de Monitoreo para Calidad del Agua y Sedimento

Tabla 4.8 Sitios de Muestreo del Estudio de Monitoreo

Station	GPS Name	Latitude (N)	Longitude (W)	Sample		
				Water Quality		Sediment
				Basic parameter	Toxic Parameter	
Panuco River						
PR - 1	PR1	22° 15.20'	97° 48.36'	⊙	○	○
PR - 2	PR2	22° 14.15'	97° 49.90'	○		
PR - 3	PR3	22° 12.40'	97° 51.08'	⊙	○	○
PR - 4	PR4	22° 13.61'	97° 53.84'	○		
PR - 5	PR5	22° 13.35'	97° 53.98'	⊙	○	○
Pueblo Viejo Lagoon						
PL - 1	PL1	22° 12.14'	97° 50.79'	○		
PL - 2	PL2	22° 11.20'	97° 50.79'	○	○	○
PL - 3	PL3	22° 11.15'	97° 55.00'	○		
PL - 4	PL4	22° 09.61'	97° 53.30'	○	○	○
PL - 5	PL5	22° 06.75'	97° 52.50'	○	○	○
El Conejo Lagoon						
CL - 1	CL1	22° 25.50'	97° 53.05'	○	○	○
CL - 2	CL2	22° 25.08'	97° 52.80'	○		
Altamira Industrial Port						
AP - 1	AP1	22° 29.82'	97° 51.10'	○		
AP - 2	AP2	22° 29.19'	97° 51.10'	⊙	○	○
AP - 3	AP3	22° 28.54'	97° 51.10'	○		
AP - 4	AP4	22° 29.19'	97° 52.11'	⊙		
AP - 5	AP5	22° 29.19'	97° 53.11'	⊙	○	○
Coastal Area						
SL1 - 1	SL11	22° 31.88'	97° 50.95'	⊙	○	○
SL1 - 2	SL12	22° 31.88'	97° 49.70'	○		
SL2 - 1	SL21	22° 29.19'	97° 50.55'	⊙		
SL2 - 2	SL22	22° 29.19'	97° 49.29'	⊙	○	○
SL3 - 1	SL31	22° 26.28'	97° 50.51'	⊙		
SL3 - 2	SL32	22° 26.60'	97° 49.30'	○		
SL4 - 1	SL41	22° 23.64'	97° 49.85'	⊙	○	○
SL4 - 2	SL42	22° 23.95'	97° 48.69'	⊙	○	
SL5 - 1	SL51	22° 20.99'	97° 49.07'	⊙		
SL5 - 2	SL52	22° 21.28'	97° 47.95'	○		
SL6 - 1	SL61	22° 18.35'	97° 47.91'	⊙	○	○
SL6 - 2	SL62	22° 18.80'	97° 46.81'	⊙	○	○
SL7 - 1	SL71	22° 15.92'	97° 46.25'	⊙	○	○
SL7 - 2	SL72	22° 16.04'	97° 45.80'	⊙		
SL7 - 3	SL73	22° 16.16'	97° 45.20'	⊙	○	○
SL7 - 4	SL74	22° 16.55'	97° 43.50'	○		
SL8 - 1	SL81	22° 13.03'	97° 46.85'	⊙	○	○
SL8 - 2	SL82	22° 13.13'	97° 45.60'	○		
PM - 1	PM1	22° 16.99'	97° 47.05'	⊙	○	○
PM - 2	PM2	22° 16.50'	97° 46.80'	⊙		
PM - 3	PM3	22° 15.38'	97° 46.50'	⊙		
PM - 4	PM4	22° 14.87'	97° 46.60'	⊙	○	○
SLA - 1	SLA1	22° 16.40'	97° 46.09'	△		
SLA - 2	SLA2	22° 16.85'	97° 45.80'	△		
SLA - 3	SLA3	22° 18.23'	97° 44.71'	△		
SLB - 1	SLB1	22° 15.52'	97° 45.90'	△		
SLB - 2	SLB2	22° 15.20'	97° 45.41'	△		
SLB - 3	SLB3	22° 14.28'	97° 43.95'	△		

⊙ : 2 layers sampling point

○ : 1 layer sampling point

△ : For only measurement using STD

Tabla 4.9 Lista de los Parámetros de Monitoreo y de los Métodos Analíticos para la Calidad del Agua

	Parameter	Method	Reference
Basic Parameter	Transparency	Secchi disc on boat	
	Water temperature	STD on boat	
	Salinity	STD on boat	
	pH	Glass-electrode method	JIS K 0102 12, EPA 150.1
	DO	Winkler-sodium azide modification	PHSA I-3, JIS K 0102 32.1
	COD	Alkaline-iodine method	JIS K 0102 19
	TOC	Non purgeable organic carbon method	JIS K 0102 22, EPA 415.1 By TOC Analyzer
	SS	Gravimetric method	JIS K 0102 14
	NH4-N	Indophenol blue absorptiometry	PHSA II-9
	NO2-N	Naphthylethlen diamine absorptiometry	PHSA II-7, JIS K 0102 43.1, EPA 354.1
	NO3-N	Cd-Cu column reduction method	PHSA II-6, JIS K 0102 43.2, EPA 353.3
	T-N	Cd-Cu column reduction method	JIS K 0102 45.4
	PO4-P	Molybdenum blue absorptiometry	JIS K 0102 46.1, PHSA II-2
	T-P	Molybdenum blue absorptiometry	JIS K 0102 46.3
	Chlorophyll-a	Spectrophotometric determination	PHSA IV-3-1
	Total coliform, Fecal coliform	Membrane filter method	SMEWW 922A, 922D
Toxic Parameter	Hexane extracts	Liquid-liquid extraction, Gravimetric	JIS K 0102 24
	Phenols	4-aminoantipyrine absorptiometry	JIS K 0102 28.1.2,
	Cyanide	4-pyridine carboxylic acid - pyrazolone absorptiometry	JIS K 0102 38
	Cr	Diphenylcarbazide absorptiometry	JIS K 0102 65.1.1
	Cr ⁶⁺	Diphenylcarbazide absorptiometry	JIS K 0102 65.2.1, EPA 7196A
	Cd	Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 55, EPA 7131A
	Pb	Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 54, EPA 7421
	Cu	Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 52, EPA 7211
	Zn	Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 53, EPA 7521
	Ni	Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 59, EPA 7951
	As	Atomic absorption spectrometry using hydride system	JIS K 0102 61.2, EPA 7062
	T-Hg	Atomic absorption spectrometry using vapor reduction system	JIS K 0102 66.1, EPA 7470A
	Alkyl-mercury	Gas chromatography with ECD	JIS K 0102 66.2
	Organo phosphorus	Gas chromatography with FID	Notification No.46 ⁽¹⁾
	Trichloroethylene	Gas chromatography with ECD	JIS K 0125 5.5, EPA 8021B
	Tetrachloroethylene	Gas chromatography with ECD	JIS K 0125 5.5, EPA 8021B
	Carbon tetrachloride	Gas chromatography with ECD	JIS K 0125 5.5, EPA 8021B
	PCB	Gas chromatography with ECD	EPA 8082, JIS K 0093(Pretreatment)
	HCB	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾
	Aldrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾
	Endrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾
	Dieldrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾
	DDT	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾
	Chlordane	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾

Notes:

STD : Salinity, Temperature, Depth Measuring System

PHSA : A Practical Handbook on Seawater Analysis

JIS : Japan Industrial Standard

SMEWW : Standard Method for Examination of Water and Wastewater

EPA : Environmental Protection Agency

(1) Notification No. 46, 1971 of the Japanese Environmental Agency

(2) Tentative Survey Manual of External Factor Endocrine Disturbance Chemical Substance

TOC was analyzed in dry season.

Se subcontrató el *Laboratorio Ambiental Nuevo Tamaulipas* para la mayoría de los análisis de los parámetros de toxicidad en el estudio de la época de estiaje. Sin embargo, algunos métodos analíticos han sido cambiados debido a la carencia de equipo y reactivos. Por otra parte, el Equipo de Estudio de JICA y el Laboratorio de la CNA en Tampico analizaron todos los parámetros de las muestras de la época de lluvia. La mayoría de los parámetros de toxicidad fueron realizados utilizando los métodos del JIS K0102 y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

4.3.2 Resultados del Estudio de Calidad del Agua

(1) Época de Estiaje

Los resultados de los análisis de la calidad del agua en la época de estiaje se muestran en la Tabla 4.10(1), Tabla 4.10(2) y Tabla 4.11. Los resultados resumidos se muestran también en las Tablas 4.12 y 4.13

a) Parámetros Básicos

La transparencia fue menor de 1 m en todos los sitios de monitoreo del Río Pánuco, de la Laguna de Pueblo Viejo y de la Laguna del Conejo. En la zona costera, la transparencia fue comparativamente baja, lo cual es posiblemente una característica común en esta área.

La distribución de la salinidad mostró un comportamiento característico en la boca del río Pánuco. Durante el estudio de campo preliminar, se encontró que se habían distribuido cuerpos de agua de baja salinidad en la capa superior hasta 5 Km. fuera de la boca del río en la época de estiaje. Por otra parte, el agua del río se extendió fuera de la costa a 1 Km de la boca del río en la época de estiaje. También se observó que el gradiente salino se introducía gradualmente en el Río Pánuco en la capa más baja. En la unión del río Tamesí, se encontró una salinidad de 30 en la capa más baja. Se puede identificar una termoclina y una halinoclina típica en el área de estudio del río Pánuco, desde la boca hasta la unión con el río Tamesí.

Se encontraron cambios espaciales en el oxígeno disuelto (OD) del río y de las lagunas, y muy poco cambio en la zona costera. Especialmente en el río Pánuco, en donde se encontró un valor comparativamente más alto en la capa superficial que en la capa inferior. El oxígeno disuelto de los sitios de monitoreo fue bastante más bajo en la Laguna del Conejo que aquellos de otras áreas.

La distribución de los sólidos suspendidos (SS) fue muy alta en la Laguna de Pueblo Viejo. En el río Pánuco, fue comparativamente mayor en la capa superficial, la cual vario de 10 a 27 mg/L. Para los otros incluyendo la zona costera, fue generalmente bajo, sin embargo, algunos de los sitios de monitoreo mostraron valores notablemente altos de SS.

La DQO, la cual indica la cantidad de materia orgánica, mostró concentraciones altas ente 7 y 9 mg/L en el río Pánuco y en la Laguna del Conejo, especialmente en los sitios PR3, PR5, CL-1, CL-2. En la zona costera, también se encontró una concentración comparativamente alta entre 1 y 2 mg/L.

Se observaron niveles bajos de sales de nutrientes, tales como el nitrógeno amoniacal, el nitrógeno de nitritos el nitrógeno de nitratos y el fósforo de fosfatos. En general excepto por algunos sitios, es necesario llevar a cabo un monitoreo continuo para determinar la tendencia en los cambios de estos parámetros.

En el Río Pánuco y en la Laguna del Conejo se encontraron valores altos de clorofila-a que variaban de 40 a 70 mg/L.

Esta distribución de la clorofila-a corresponde a la presencia de DQO, lo cual indica una relación entre el DQO y la clorofila como se describe en la Figura 4.10. Se puede deducir de esta figura que el valor más alto de DQO es debido al incremento de clorofila- a, lo que es llamado producción interna del fitoplancton. El punto de intersección de la línea aproximada y el eje Y debería ser un valor positivo, pero como se puede observar en la figura tiene un valor negativo. Una de las razones para que esto suceda es el método utilizado, el cual es llamado determinación espectrofotométrica, no es muy sensitivo y el punto cero del espectrofotómetro variaba considerablemente.

El número de coliformes totales fue notoriamente mayor en el río Pánuco, y los valores incidan que la mitad de la Laguna de Pueblo Viejo está contaminada con bacterias. Se requiere observación continua en estas áreas. Para la zona costera, los coliformes totales y fecales fueron mayores en la boca del río Pánuco que en cualquier otra de las secciones de la zona costera.

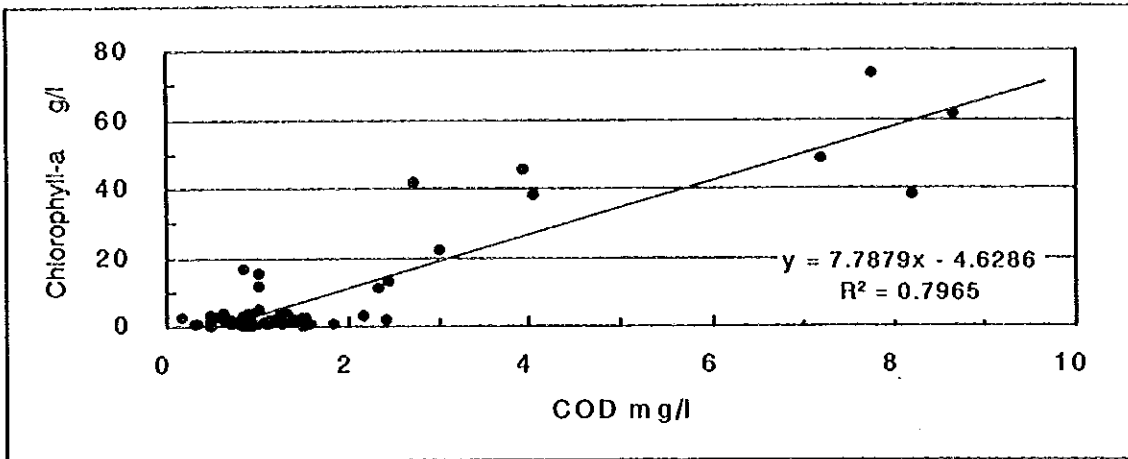


Figura 4.10 Relación entre el DQO y Clorofila -a en la Zona de Monitoreo

Tabla 4.10(1) Resultados de los Análisis de la Calidad del Agua en la Epoca de Estiaje (Parámetros Básicos)

Point No.	Sampling Depth (m)	Depth (m)	Transparency (m)	Forel Color No	Water Temperature ()	Salinity	pH	DO (mg/l)	COD mg/l)	SS (mg/l)
PR-1	0.5	10	0.5	17	23.9	12.56	8.2	9.2	2.7	27
	9.0				22.7	33.83	8.0	5.9	0.8	16
PR-2	0.5	12	0.7	17	23.7	14.09	8.3	10	4.1	15
PR-3	0.5	9.5	0.7	16	24.2	6.27	8.5	13	7.2	21
	8.5				22.7	33.91	8.1	5.2	1.0	11
PR-4	0.5	7.2	0.6	16	24.4	7.21	8.5	13	3.9	11
PR-5	0.5	9.0	0.8	18	25.1	3.06	8.6	15	7.8	25
	8.0				22.8	33.31	8.0	4.2	1.0	13
PL-1	0.5	5.8	0.6	18	24.4	13.85	8.3	7.7	3.0	25
PL-2	0.5	1.3	0.1	20	24.1	17.16	8.1	7.5	2.4	130
PL-3	0.5	1.0	0.3		25.6	18.82	8.2	7.2	1.0	63
PL-4	0.5	1.2	0.2	19	25.6	18.00	8.2	7.6	2.3	68
PL-5	0.5	1.1	0.4	20	26.4	16.40	8.3	11	2.2	71
AP-1	0.5	3.0	1.6	7	23.3	35.96	8.1	6.6	0.2	3
AP-2	0.5	14	6.0	6	23.7	35.64	8.1	7.1	0.5	6
	10				22.5	36.05	8.1	6.4	0.5	9
AP-3	0.5	7.2	2.1	6	24.0	35.59	8.1	6.8	0.5	3
AP-4	0.5	13	5.0	6	23.5	35.53	8.1	6.9	0.5	5
	10				22.6	36.06	8.1	7.5	1.1	8
AP-5	0.5	13	1.5	6	23.5	35.47	8.2	7.2	0.3	5
	10				22.9	35.59	8.2	6.4	1.3	2
CL-1	0.5	2.3	0.7	16	25.9	1.23	8.1	5.8	8.2	13
CL-2	0.5	0.7	0.5	17	26.0	1.24	8.0	3.1	8.7	22
SL1-1	0.5	11	1.5	9	23.7	36.14	8.1	6.5	0.9	6
	10				22.9	36.22	8.1	6.2	1.2	5
SL1-2	0.5	15	2.5	9	23.7	36.10	8.2	7.0	1.0	5
SL2-1	0.5	13	1.5	10	23.7	36.15	8.2	6.7	1.1	4
	10				23.0	36.22	8.2	5.9	0.8	9
SL2-2	0.5	18	2.6	8	23.8	36.14	8.2	6.5	0.8	3
	10				22.7	36.30	8.3	6.3	1.3	4
SL3-1	0.5	9.5	2.0	10	23.5	36.18	8.2	6.6	2.4	4
	8.5				22.8	36.29	8.2	6.1	1.4	14
SL3-2	0.5	20	2.5	8	23.5	36.02	8.2	6.4	1.4	3
SL4-1	0.5	13	2.0	13	23.2	36.21	8.2	6.9	0.7	8
	10				22.8	36.29	8.2	6.4	0.6	7
SL4-2	0.5	17	2.7	8	24.1	36.04	8.2	6.9	0.9	45
	10				22.8	36.29	8.2	5.9	0.8	26
SL5-1	0.5	8.0	2.0	8	23.4	36.10	8.2	6.6	1.5	6
	7.0				22.7	36.28	8.2	5.7	0.6	4
SL5-2	0.5	20	2.5	8	24.0	36.08	8.2	6.6	1.8	5
SL6-1	0.5	11	2.7	10	23.4	36.02	8.2	6.5	1.1	5
	10				22.7	36.28	8.2	6.0	1.5	4
SL6-2	0.5	20	1.7	10	24.7	35.72	8.2	6.7	0.9	7
	10				22.8	36.27	8.2	5.9	0.7	10
SL7-1	0.5	15	1.0	16	24.9	33.41	8.2	6.6	1.6	20
	10				24.3	36.08	8.2	6.1	0.8	14
SL7-2	0.5	14	1.0	14	25.2	33.11	8.2	7.1	1.5	22
	10				24.1	36.25	8.2	6.7	1.3	11
SL7-3	0.5	14	2.1	10	24.2	36.25	8.2	6.5	0.9	4
	10				23.9	36.27	8.3	6.8	0.7	10
SL7-4	0.5	25	4.0	6	24.0	36.27	8.3	6.6	0.8	1
SL8-1	0.5	6.8	1.5	10	24.5	36.27	8.3	6.7	1.6	7
	5.8				24.3	36.26	8.2	6.5	1.1	7
SL8-2	0.5	12	2.0	8	24.1	36.27	8.2	4.8	0.4	14
PM-1	0.5	12	2.0	10	23.4	36.11	8.2	6.2	0.8	6
	10				22.6	36.30	8.2	6.0	1.3	8
PM-2	0.5	9.0	1.1	13	23.6	36.17	8.2	6.3	1.3	12
	8.0				22.7	36.29	8.2	6.0	1.2	14
PM-3	0.5	5.4	1.1	16	24.7	36.22	8.2	6.8	1.4	18
	4.4				24.6	36.21	8.2	6.8	0.8	27
PM-4	0.5	6.0	1.2	15	24.5	36.23	8.2	6.7	0.9	50
	5.0				24.4	36.23	8.2	6.5	1.0	29

Note:

Sampling Dates:

March 1, 1999 at PR-1 to PR-5, PL-1 to PL-5

March 2, 1999 at AP-1 to AP-5, CL-1 to CL-2

March 8, 1999 at SL6-1 to SL8-2, PM-1 to PM-4

March 9, 1999 at SL1-1 to SL5-2

Tabla 4.10(2) Resultados de los Análisis de la Calidad del Agua en la Epoca de Estiaje (Parámetros Básicos)

Point No.	Sampling Depth (m)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	Total Nitrogen (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	Total Phosphorus (mg/l)	Chlorophyll-a (g/l)	Total Coliform (Col./100 ml)	Fecal Coliform (Col./100 m)
PR-1	0.5	<0.01	0.01	0.16	0.72	0.07	0.12	42	2.3×10 ³	4.7×10 ²
	9.0	0.06	0.01	0.03	0.41	0.01	0.17	16		
PR-2	0.5	0.02	0.02	0.18	0.65	0.07	0.23	38	4.9×10 ³	4.0×10 ³
PR-3	0.5	0.02	0.02	0.16	0.56	0.07	0.25	49	5.8×10 ²	5.7×10 ¹
	8.5	0.04	0.02	0.05	0.39	0.02	0.21	5.0		
PR-4	0.5	0.01	0.01	0.21	0.60	0.06	0.15	46	1.8×10 ²	4.2×10 ¹
PR-5	0.5	0.04	0.01	0.17	0.57	0.08	0.23	73	3.0×10 ⁰	3.0×10 ⁰
	8.0	0.04	0.01	0.09	0.37	0.10	0.12	12		
PL-1	0.5	0.04	0.01	0.13	0.65	0.07	0.11	22	1.6×10 ¹	1.6×10 ¹
PL-2	0.5	0.03	0.01	0.14	0.42	0.06	0.10	13	2.3×10 ³	8.3×10 ²
PL-3	0.5	0.03	<0.01	0.01	0.27	0.07	0.12	15	7.0×10 ⁰	ND
PL-4	0.5	<0.01	<0.01	<0.01	0.65	0.06	0.08	11	9.8×10 ²	9.8×10 ²
PL-5	0.5	<0.01	<0.01	<0.01	0.65	0.05	0.08	3.2	6.0×10 ⁰	2.0×10 ⁰
AP-1	0.5	<0.01	<0.01	0.01	0.13	0.02	0.04	2.7	1.5×10 ¹	1.0×10 ⁰
AP-2	0.5	<0.01	<0.01	0.01	0.16	0.02	0.15	0.2	4.0×10 ⁰	ND
	10	<0.01	<0.01	<0.01	0.09	0.01	0.05	2.2		
AP-3	0.5	<0.01	<0.01	<0.01	0.13	0.01	0.09	1.2	8.0×10 ⁰	1.0×10 ⁰
AP-4	0.5	<0.01	<0.01	<0.01	0.09	0.01	0.08	2.9	1.4×10 ⁰	1.0×10 ⁰
	10	<0.01	<0.01	<0.01	0.12	0.01	0.05	0.6		
AP-5	0.5	<0.01	<0.01	<0.01	0.20	0.03	0.10	0.7	1.1×10 ¹	5.0×10 ⁰
	10	<0.01	<0.01	<0.01	0.18	0.01	0.03	2.7		
CL-1	0.5	0.02	<0.01	<0.01	1.4	0.07	0.12	38	3.8×10 ¹	2.9×10 ¹
CL-2	0.5	0.02	<0.01	<0.01	1.6	0.15	0.17	62	1.8×10 ²	3.2×10 ¹
SL1-1	0.5	<0.01	<0.01	0.05	0.09	0.05	0.08	0.1	ND	ND
	10	<0.01	<0.01	0.02	0.17	0.06	0.11	2.0		
SL1-2	0.5	<0.01	<0.01	0.02	0.02	0.02	0.09	0.7	ND	ND
SL2-1	0.5	0.01	<0.01	0.02	0.14	0.05	0.07	1.8	ND	ND
	10	0.01	<0.01	0.03	0.08	0.04	0.10	1.4		
SL2-2	0.5	<0.01	<0.01	0.04	0.24	0.04	0.04	1.9	ND	ND
	10	0.01	<0.01	0.03	0.23	0.04	0.08			
SL3-1	0.5	0.01	<0.01	0.02	0.28	0.03	0.12	1.6	ND	ND
	8.5	0.01	<0.01	0.02	0.20	0.05	0.09	1.2		
SL3-2	0.5	<0.01	<0.01	0.02	0.02	0.08	0.15	2.1	ND	ND
SL4-1	0.5	0.01	<0.01	0.02	0.13	0.02	0.07	2.1	ND	ND
	10	<0.01	<0.01	0.02	0.15	0.03	0.11	4.0		
SL4-2	0.5	<0.01	<0.01	0.02	0.11	0.04	0.11	0.6	ND	ND
	10	0.01	<0.01	0.02	0.16	0.05	0.11	0.1		
SL5-1	0.5	0.01	<0.01	0.02	0.13	0.04	0.06	2.3	ND	ND
	7.0	<0.01	<0.01	0.03	0.13	0.04	0.09	1.8		
SL5-2	0.5	0.02	<0.01	0.03	0.14	0.04	0.05	0.9	1.4×10 ¹	9.0×10 ⁰
SL6-1	0.5	<0.01	<0.01	0.03	0.18	0.03	0.07	1.4	5.0×10 ⁰	ND
	10	0.01	<0.01	0.04	0.21	0.03	0.06	0.2		
SL6-2	0.5	<0.01	<0.01	0.02	0.12	0.04	0.07	1.0	1.0×10 ⁰	ND
	10	<0.01	<0.01	0.03	0.18	0.03	0.08	0.7		
SL7-1	0.5	<0.01	<0.01	0.01	0.35	0.05	0.10	0.5	9.1×10 ¹	6.7×10 ¹
	10	0.01	<0.01	0.02	0.32	0.03	0.07	1.8		
SL7-2	0.5	<0.01	<0.01	0.03	0.36	0.10	0.13	2.4	1.4×10 ¹	8.0×10 ⁰
	10	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.6		
SL7-3	0.5	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.3	ND	ND
	10	<0.01	<0.01	0.01	0.15	0.04	0.08	0.5		
SL7-4	0.5	<0.01	<0.01	0.01	0.12	0.03	0.05	0.5	ND	ND
SL8-1	0.5	<0.01	<0.01	0.01	0.20	0.03	0.04	0.6	ND	ND
	5.8	<0.01	<0.01	0.03	0.04	0.07	0.10	0.6		
SL8-2	0.5	0.01	<0.01	0.01	0.05	0.03	0.12	0.5	ND	ND
PM-1	0.5	0.01	<0.01	0.02	0.13	0.03	0.04	2.8	3.0×10 ⁰	ND
	10	0.02	<0.01	0.03	0.05	0.04	0.04	1.0		
PM-2	0.5	0.01	<0.01	0.02	0.11	0.04	0.20	3.7	1.6×10 ¹	ND
	8.0	0.01	<0.01	0.04	0.10	0.04	0.13	2.9		
PM-3	0.5	<0.01	<0.01	0.03	0.19	0.03	0.04	1.4		
	4.4	<0.01	<0.01	0.01	0.14	0.03	0.04	2.0		
PM-4	0.5	0.01	<0.01	0.11	0.30	0.04	0.06	3.7	ND	ND
	5.0	0.02	<0.01	<0.01	0.15	0.04	0.08	4.4		

Note:

Sampling Dates:

March 1, 1999 at PR-1 to PR-5, PL-1 to PL-5

March 2, 1999 at AP-1 to AP-5, CL-1 to CL-2

March 8, 1999 at SL6-1 to SL8-2, PM-1 to PM-4

March 9, 1999 at SL1-1 to SL5-2

Tabla 4.11 Resultados de los Análisis de la Calidad del Agua en la Epoca de Estiaje
(Parámetros de Toxicidad)

Point No.	Sampling Depth (m)	Hexane Extract (mg/l)	Phenols (mg/l)	Cyanide (mg/l)	Cr (mg/l)	Cr ⁶⁺ (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Ni (mg/l)	As (mg/l)	Hg (mg/l)
PR-1	0.5	1.2	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	0.01	<0.005	0.033	<0.005	0.002	<0.001
PR-2	0.5	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR-3	0.5	1.4	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.019	<0.005	0.004	<0.001
PR-4	0.5	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR-5	0.5	1.9	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.023	<0.005	0.004	<0.001
PL-2	0.5	1.3	<0.001	<0.006	0.02	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.049	<0.005	0.004	<0.001
PL-4	0.5	1.7	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.050	<0.005	0.002	<0.001
PL-5	0.5	1.9	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.037	<0.005	0.001	<0.001
AP-2	0.5	1.7	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.041	<0.005	<0.001	<0.001
AP-4	0.5	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AP-5	0.5	1.5	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.045	<0.005	0.002	<0.001
CL-1	0.5	2.8	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.023	<0.005	<0.001	<0.001
SL1-1	0.5	1.0	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.004	0.006	<0.001	<0.001
SL2-1	0.5	0.7	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.010	0.005	<0.001	<0.001
SL2-2	0.5	2.2	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.006	<0.005	<0.001	<0.001
SL3-1	0.5	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL4-1	0.5	1.2	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.011	<0.005	<0.001	<0.001
SL4-2	0.5	1.2	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.010	<0.005	<0.001	<0.001
SL6-1	0.5	1.7	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.004	<0.005	<0.001	<0.001
SL6-2	0.5	1.0	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.002	<0.005	<0.001	<0.001
SL7-1	0.5	1.1	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.016	<0.005	<0.001	<0.001
SL7-3	0.5	0.9	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.002	<0.005	<0.001	<0.001
SL8-1	0.5	0.7	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.002	0.005	<0.001	<0.001
PM-1	0.5	0.6	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.004	0.007	<0.001	<0.001
PM-4	0.5	1.2	<0.001	<0.006	<0.01	<0.01	<0.002	<0.01	<0.005	0.007	<0.005	<0.001	<0.001

Point No.	Sampling Depth (m)	Alkyl-Hg (mg/l)	Organo Phosphorus (mg/l)	Trichloroethylene (mg/l)	Tetrachloroethylene (mg/l)	Carbon Tetrachloride (mg/l)	PCB (mg/l)	HCB (mg/l)	Aldrin (mg/l)	Endrin (mg/l)	Dieldrin (mg/l)	DDT (mg/l)	Chlordane (mg/l)
PR-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PR-2	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR-3	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PR-4	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR-5	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-4	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-5	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AP-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AP-4	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AP-5	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CL-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL1-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL2-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL2-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL3-1	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL4-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL4-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL6-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL6-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL7-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL7-3	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL8-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-4	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Note

Sampling Dates:

March 1, 1999 at PR-1 to PR-5, PL-2, PL-4, PL-5

March 2, 1999 at AP-2, AP-4, AP-5, CL-1

March 8, 1999 at SL6-1, SL6-2, SL7-1, SL7-3, SL8-1, PM-1, PM-4

March 9, 1999 at SL1-1, SL2-1, SL2-2, SL3-1, SL4-1, SL4-2

ND means "Not Detected".

Tabla 4.12 Resumen de los Resultados del Monitoreo Piloto de la Calidad del Agua en la Epoca de Estiaje (Parámetros Básicos)

Parameter	Panuco River	Pueblo Viejo Lagoon	Conejo Lagoon	Atamira Industrial Port	Coastal Area (River Mouth)	Coastal Area
Transparency(m)	0.5-0.8	0.1-0.6	S:0.5-0.7	1.5-6.0	1.0-4.0	1.5-2.7
Water temperature(°C)	S:23.7-25.1, B:22.7-22.8	S:24.1-26.4	S:25.9-26.0	S:23.3-24.0, D:22.5-22.9	S:23.4-25.2, D:22.6-24.6	S:23.2-24.1, D:22.7-23.0
Salinity	S:3.06-14.09, B:33.31-33.91	S:13.85-18.82	S:2	S:35.47-35.96, D:35.59-36.06	S:33.11-36.27, D:36.08-36.30	S:36.02-36.21, D:36.22-36.30
pH	S:8.2-8.6, B:8.0-8.1	S:8.1-8.3	S:8.0-8.1	S:8.1-8.2, D:8.1-8.2	S:8.2-8.3, D:8.2-8.3	S:8.1-8.2, D:8.1-8.3
DO(mg/l)	S:9.2-15, B:4.2-5.9	S:7.2-11	S:3.1-5.8	S:6.6-7.2, D:6.4-7.5	S:4.8-7.1, D:5.9-6.8	S:6.4-7.0, D:5.7-6.4
COD (mg/l)	S:2.7-7.8, B:0.8-1.0	S:1.0-1.3	S:8.2-8.7	S:0.2-0.5, D:0.5-1.3	S:0.4-1.6, D:0.7-1.5	S:0.7-8.7, D:0.6-1.4
SS(mg/l)	S:11-27, B:11-16	S:25-130	S:19-22	S:3-6, D:2-9	S:1-50, D:4-29	S:3-45, D:4-26
NH ₄ -N(mg/l)	S:<0.01-0.04, B:<0.04-0.06	S:<0.01-0.04	S:0.02	S:<0.01, D:<0.01	S:<0.01-0.01, D:<0.01-0.02	S:<0.01-0.02, D:<0.01-0.01
NO ₂ -N(mg/l)	S:0.01-0.02, B:0.01-0.02	S:<0.01-0.01	S:<0.01	S:<0.01, D:<0.01	S:<0.01, D:<0.01	S:<0.01, D:<0.01
NO ₃ -N(mg/l)	S:0.16-0.21, B:0.03-0.09	S:<0.01-0.14	S:<0.01	S:<0.01-0.01, D:<0.01	S:0.01-0.11, D:<0.01-0.04	S:0.02-0.05, D:0.02-0.03
T-N(mg/l)	S:0.56-0.72, B:0.37-0.41	S:0.27-0.65	S:1.4-1.6	S:0.09-0.20, D:0.09-0.18	S:0.01-0.36, D:0.01-0.32	S:0.02-0.28, D:0.08-0.23
PO ₄ -P(mg/l)	S:0.06-0.08, B:0.01-0.10	S:0.05-0.07	S:0.07-0.15	S:0.01-0.03, D:0.01-0.03	S:0.03-0.10, D:0.02-0.07	S:<0.02-0.08, D:0.03-0.06
T-P(mg/l)	S:0.12-0.25, B:0.12-0.21	S:0.08-0.12	S:0.12-0.17	S:0.04-0.15, D:0.03-0.05	S:0.04-0.20, D:0.04-0.13	S:0.04-0.15, D:0.08-0.11
Chlorophyll-a(µg/l)	S:38-73, B:5.0-16	S:3.2-22	S:38-62	S:0.2-2.9, D:0.6-2.7	S:0.3-3.7, D:0.2-4.4	S:0.1-2.3, D:0.1-4.0
Total coliform(Col./100ml)	S:1.8 X 10 ² -4.9 X 10 ³	S:6.0 X 10 ³ -1.6 X 10 ⁴	S:3.6 X 10 ¹ -1.8 X 10 ²	S:4.0 X 10 ² -1.5 X 10 ³	S:ND-9.1 X 10 ¹	S:ND-1.4 X 10 ¹
Fecal coliform(Col./100ml)	S:3.0 X 10 ⁰ -4.0 X 10 ³	S:ND-1.6 X 10 ¹	S:2.9 X 10 ¹ -3.2 X 10 ¹	S:ND-6.0 X 10 ⁰	S:ND-6.7 X 10 ¹	S:ND-9.0 X 10 ⁰

Notes

S: Surface(0.5 m layer), B: 1m above from the bottom, D: means 10 m under from the surface, if the depth is 10 m below at the point, it shows 1 m above from the bottom.

Coastal Area: it means the points of SL1-S15 lines, Coastal Area (River Mouth); it means the points of SL-6, SL-7, SL-8 and PM lines.

ND means "Not detected".

Tabla 4.13 Resumen de los Resultados del Monitoreo Piloto de la Calidad del Agua en la Epoca de Estiaje (Parámetros Tóxicos)

Parameter	Panuco River	Pueblo Viejo Lagoon	Conejo Lagoon	Altamira Industrial Port	Coastal Area(River Mouth)	Coastal Area
Phenols (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cyanide (mg/l)	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Cr (mg/l)	<0.01	<0.01-0.024	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cr ⁶⁺ (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cd (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb (mg/l)	<0.01-0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cu (mg/l)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005-0.006	<0.005
Zn (mg/l)	0.028	0.019-0.023	0.028	0.037-0.05	0.002-0.016	0.004-0.01
Ni (mg/l)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005-0.006	<0.005-0.006	<0.005-0.007
As (mg/l)	0.002-0.004	0.001-0.004	<0.001	<0.001-0.002	<0.001	<0.001
T-Hg (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Alkyl-mercury(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Methyl parathion(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Parathion(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Tetrachloroethylene(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Carbon tetrachloride(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
PCB(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
HCB (mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Aldrin (mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Endrin(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dieldrin(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
DDT(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Chlordane(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

Note

Coastal Area(River Mouth) means the points of SL6, SL7, SL8 and PM lines.

Coastal Area means the points of SL1-SL5 lines.

All samples were taken under the surface.

b) Parámetros de Toxicidad

Diecinueve de los 25 parámetros analizados, por ejemplo cianuro, cromo hexavalente, plaguicidas, PCB, mostraron valores de concentración bajo el límite de detección mínimo en todos los puntos de monitoreo.

Los extractos de hexano de la mayoría de los sitios de monitoreo variaron de 1 a 2 mg/L. Partiendo de que el agua contiene de 0.1 a 0.01 mg/L de aceites minerales, como los extractos de hexano, los peces y los moluscos en general, tienen olor a aceite. Es necesario observar esta característica mas de cerca, de ahora en adelante.

Solamente en un punto se detectaron tres metales pesados que sobrepasaron el límite de detección, estos son cromo, cobre y níquel, pero el valor no sobrepasó tres veces el límite mínimo de detección.

El arsénico, que tiene un límite de detección mínimo de 0.001 mg/L, se detecto en varios sitios de monitoreo con valores entre 0.001 y 0.004 mg/L en 7 sitios. pero estas cantidades no sobrepasan el nivel permisible para agua de mar en zona costeras, como está establecido por la CNA (con un criterio de 0.04 mg/L) y por los criterios ambientales Japoneses (0.01 mg/L).

La concentración de zinc mostró valores por encima del límite de detección en todos los sitios de monitoreo. Las concentraciones en cada área fueron las siguientes:

Laguna de Pueblo Viejo	:	0.04 - 0.05 mg/L
Puerto Industrial de Altamira	:	0.04 - 0.05 mg/L
Río Pánuco	:	0.02 - 0.03 mg/L
Zona Costera	:	0.002- 0.02 mg/L

Aunque el valor permisible de la CNA es 0.09 mg/L, no se puede hacer ninguna conclusión de lo que sucede en estas áreas.

(2) Epoca de Lluvias

Los resultados de los análisis de la calidad en la época de lluvias se muestran en la Tabla 4.14(1), Tabla 4.14(2) y Tabla 4.15. El resumen de los resultados se presentó en las Tablas 4.16 y 4.17.

a) Parámetros Básicos

En general los resultados del estudio de la época de lluvias, que se realizó durante marea menguante, mostraron un nivel de salinidad baja. Especialmente en el Río Pánuco había agua dulce en la boca del Río, inclusive en la capa inferior. La masa de agua salina que se encontró en la capa inferior durante la época de estiaje había desaparecido y el efecto alcanzó el área noreste de la Laguna de Pueblo Viejo. El

nivel de salinidad disminuyó a más de la mitad del valor que se encontró durante la época de estiaje en la mayor parte de la laguna.

Tabla 4.14(1) Resultados de los Análisis de la Calidad del Agua en época de lluvia
(Parámetros Básicos)

Point No.	Sampling Depth(m)	Depth (m)	Transparenc y (m)	Forel Color No	Water Temperat ure ()	Salinity	pH	DO (mg/l)	COD mg/l	TOC (mg/l)	SS (mg/l)
PR-1	0.5	9.1	0.3	20	27.3	<2	7.6	5.2	3.6	6.5	280
	8.1				27.2		7.8	5.1	4.1	5.9	370
PR-2	0.5	5.5	0.3	18	26.9	<2	7.7	5.2	3.6	3.2	210
PR-3	0.5	13	0.4	20	26.8	<2	7.6	5.5	3.9	2.5	310
	10				26.7		7.8	5.2	5.4	4.2	560
PR-4	0.5	6.9	0.3	17	29.2	<2	7.6	4.9	4.4	7.5	43
PR-5	0.5	9.1		19			7.6	5.5	4.4	6.5	380
(Uncollected)											
PL-1	0.5	5.4	0.3	18	27.1	<2	7.0	5.8	1.8	2.3	130
PL-2	0.5	1.1	0.5	12	27.7	<2	7.0	5.9	1.3	2.2	30
PL-3	0.5	1.0	0.6	17	28.9	10.60	8.0	6.0	4.3	6.8	21
PL-4	0.5	1.3	0.5	17	28.7	8.36	8.3	6.0	5.2	7.6	55
PL-5	0.5	1.3	0.7	19	28.7	6.96	8.0	6.4	6.8	10	13
AP-1	0.5	4.1	2.6	8	27.9	31.97	8.2	6.8	3.4	1.6	5
AP-2	0.5	8.5	2.5	9	28.4	29.75	8.2	7.4	1.0	2.3	4
	7.5				24.7		8.0	4.0	1.0	1.7	10
AP-3	0.5	4.7	1.0	9	27.3	32.51	8.2	6.3		1.7	11
AP-4	0.5	11	1.3	9	27.0	32.85	8.2	8.2	1.6	2.5	10
	10				22.7		7.9	3.6	0.9	1.2	13
AP-5	0.5	13	1.1	21	26.5	32.12	8.2	8.9	4.8	5.1	12
	10				22.7		7.9	3.3	2.6	1.3	10
CL-1	0.5	2.1	0.4	12	29.3	0.92	7.3	3.1	8.2	12	24
CL-2	0.5	1.2	0.4		29.6	0.86	7.2	<0.5	8.9	13	20
MA-1	0.3	0.2	0.2	15	32.5	13.31	9.0	12	10	32	100
MA-2	1.0	0.5	0.3	16	31.1	12.25	9.0	10	10	35	37
MA-3	0.5	0.2	0.3	14	31.3	12.80	8.9	4.4	10	33	30
SL1-1	0.5	9.1	3.1	8	27.8	32.12	8.1	7.0	0.8	2.8	1
	8.1				24.2		8.0	4.7	2.1	2.3	5
SL1-2	0.5	15	4.0	6	27.8	32.38	8.2	8.3	2.2	2.5	2
SL2-1	0.5	11	4.0	8	28.0	32.37	8.2	7.2	1.9	2.5	2
	10				22.5		7.9	3.8	3.0	2.5	6
SL2-2	0.5	18	3.8	6	27.6	32.47	8.2	7.1	1.5	2.2	3
	10				22.9		8.0	6.0	0.9	1.8	1
SL3-1	0.5	9.4	3.5	8	27.0	33.05	8.2	6.0	1.7	2.8	3
	8.4				23.2		7.3	3.2	1.8	2.6	22
SL3-2	0.5	17	4.0	7	27.0	32.76	8.2	7.0	1.4	2.5	2
SL4-1	0.5	9.6	3.6	8	27.2	32.16	8.2	6.9	2.0	2.5	2
SL4-2	0.5	17	4.6	7	27.0	33.01	8.2	7.0	2.5	2.3	1
	10				23.4		8.1	6.0	1.1	1.7	1
SL5-1	0.5	9.3	2.8	8	27.5	32.65	8.2	9.0	1.3	3.3	3
	8.3				23.0		8.1	7.2	1.7	3.0	5
SL5-2	0.5	17	3.0	6	27.7	33.15	8.2	8.6	1.6	3.1	3
	10				22.8		8.1	5.6	1.1	2.5	5
SL6-1	0.5	12	2.1	17	27.8	32.57	8.3	9.2	1.9	3.2	5
	10				22.8		8.1	5.6	1.1	2.5	5
SL6-2	0.5	20	2.3	16	27.1	33.40	8.1	8.5	3.8	2.8	4
	10				22.7		8.0	5.6	1.0	2.3	3
SL7-1	0.5	14	1.0	17	26.4	19.77	8.1	6.8	2.9	3.5	19
	10				22.7		8.0	5.6	1.7	2.3	3
SL7-2	0.5	15	1.5	14	25.8	33.01	8.1	6.9	3.0	3.4	15
	10				22.6		8.1	5.9	0.7	2.2	3
SL7-3	0.5	14	1.0	16	26.2	32.10	8.2	7.5	2.3	3.5	16
	10				22.7		8.1	6.5	1.7	2.4	3
SL7-4	0.5	21	1.5	17	26.5	35.53	8.2	8.6	1.7	3.2	9
SL8-1	0.5	5.7	1.2	17	26.8	34.69	8.3	8.7	2.0	3.4	13
	4.7				26.1		8.1	6.6	1.5	2.3	3
SL8-2	0.5	9.7	1.3	15	26.8	34.94	8.2	8.1	2.0	3.1	11
PM-1	0.5	14	1.9	14	27.3	31.72	8.2	8.9	2.1	3.0	5
	10				22.9		8.1	5.8	2.6	2.4	6
PM-2	0.5	12	2.5	17	26.9	31.63	8.3	8.8	3.8	2.6	5
	10				22.9		8.1	6.0	1.2	2.4	5
PM-3	0.5	5.8	1.0	18	26.7	30.99	8.0	6.3	1.8	3.2	22
	4.8				26.0		8.0	6.0	0.8	2.2	7
PM-4	0.5	4.1	0.9	17	27.3	26.45	8.1	8.4	2.7	3.1	31
	3.1				26.5		8.2	6.7	2.4	3.3	13

Note

Bottom sample at PR-5 could not be taken because of strong flow.

Sampling Dates:

July 19, 1999 at SL6-1 to SL8-2, PM-1 to PM-4

July 20, 1999 at SL1-1 to SL5-2

July 21, 1999 at PR-1 to PR-5, PL-1 to PL-5, AP-1 to AP-5

July 22, 1999 at CL-1 to CL-2

Tabla 4.14(2) Resultados de los Análisis de la Calidad del Agua en época de lluvia
(Parámetros Básicos)

Point No.	Sampling Depth(m)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	Total Nitrogen (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	Total Phosphorus (mg/l)	Chlorophyll-a (g/l)	Total Coliform (Col/100 ml)	Fecal Coliform (Col/100 ml)
PR-1	0.5	0.007	0.01	0.84	1.2	0.10	0.10	5.8	3.6510 ³	2.9510 ³
	8.1	0.020	0.011	0.34	0.54	0.12	0.13	5.1		
PR-2	0.5	<0.007	0.007	0.49	0.64	0.10	0.11	4.5	2.7510 ³	2.1510 ³
PR-3	0.5	<0.007	0.007	0.44	0.88	0.11	0.11	4.7	3.0510 ³	1.8510 ³
	10	0.008	0.006	0.93	1.1	0.11	0.30	7.0		
PR-4	0.5	0.020	0.007	0.19	0.37	0.060	0.088	18	2.4510 ³	1.2510 ³
PR-5	0.5	0.010	0.007	0.35	1.1	0.13	0.17	4.8	3.5510 ³	2.4510 ³
PL-1	0.5	<0.007	0.007	0.61	0.68	0.091	0.10	2.7	1.7510 ³	1.3510 ³
PL-2	0.5	<0.007	0.006	0.48	0.51	0.10	0.11	3.7	1.3510 ³	5.5510 ³
PL-3	0.5	0.020	<0.002	0.01	0.51	0.044	0.067	12	1.4510 ³	1.1510 ³
PL-4	0.5	0.030	0.005	0.04	0.55	0.048	0.053	16	1.8510 ³	7.0510 ³
PL-5	0.5	<0.007	0.006	0.01	0.35	0.062	0.072	13	5.8510 ³	1.8510 ³
AP-1	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.34	0.005	0.038	1.1	ND	ND
AP-2	0.5	<0.007	<0.002	0.02	0.36	0.010	0.048	3.4	8.0510 ³	2.0510 ³
	7.5	0.010	0.002	0.01	0.17	0.013	0.030	6.7		
AP-3	0.5	<0.007	0.001	0.01	0.32	0.007	0.022	1.8	3.0510 ³	1.0510 ³
AP-4	0.5	<0.007	0.002	0.01	0.42	0.026	0.037	4.7	6.0510 ³	2.0510 ³
	10	0.030	0.004	0.02	0.41	0.003	0.010	1.4		
AP-5	0.5	0.010	0.003	0.01	0.54	0.12	0.13	6.8	1.3510 ³	1.1510 ³
	10	0.040	0.007	0.02	0.37	0.017	0.030	1.3		
CL-1	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.77	0.067	0.20	90	6.1510 ³	1.8510 ³
CL-2	0.5	0.010	0.007	0.02	1.3	0.12	0.51	103	2.0510 ³	ND
MA-1	0.3	0.010	0.004	0.03	1.2	0.03	0.19	120	ND	ND
MA-2	1.0	0.007	0.004	0.08	0.1	0.04	0.36	160	ND	ND
MA-3	0.5	0.007	0.015	0.04	1.1	0.04	0.35	140	ND	ND
SL1-1	0.5	<0.007	<0.002	0.02	0.19	<0.003	0.024	0.5	1.0510 ³	ND
	8.1	<0.007	0.002	0.03	0.36	<0.003	0.034	2.6		
SL1-2	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.32	0.004	0.042	0.8		
SL2-1	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.32	0.007	0.033	0.5	ND	ND
	10	0.009	0.002	0.01	0.38	0.007	0.053	6.0		
SL2-2	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.18	<0.003	0.011	1.1	ND	ND
	10	<0.007	<0.002	0.01	0.22	0.005	0.029	0.8		
SL3-1	0.5	<0.007	0.001	0.01	0.29	0.004	0.025	0.8	ND	ND
	8.4	<0.007	<0.002	0.01	0.37	<0.003	0.037	6.1		
SL3-2	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.24	<0.003	0.027	1.3	ND	ND
SL4-1	0.5	<0.007	<0.002	0.02	0.24	<0.003	0.030	1.4	1.0510 ³	ND
	8.6	<0.007	<0.002	0.01	0.33	<0.003	0.040	5.5		
SL4-2	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.29	0.009	0.023	2.5	1.0510 ³	ND
	10	<0.007	<0.002	0.01	0.20	0.009	0.030	0.6		
SL5-1	0.5	<0.007	0.002	0.02	0.27	<0.003	0.050	3.2	1.0510 ³	ND
	8.3	<0.007	<0.002	0.01	0.04	<0.003	0.055	7.3		
SL5-2	0.5	<0.007	<0.002	0.08	0.27	<0.003	0.041	3.0	3.0510 ³	ND
SL6-1	0.5	<0.007	<0.002	0.03	0.35	<0.003	0.065	4.3	1.0510 ³	ND
	10	<0.007	<0.002	0.04	0.15	<0.003	0.055	6.0		
SL6-2	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.34	<0.003	0.042	5.5	ND	ND
	10	<0.007	<0.002	0.02	0.22	<0.003	0.046	1.6		
SL7-1	0.5	0.030	0.003	0.13	0.13	0.008	0.085	6.5	3.8510 ³	3.0510 ³
	10	<0.007	<0.002	0.02	0.24	<0.003	0.056	1.5		
SL7-2	0.5	0.030	0.003	0.26	0.37	0.020	0.076	7.5	4.8510 ³	4.1510 ³
	10	<0.007	<0.002	0.02	0.21	<0.003	0.034	1.2		
SL7-3	0.5	<0.007	<0.002	0.15	0.57	0.007	0.080	9.0	3.2510 ³	2.0510 ³
	10	<0.007	<0.002	0.02	0.28	<0.003	0.081	0.7		
SL7-4	0.5	<0.007	0.002	0.09	0.43	0.005	0.070	8.5	3.6510 ³	2.8510 ³
SL8-1	0.5	0.010	0.003	0.08	0.22	0.006	0.092	17	2.0510 ³	1.0510 ³
	4.7	<0.007	<0.002	0.02	0.16	<0.003	0.026	4.0		
SL8-2	0.5	<0.007	0.003	0.13	0.15	0.004	0.024	13	1.1510 ³	7.0510 ³
PM-1	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.33	<0.003	0.028	4.6	5.0510 ³	ND
	10	<0.007	<0.002	0.01	0.36	<0.003	0.007	8.5		
PM-2	0.5	<0.007	<0.002	0.01	0.39	<0.003	0.18	4.1	3.0510 ³	3.0510 ³
	10	<0.007	<0.002	0.01	0.18	<0.003	0.047	8.4		
PM-3	0.5	<0.007	0.003	0.14	0.53	0.022	0.024	21	2.6510 ³	2.1510 ³
	4.8	<0.007	0.012	0.02	0.24	<0.003	0.010	6.2		
PM-4	0.5	<0.007	0.003	0.04	0.58	0.013	0.081	20	2.0510 ³	ND
	3.1	<0.007	0.002	0.08	0.36	0.011	0.085	17		

Note

Sampling Dates:

July 19, 1999 at SL6-1 to SL8-2, PM-1 to PM-4

July 20, 1999 at SL1-1 to SL5-2

July 21, 1999 at PR-1 to PR-5, PL-1 to PL-5, AP-1 to AP-5

July 22, 1999 at CL-1 to CL-2

Tabla 4.15 Resultados de los Análisis de la Calidad del Agua en época de lluvia (Parámetros de Toxicidad)

Point No.	Sampling Depth (m)	Hexane Extract (mg/l)	Phenols (mg/l)	Cyanide (mg/l)	Cr (mg/l)	Cr ⁶⁺ (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Ni (mg/l)	As (mg/l)	Hg (mg/l)
PR-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0014	0.0056	0.0017	0.0034	<0.02	<0.0003
PR-3	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0046	0.0058	0.0017	0.0050	<0.02	<0.0003
PR-5	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0049	0.0034	0.0021	0.0010	<0.02	<0.0003
PL-2	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0016	0.0043	0.0012	0.0002	<0.02	<0.0003
PL-4	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0006	0.0036	<0.0005	0.0003	<0.02	<0.0003
PL-5	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0003	0.0035	<0.0005	0.0003	<0.02	<0.0003
AP-2	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0004	0.0044	<0.0005	0.0001	<0.02	<0.0003
AP-5	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0004	0.0025	0.0018	0.0002	<0.02	<0.0003
CL-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0006	0.0002	0.0013	0.0011	<0.02	<0.0003
MA-2	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0003	<0.0002	<0.0005	0.0004	<0.02	<0.0003
SL1-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0005	0.0021	<0.0005	0.0008	<0.02	<0.0003
SL2-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0004	0.0031	0.0011	0.0002	<0.02	<0.0003
SL2-2	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0003	0.0031	0.0008	0.0003	<0.02	<0.0003
SL4-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0003	0.0006	0.0013	0.0010	<0.02	<0.0003
SL4-2	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0003	0.0003	0.0010	0.0004	<0.02	<0.0003
SL6-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0002	<0.0002	0.0009	0.0018	<0.02	<0.0003
SL6-2	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0004	<0.0002	0.0011	0.0007	<0.02	<0.0003
SL7-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0013	<0.0002	0.0016	0.0020	<0.02	<0.0003
SL7-3	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0005	<0.0002	0.0017	0.0016	<0.02	<0.0003
SL8-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0005	<0.0002	<0.0005	0.0007	<0.02	<0.0003
PM-1	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0003	<0.0002	<0.0005	0.0005	<0.02	<0.0003
PM-4	0.5	<0.5	<0.001	<0.01	<0.003	<0.003	<0.0005	0.0011	<0.0002	0.0020	0.0011	<0.02	<0.0003

Point No.	Sampling Depth (m)	Alkyl-Hg (mg/l)	Organo Phosphorous (mg/l)	Trichloroethylene (mg/l)	Tetrachloroethylene (mg/l)	Carbon Tetrachloride (mg/l)	PCB (mg/l)	HCB (mg/l)	Aldrin (mg/l)	Endrin (mg/l)	Dieldrin (mg/l)	DDT (mg/l)	Chlordane (mg/l)
PR-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PR-2	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR-3	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PR-4	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR-5	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-4	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0008	ND	ND	ND
PL-5	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AP-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AP-4	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AP-5	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CL-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.002	ND	ND	ND	ND
MA-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL1-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL2-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL2-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL3-1	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL4-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL4-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL6-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL6-2	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL7-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL7-3	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL8-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-1	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-4	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	ND	ND

Note

Sampling Dates:

July 19, 1999 at SL6-1, SL6-2, SL7-1, SL7-3, SL8-1, PM-1, PM-4

July 20, 1999 at SL1-1, SL2-1, SL2-2, SL3-1, SL4-1, SL4-2

July 21, 1999 at PR-1 to PR-5, PL-2, PL-4, PL-5, AP-2, AP-4, AP-5

July 22, 1999 at CL-1

ND means 'Not Detected'.

Tabla 4.16 Resultados Resumidos del Monitoreo de la Calidad del Agua en la Epoca de Lluvias [Parámetros Básicos]

Parameter	Paracu River	Pueblo Viejo Lagoon	Conep Lagoon	Altamira Industrial Port	Coastal Area (River Mouth)	Coastal Area
Transparency(m)	0.3-0.4	S:0.3-0.7	S:0.4	1.0-2.6	0.9-2.5	2.8-4.6
Water temperature(C)	S:26.8-29.2, B:26.7-27.2	S:27.1-28.9	S:29.3-29.6	S:26.5-28.4, D:22.7-24.7	S:25.8-27.8, D:22.6-26.5	S:27.0-28.0, D:22.5-24.2
Salinity	S:<2, B:<2	S:<2-10.60	S:<2	29.75-32.85, D:34.45-36.12	S:19.77-35.59, D:34.79-36.31	S:32.12-33.15, D:35.13-36.30
PH	S:7.6-7.7, B:7.8	S:7.0-8.3	S:7.2-7.3	S:8.2, D:7.9-8.0	S:8.0-8.3, D:8.0-8.2	S:8.1-8.2, D:7.3-8.1
DO(mg/l)	S:4.9-5.5, B:5.1-5.2	S:5.8-6.4	S:<0.5-3.1	S:6.3-8.9, D:3.9-4.0	S:6.3-9.2, 5.6-6.7	S:6.0-9.0, D:3.2-7.2
COD(mg/l)	S:3.6-4.4, B:4.1-5.4	S:1.3-6.8	S:8.2-8.9	S:1.0-4.8, D:0.9-2.6	S:1.7-3.8, D:0.7-2.6	S:0.8-2.5, D:0.9-3.0
TOC(mg/l)	S:2.5-7.5, B:4.2-5.9	S:2.2-10	S:12-13	S:1.6-5.1, D:1.2-1.7	S:2.6-3.5, D:2.2-3.3	S:2.2-3.3, D:1.7-3.0
SS(mg/l)	S:43-380, B:370-560	S:13-130	S:20-24	S:4-12, D:10-13	S:4-31, D:3-13	S:1-3, D:<1-22
NH ₄ -N(mg/l)	S:<0.007-0.020, B:0.008-0.020	S:<0.007-0.030	S:<0.007-0.010	S:<0.007-0.010, D:0.01-0.040	S:<0.007-0.030, D:<0.007	S:<0.007, D:<0.007-0.009
NO ₂ -N(mg/l)	S:0.007-0.010, B:0.006-0.011	S:<0.002-0.007	S:<0.002-0.007	S:<0.002-0.003, D:0.002-0.007	S:<0.002-0.003, D:<0.002-0.012	S:<0.002-0.002, D:<0.002-0.002
NO ₃ -N(mg/l)	S:0.19-0.84, B:0.34-0.93	S:0.01-0.61	S:0.01-0.02	S:0.01-0.02, D:0.01-0.02	S:0.01-0.26, D:0.01-0.08	S:0.01-0.08, D:0.01-0.03
T-N(mg/l)	S:0.37-1.2, B:0.54-1.1	S:0.35-0.68	S:0.77-1.3	S:0.32-0.54, D:0.17-0.41	S:0.13-0.58, D:0.15-0.36	S:0.18-0.32, D:0.04-0.38
PO ₄ -P(mg/l)	S:0.060-0.13, B:0.11-0.12	S:0.044-0.10	S:0.070-0.12	S:0.005-0.12, D:0.003-0.017	S:<0.003-0.022, D:<0.003-0.011	S:<0.003-0.009, D:<0.003-0.009
T-P(mg/l)	S:0.086-0.17, B:0.13-0.30	S:0.053-0.11	S:0.20-0.51	S:0.022-0.13, D:0.010-0.030	S:0.024-0.18, D:0.007-0.045	S:0.011-0.050, D:0.029-0.055
Chlorophyll-a(µg/l)	S:4.5-18, B:5.1-7.0	S:2.7-16	S:90-100	S:1.1-6.8, D:1.3-6.7	S:4.1-21, D:0.7-17	S:0.5-3.2, D:0.6-7.3
Total coliform(Col/100ml)	S:2.4 x 10 ² -3.6 x 10 ³	S:1.4 x 10 ¹ -1.7 x 10 ³	S:6.1 x 10 ² -2.0 x 10 ³	S:ND-1.9 x 10 ²	S:ND-4.8 x 10 ³	S:ND-3.0 x 10 ³
Fecal coliform(Col/100ml)	S:1.2 x 10 ² -2.9 x 10 ³	S:7.0 x 10 ⁰ -1.3 x 10 ³	S:1.8 x 10 ² -1.5 x 10 ³	S:ND-1.1 x 10 ²	S:ND-4.1 x 10 ³	S:ND

Notes

S: Surface(0.5 m layer), B: 1 m above from the bottom, D: means 10 m under from the surface, if the depth is 10 m below at the point, it shows 1 m above from the bottom.
 Coastal Area: it means the points of SL1-S15 lines, Coastal Area (River Mouth); it means the points of SL-6, SL-7, SL-8 and PM lines.
 ND means "Not detected".

Tabla 4.17 Resultados Resumidos del Monitoreo de la Calidad del Agua en la Epoca de Lluvias [Parámetros Tóxicos]

Parameter	Panuco River	Pueblo Viejo Lagoon	Conejo Lagoon	Altamira Industrial Port	Coastal Area(River Mouth)	Coastal Area
Phenois (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cyanide (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cr (mg/l)	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Cr ⁶⁺ (mg/l)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Cd (mg/l)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Pb (mg/l)	0.0014-0.0049	0.0003-0.0016	0.0006	0.0003-0.0016	0.0002-0.0013	0.0003-0.0005
Cu (mg/l)	0.0034-0.0059	0.0035-0.0043	0.0002	0.0025-0.0044	<0.0002	0.0003-0.0031
Zn (mg/l)	0.0017-0.0021	<0.0005-0.0012	0.0013	<0.0005-0.0018	<0.0005-0.0020	<0.0005-0.0013
Ni (mg/l)	0.0010-0.0050	0.0002-0.0003	0.0011	0.0001-0.0002	0.0005-0.0019	0.0003-0.0010
As (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
T-Hg (mg/l)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Alkyl-mercury(mg/l)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Parathion (mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Tetrachloroethylene(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Carbon tetrachloride(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
PCB(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
HCB (mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Aldrin (mg/l)	N.D	N.D	0.002	N.D	N.D	N.D
Endrin(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dieldrin(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
DDT(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Chlordane(mg/l)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

Note

Coastal Area (River Mouth) means the points of SL6, SL7, SL8 and PM lines.

Coastal Area means the points of SL1-SL5 lines.

All samples were taken under the surface.

En la zona costera la salinidad decreció a 32-33.5 durante la época de lluvia, a pesar que fue de 36-36.3 durante la época de estiaje, excepto para algunas partes de la zona. El agua de baja salinidad entró al mar desde el río Pánuco, y se distribuyó de 2 a 4 Km de la boca del río antes de finalmente expandirse al Puerto Industrial de Altamira.

El análisis de las condiciones de turbidez utilizando parámetros como la transparencia y los SS (sólidos suspendidos) mostraron resultados contrastantes entre el río Pánuco y la zona costera. En el río Pánuco el incremento de los lodos debido a las avenidas resultó en valores arriba de 300 mg/L de SS y la transparencia fue la mitad de lo registrado en la época de estiaje.

Como contraste, la transparencia de la zona costera se incremento al doble y la concentración de los SS se disminuyó a la mitad del registrado en estiaje, aunque se observó que el agua de baja salinidad había afectado al río en la capa superficial, es posible que el viento haya perturbado el agua, que se puso lodosa.

En la parte sur de la Laguna del Conejo las concentraciones de oxígeno disuelto era baja, inclusive la parte central de la laguna tenía deficiencia de oxígeno. En la zona costera, se encontró deficiencia de oxígeno (3.3 –3.6mg/L) en la capa inferior dentro del Puerto Industrial de Altamira

El nivel de DQO fue de 3.5 – 5.5 mg/L en el río Pánuco y de 8-9 mg/L en la laguna del Conejo. Al noreste de Pueblo Viejo cerca del río Pánuco, se encontró una concentración de 1 – 2 mg/l, pero las concentraciones se elevaron gradualmente de norte a sur (4 – 7 mg/L). La zona costera mostró una distribución de 1-5 mg/L pero fue mayor en un área de 2 Km, dentro de la boca del Pánuco. A 3 Km de la línea de costa, el DQO de la capa inferior, fue la mitad del valor registrado en la capa superficial

Existe una concentración muy alta de COT del orden de 12 – 13 mg/l, en la Laguna del Conejo también se registró una distribución similar de DQO en las otras áreas. La Figura 4.11 muestra la relación de DQO y COT. Se puede observar que existe una correlación comparativamente cercana entre los dos parámetros.

Se analizaron tres formas de nitrógeno inorgánico y nitrógeno total. Se detecto nitrógeno amoniacal en el río Pánuco, la laguna de Pueblo Viejo y en un punto de la laguna del Conejo, del orden de 0.01 – 0.03 mg/L. Las otras áreas estaban casi bajo el límite de detección. En la parte interior del Puerto Industrial de Altamira donde el agua en la capa del fondo tenía deficiencia de oxígeno, se detectó una concentración alta de nitrógeno amoniacal. La concentración de la zona costera estuvo bajo el límite

de detección en casi todos los sitios de monitoreo, excepto cerca de la boca del río donde se detectaron valores entre 0.01 y 0.03 mg/L.

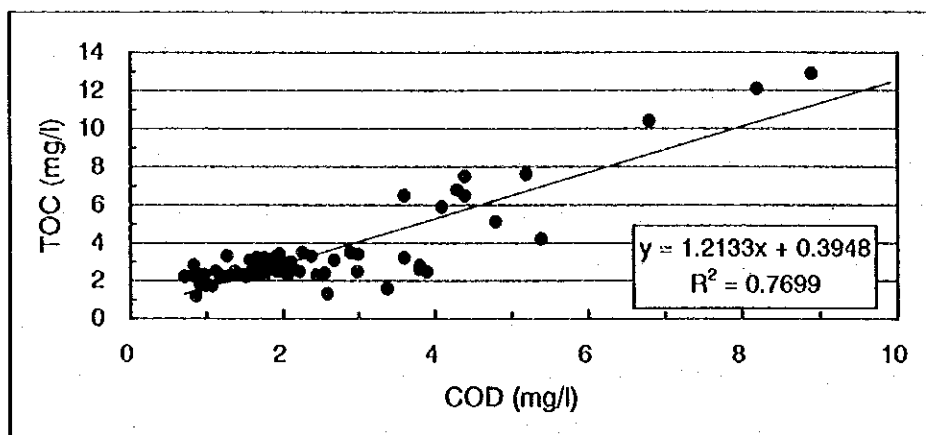


Figura 4.11 Correlación entre el DQO y el COT de la Calidad del Agua en época de lluvia

El nitrógeno de nitrito mostró una distribución similar a la del nitrógeno amoniacal. El nitrógeno de nitrato tuvo la más alta relación de composición de nitrógeno inorgánico de las tres formas y se detectó que existe una concentración alta de 0.20 – 0.90 mg/l en el noreste de la Laguna de Pueblo Viejo y del río Pánuco. Las otras áreas mostraron concentraciones bajas de 0.01 a 0.001 mg/L en casi todos los sitios.

La concentración de nitrógeno total fue de 0.4 – 1.2 mg/l en el río Pánuco, de 0.4 0.7 mg/l en la Laguna de Pueblo Viejo, de 0.3 – 0.5 mg/l en el Puerto Industrial de Altamira, de 0.8 – 1.3 mg/l en la Laguna del Conejo y de 0.2 – 0.4 mg/l en la zona costera, excepto en la boca del río (0.4 –1.6 mg/l). En el río Pánuco, no se observó diferencia en los niveles de concentración de nitrógeno total entre las capas del fondo y las superficiales. Pero en la zona costera, la concentración de la capa del fondo fue menor que la de la superficie a 3 Km de la línea de costa, en los puntos más someros a 1Km. de la línea de costa, la capa del fondo mostró valores más altos que la de la superficie.

Se detectaron concentraciones altas de fósforo de fosfatos en el río Pánuco, en la Laguna de Pueblo Viejo, en la Laguna del Conejo y en la parte interna del Puerto Industrial de Altamira, pero en casi todas las estaciones de la zona costera se observaron valores de concentración bajo 0.01 mg/l.

El fósforo total mostró concentraciones altas del orden de 0.2-0.5 mg/l en la Laguna del Conejo, el río Pánuco y alrededor de la boca del mismo. Las otras áreas estuvieron bajo el 0.01 mg/l y no se observó diferencia vertical.

Se encontró una concentración alta de clorofila - a (20 µg/l) en el sitio donde se unen el Pánuco con el Tamesí. La laguna del Conejo tuvo una concentración mayor de 90 - 100 µg/l. Esta tendencia de que la clorofila se incremente, ocurre desde el norte hasta la boca del río en la zona costera. Se podría explicar al rápido crecimiento del fitoplancton causado por grandes cantidades de nutrientes provenientes del río.

En el río Pánuco, el número de coliformes fecales fue mayor en la época de lluvias que en la de estiaje, a pesar de las grandes cantidades de agua en la época de lluvias. En la Laguna del Conejo y en el noreste de la Laguna de Pueblo Viejo, la cual afecta al río Pánuco, el nivel detectado fue de 6.0×10^2 - 2.0×10^3 Col./100ml. Se pensó que esas áreas estaban contaminadas con bacterias durante todo el año. Una de las características de la época de lluvias, es la presencia de un alto nivel de coliformes alrededor de la boca del río (3.0×10^3 - 5.0×10^3 Col./100ml) más que en el río mismo. Es probable que esto suceda debido a los escurrimientos por las avenidas de agua en el río de la boca hasta el mar.

b) Parámetros de Toxicidad

Se detectó en conjunto altas concentraciones de hexano durante la época de estiaje, pero en la época de lluvias los valores encontrados estuvieron bajo el límite de detección (<0.5 mg/l).

Los compuestos orgánicos volátiles totales (COV: tricloretileno, tetracloroetileno y tetracloruro de carbono), el alquil mercurio, y el cromo hexavalente mostraron niveles de concentración bajo el límite de detección mínimo en todos los sitios de monitoreo.

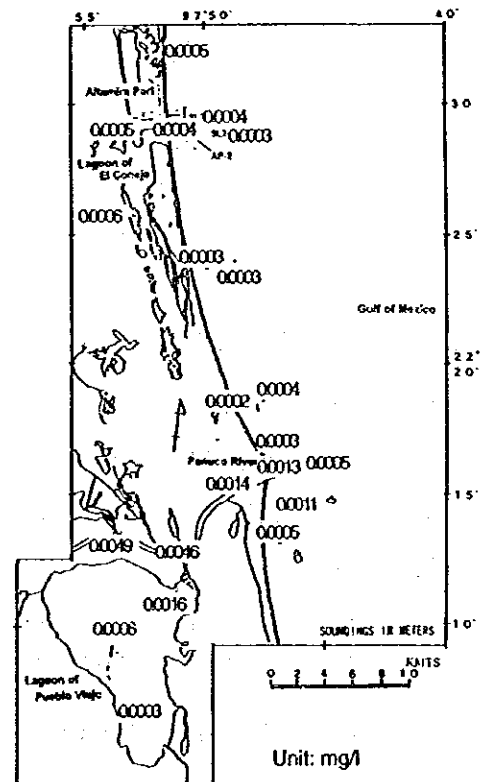


Figura 4.12 Distribución Horizontal de Plomo en Calidad de Agua (época de lluvia)

Se detectaron algunos de los parámetros de plaguicidas, aldrin y endrin en varios sitios. El aldrin fue de 0.002 mg/l en el sitio CL-1 y 0.001 mg/l en PM-4, mientras que el endrin fue de 0.0008mg/l en el punto PL-4. No se detectó ninguno de ellos durante el estiaje. El método de cromatografía de gases (CG) utilizado en este estudio, no puede identificar completamente cada compuesto. Por lo tanto es necesario observar estos plaguicidas de ahora en adelante, así como también desarrollar otro método que pueda identificar completamente cada compuesto, como por ejemplo con el método de Cromatografía de Gases – Espectrofotometría de masas (Método GC-MS).

Algunos de los parámetros detectados en el agua fueron metales pesados, como el cobre, el zinc, y otros. Sobre todo, la concentración máxima de metales pesados encontrada fue en las áreas de agua dulce y salobre. Especialmente, la concentración promedio de cobre, níquel y plomo en las aguas del río y la laguna fueron el doble que las de la zona costera. La distribución del plomo cerca del Puerto Industrial de Altamira y de la boca del río Pánuco mostró valores altos comparados con otras zonas costeras, como se observa en la Figura 4.12. Además, la distribución en la parte norte de la laguna de Pueblo Viejo (PL-2) fue mayor que la del sur de la laguna (PL-5).

Por lo tanto, parece ser razonable concluir que las fuentes de los contaminantes antes mencionados provienen principalmente de las zonas urbanas.

4.4 Estudio de Muestreo de Sedimentos

4.4.1 Método

(1) Periodo de Monitoreo

El estudio de sedimentos se llevó a cabo en las mismas fechas que las del estudio de calidad del agua como se muestra abajo:

Época de estiaje (Trabajo en sitio I)	:	Marzo 1, 2, 8 y 9, 1999
Época de lluvias (Trabajo en sitio II)	:	Julio 19, 20, 21 y 22, 1999

(2) Areas y Sitios de Monitoreo

Se colectaron muestras de sedimentos de 21 sitios, donde se tomaron también las muestras de agua para analizar los parámetros de toxicidad. Sin embargo no se pudieron utilizar los muestreadores de sedimento Ekman – Berge ni el Smith McIntyre en tres sitios de la zona

costera en la época de estiaje y tampoco en un sitio durante la época de lluvias. La Tabla 4.18 muestra el número de sitios de monitoreo en cada zona de estudio.

Tabla 4.18 Zonas y Sitios de Monitoreo

Zonas de Monitoreo	Sitios de Monitoreo	
	Estiaje	Lluvias
Zona Costera	9	11
Puerto Industrial de Altamira	2	2
Río Pánuco	3	3
Laguna de Pueblo Viejo	3	3
Laguna del Conejo	1	1
Total	18	20

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

(3) Parámetros de Monitoreo y Métodos Analíticos

En la Tabla 4.19 se muestran los parámetros de monitoreo y los métodos analíticos. La mayoría de los parámetros fueron analizados utilizando como referencia el "Manual para Sedimentos, 1996", un estándar japonés, y los métodos de la EPA 8021 y 8081A. Para las pruebas de elución, se utilizó el JIS K0102.

Se utilizaron dos tipos de pruebas para el análisis de los sedimentos. Una fue la prueba de contenido, la otra fue la prueba de elución. Para la última, se agitaron 500 ml de agua y 3% de sedimento durante 6 horas antes del análisis.

Cabe mencionar que la unidad de la prueba de contenido que se usa es peso por peso seco de la muestra de sedimento.

4.4.2 Resultados del Estudio de Sedimentos

(1) Época de estiaje

Los resultados de los análisis de la calidad del agua durante la época de estiaje se muestran en la Tabla 4.20 (1). Los resultados resumidos se muestran en la Tabla 4.22.

a) Prueba de Contenido

i) Parámetros Básicos

Se observó que el Potencial de Reducción de Oxígeno (PRO) presentó un valor positivo en los sedimentos arenosos, y un valor negativo en los sedimentos lodosos. En la zona costera, los valores de PRO indicaron un valor positivo en dos sitios en donde se había acumulado arcilla fina. Ya que el río Pánuco y las dos lagunas han acumulado arcilla fina, se registraron valores negativos, aunque no fueron tan altos como los de las áreas contaminadas.

Se observó que la distribución de la pérdida de ignición tiene un comportamiento similar al DQO, aunque en la Laguna del Conejo no son tan altos. La pérdida de ignición en PL-5, el cual está localizado al sur de la Laguna de Pueblo Viejo, mostró valores altos.

Tabla 4.19 Parámetros de Monitoreo y Métodos Analíticos para el Estudio de Sedimentos

	Parameter	Method	Reference	
Content Test Basic Parameter	Particle Size	Separation method with sieve		
	ORP	Glass-electrode method on boat		
	Ignition Loss	Gravimetric Method at 600	HBSS .4	
	COD	Alkaline-iodine method	MAGWP 5.6	
	TOC	Dry decomposition - non purgeable organic carbon method	By TOC Analyzer	
Toxic Parameter	Sulfide	Heating Distillation Method	MAGWP 5.11	
	Hexane extracts	Liquid-liquid extraction, Gravimetric method	EPA 9071A (Use hexane), MAGWP 5.11	
	Cyanide	4-pyridine carboxylic acid - pyrazolone absorptiometry	HBSS II.14	
	Cr	Acid digestion, Diphenylcarbazide absorptiometry	HBSS II.12.1, EPA 3050B, 3051, 3052 (Pretreatment)	
	Cd	Acid digestion, Atomic absorption spectrometry	EPA 3050B (Digestion), HBSS II.6, EPA 7131A	
	Pb	Acid digestion, Atomic absorption spectrometry	EPA 3050B (Digestion), HBSS II.7, EPA 7421	
	Cu	Acid digestion, Atomic absorption spectrometry	EPA 3050B (Digestion), HBSS II.8, EPA 7211	
	Zn	Acid digestion, Atomic absorption spectrometry	EPA 3050B (Digestion), HBSS II.9, EPA 7951	
	As	Acid digestion, Atomic absorption spectrometry using hydride system	EPA 3050B (Digestion), HBSS II.13	
	T-Hg	Atomic absorption spectrometry using vapor reduction system	HBSS II.5, EPA 7471A	
	Alkyl-mercury	Gas chromatography with ECD	JIS K 0102 66.2, Notification No. J27 ⁽³⁾	
	Organophosphorus Trichloroethylene	Gas chromatography with FID Gas chromatography with ECD	Notification No.46 ⁽¹⁾ JJIS K 0125 5.5, EPA 8021B, Notification No.46 ⁽¹⁾	
	Tetrachloroethylene	Gas chromatography with ECD	JJIS K 0125 5.5, EPA 8021B, Notification No.46 ⁽¹⁾	
	Carbon tetrachloride	Gas chromatography with ECD	JJIS K 0125 5.5, EPA 8021B, Notification No.46 ⁽¹⁾	
	PCB	Gas chromatography with ECD	JIS K 0093, EPA 8082, Notification No.127 ⁽³⁾	
	HCB	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾	
	Aldrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾	
	Endrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾	
	Dieldrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾	
	DDT	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾	
	Chlordane	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾	
	Elution Test	Hexane extracts	Liquid-liquid extraction, Gravimetric method	JIS K 0102 24
		Cyanide	4-pyridine carboxylic acid - pyrazolone absorptiometry	JIS K 0102 38
		Cr ⁶⁺	Diphenylcarbazide absorptiometry	JIS K 0102 65.2.1, EPA
		Cd	Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 55, EPA 7131A
Pb		Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 54, EPA 7421	
Cu		Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 52, EPA 7211	
Zn		Atomic absorption spectrometry	JIS K 0102 53, EPA 7521	
As		Atomic absorption spectrometry using hydride system	JIS K 0102 61.2, EPA 7062	
T-Hg		Atomic absorption spectrometry using vapor reduction system	JIS K 0102 66.1, EPA 7470A	
Alkyl-mercury		Gas chromatography with ECD	JIS K 0102 66.2	
Organophosphorus		Gas chromatography with FID	Notification No.46 ⁽¹⁾	
PCB		Gas chromatography with ECD	EPA 8082, JIS K 0093(Pretreatment)	

Notes:

HBSS : The Handbook of Bottom Sediment Survey, Japanese Standard

JIS : Japan Industrial Standard

EPA : Environmental Protection Agency

MAGWP : The Method of Analysis Guideline of Water Pollution

(1) Notification No. 46, 1971 of the Japanese Environmental Agency

(2) Tentative Survey Manual of External Factor Endocrine Disturbance Chemical Substance

(3) Notification No. 127 issued by Water Quality Control Section, Water Protection Department, Environmental Agency

TOC was analyzed in dry season.

En la Laguna del Conejo, la concentración del DQO fue del orden de 28 mg/g, mientras que la del río Pánuco estuvo en el rango de 17 a 22 mg/g, y la de la Laguna de Pueblo viejo varió de 12 a 14 mg/g. El DQO de la zona costera fue notoriamente bajo, con valores menores a 3 mg/g, lo que se puede atribuir al fondo de sedimento arenoso, con excepción de los dos puntos donde se acumuló la arcilla fina.

ii) Parámetros de Toxicidad

Quince de los 21 parámetros analizados, por ejemplo los compuestos orgánicos y el cianuro fueron bajos comparados con el límite de detección mínimo o el nivel de detección del instrumento en todos los sitios de monitoreo. Los extractos de hexano como indicadores de contaminación por grasas fueron comparativamente altos en todos los sitios de monitoreo, con un mínimo de 72 y un máximo de 1,400 mg/kg. En los sitios de monitoreo del río Pánuco y la Laguna de Pueblo donde se detectaron valores altos de mercurio, la contaminación por grasas también fue notoriamente alta con valores de 500 a 1,400 mg/kg. Los sedimentos en el río Pánuco y en el noreste de la Laguna de Pueblo Viejo también se han contaminado debido a los residuos arrojados.

También se detectaron cinco metales pesados, los valores registrados fueron del orden de 1-9 mg/kg. de As, 3-30 mg/kg. de Cr, 2-26 mg/kg. de Cu, 10-35 mg/kg. de Pb, y 9-150 mg/kg. de Zn.

En 12 de los sitios de monitoreo se encontró mercurio en un rango desde 0.03 a 1.8 mg/kg., en seis sitios del río Pánuco, la Laguna de Pueblo Viejo y la zona costera, se registraron cantidades muy altas por encima de los 0.7 mg/kg.

c) Prueba de Elución

Las pruebas de elución en las muestras de sedimentos se hicieron para 12 parámetros. Cuatro de ellos los cuales se analizaron mediante cromatografía de gases, por ejemplo alquil mercurio, fósforo orgánico y PCB, no se registraron en todas las estaciones, lo cual significa que las cantidades de elución del sedimento estaban por debajo del nivel de detección del equipo. La cantidad de elución del cadmio y el mercurio también estuvieron por debajo del límite de detección mínimo. Los resultados de las pruebas de elución indicaron la presencia de tres metales pesados, arsénico, cobre y plomo, en los sitios del río Pánuco, el Puerto Industrial de

Altamira y la Laguna de Pueblo Viejo, pero fueron cantidades relativamente bajas, 2 a 6 veces mayores que el límite detectado. Se registró 1 – 6 mg/kg. de Zinc en los sedimentos del río Pánuco y de la Laguna de Pueblo Viejo. Los Extractos de hexano y cianuro también estuvieron bajo el límite de detección.

Tabla 4.20 (1) Resultados de los Análisis de los Sedimentos en la época de Estiaje (Parámetros Básicos)

Point No.	Condition of Sediment	Odor	Particle Size: 75-425 μ m (%)	Particle Size: Under 75 μ m (%)	Sediment Temperature (°C)	ORP (mV)	Ignition Loss (%)	COD (mg/g)
PR-1	Mud	No	9	91	23.1	-139	14	18
PR-3	Mud	No	13	87	23.1	-146	15	17
PR-5	Mud	No	10	90	23.0	-150	19	22
PL-2	Mud	No	11	87	23.6	-125	15	12
PL-4	Mud	No	5	94	23.8	-114	14	14
PL-5	Mud	No	4	95	23.8	-118	22	12
AP-2	Sand	No	86	13	26.5	-132	6.9	1.2
AP-5	Mud	No	28	65	26.5	-137	13	7.9
CL-1	Mud	No	77	22	-	-97	7.8	28
SL1-1	(uncollected)							
SL2-1	Sand	No	28	69	23.8	79	1.4	0.5
SL2-2	Sand	No	96	2	24.8	78	1.9	0.8
SL4-1	Sand	No	88	1	24.0	110	1.5	0.6
SL4-2	(uncollected)							
SL6-1	Sand	No	99	1	22.5	119	1.5	0.8
SL6-2	(uncollected)							
SL7-1	Muddy sand	No	-	-	24.0	-171	2.8	3.0
SL7-3	Mud	Sulfide smell	24	76	24.2	-218	11	15
SL8-1	Sand	No	100	0	24.4	169	2.2	0.5
PM-1	Sand	No	100	0	24.6	111	1.5	0.5
PM-4	Sand	No	100	0	24.3	147	1.6	<0.5

Note

Sampling Date

March 1, 1999 at PR-1, PR-3, PR-5, PL-2, PL-4, PL-5

March 2, 1999 at AP-2, AP-5, CL-1

March 8, 1999 at SL6-1, SL6-2, SL7-1, SL7-3, SL8-1, PM-1, PM-4

March 9, 1999 at SL1-1, SL2-1, SL2-2, SL4-1

Tabla 4.20 (2) Resultados de los Análisis de los Sedimentos en época de lluvia (Parámetros Básicos)

Point No.	Condition of Sediment	Odor	Particle Size: 75-425 μ m (%)	Particle Size: Under 75 μ m (%)	Sediment Temperature (°C)	ORP (mV)	Ignition Loss (%)	COD (mg/g)	TOC (mg/g)
PR-1	Mud	No	1	99	27.0	-186	14	25	13
PR-3	Mud	No	17	82	30.0	-321	21	19	13
PR-5	Sand	No	92	8	29.0	-115	1.7	1.0	0.9
PL-2	Mud	No	9	91	28.0	-298	10	17	9.0
PL-4	Mud	No	11	85	29.0	-231	12	11	6.6
PL-5	Mud	No	6	94	28.5	-286	12	8.7	7.2
AP-2	Mud	Sulfide smell	9	91	23.0	-236	16	18	9.3
AP-5	Mud	No	28	67	24.0	-189	12	6.8	2.6
CL-1	Mud	No	39	57	28.7	-371	28	160	84
SL1-1	Sand	No	95	3	25.5	-5	1.6	0.7	1.3
SL2-1	Sand	No	94	5	25.0	-181	1.9	<0.5	1.3
SL2-2	Sand	No	93	2	26.5	-195	2.0	1.0	1.3
SL4-1	Sand	No	96	4	24.5	131	1.5	0.8	1.3
SL4-2	(uncollected)								
SL6-1	Sand	No	99	1	24.5	105	2.5	1.2	1.3
SL6-2	Sandy Mud	No	53	43	23.0	111	7.3	7.2	2.6
SL7-1	Mud	No	1	99	22.5	-189	15	20	13
SL7-3	Mud	Sulfide smell	20	79	24.0	-227	13	17	10
SL8-1	Sand	No	94	2	25.5	-111	2.4	0.6	1.0
PM-1	Sand	No	96	3	24.0	102	1.5	0.6	2.6
PM-4	Sand	No	91	5	27.0	111	1.7	0.5	2.6

Note

Sampling Date

July 19, 1999 at SL6-1, SL6-2, SL7-1, SL7-3, SL8-1, PM-1, PM-4

July 20, 1999 at SL1-1, SL2-1, SL2-2, SL4-1

July 21, 1999 at PR-1, PR-3, PR-5, PL-2, PL-4, PL-5, AP-2, AP-5

July 22, 1999 at CL-1

Tabla 4.21 Resultados de los Análisis de los Sedimentos en la época de Estiaje (Parámetros de Toxicidad)

Sediment - Content Test

Station	Hexane Extract (mg/kg)	Cyanide (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Alkyl-Hg (mg/kg)
PR-1	650	<0.12	30	<1	27	24	110	8.2	0.78	ND
PR-3	1400	<0.12	25	<1	34	26	150	9.0	1.0	ND
PR-5	1100	<0.12	25	<1	27	21	120	5.8	0.69	ND
PL-2	570	<0.12	26	<1	34	22	120	8.4	1.8	ND
PL-4	970	<0.12	25	<1	34	16	78	4.3	0.95	ND
PL-5	440	<0.12	25	<1	27	11	78	3.4	0.29	ND
CL-1	1100	<0.12	5.2	<1	<10	2.9	25	1.2	0.04	ND
AP-2	410	<0.12	14	<1	<10	2.7	17	3.7	<0.03	ND
AP-5	130	<0.12	25	<1	10	8.8	37	3.2	<0.03	ND
SL1-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL2-1	72	<0.12	2.9	<1	<10	<2.5	9.1	2.3	<0.03	ND
SL2-2	400	<0.12	5.5	<1	<10	<2.5	12	2.2	<0.03	ND
SL4-1	82	<0.12	8.4	<1	<10	<2.5	11	1.7	0.04	ND
SL4-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL6-1	140	<0.12	4.0	<1	<10	<2.5	11	2.3	0.03	ND
SL6-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL7-1	72	<0.12	6.0	<1	<10	4.1	30	4.3	0.10	ND
SL7-3	220	<0.12	11	<1	13	17	65	3.3	0.76	ND
SL8-1	240	<0.12	7.8	<1	<10	4.8	41	2.0	0.19	ND
PM-1	290	<0.12	<2.5	<1	<10	<2.5	10	2.3	<0.03	ND
PM-4	210	<0.12	<2.5	<1	<10	2.5	26	3.0	0.12	ND

Sediment - Content Test

Station	Organo Phosphorous (mg/kg)	Trichloroethylene (mg/kg)	Tetrachloroethylene (mg/kg)	Carbon Tetrachloride (mg/kg)	PCB (mg/kg)	HCB (mg/kg)	Aldrin (mg/kg)	Endrin (mg/kg)	Dieldrin (mg/kg)	DDT (mg/kg)	Chlordane (mg/kg)
PR-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PR-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PR-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CL-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AP-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AP-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL1-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL2-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL2-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL4-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL4-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL6-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL6-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL7-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL7-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL8-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Sediment - Elution Test

Station	Hexane Extract (mg/kg)	Cyanide (mg/kg)	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Alkyl-Hg (mg/kg)	Organo Phosphorous (mg/kg)	PCB (mg/kg)
PR-1	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	0.3	1.3	0.13	<0.04	ND	ND	ND
PR-3	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	0.3	1.5	0.07	<0.04	ND	ND	ND
PR-5	<170	<0.2	<0.1	<0.1	1.0	0.7	5.7	0.27	<0.04	ND	ND	ND
PL-2	<170	<0.2	<0.1	<0.1	1.1	0.9	6.0	0.27	<0.04	ND	ND	ND
PL-4	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	0.3	1.5	0.13	<0.04	ND	ND	ND
PL-5	<170	<0.2	<0.1	<0.1	1.7	0.6	5.7	0.01	<0.04	ND	ND	ND
CL-1	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	0.2	1.5	0.03	<0.04	ND	ND	ND
AP-2	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	0.3	1.4	0.13	<0.04	ND	ND	ND
AP-5	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	0.2	1.3	0.03	<0.04	ND	ND	ND
SL1-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL2-1	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.2	<0.1	<0.03	<0.04	ND	ND	ND
SL2-2	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.2	0.1	<0.03	<0.04	ND	ND	ND
SL4-1	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.2	<0.1	<0.03	<0.04	ND	ND	ND
SL4-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL6-1	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.2	0.1	<0.03	<0.04	ND	ND	ND
SL6-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL7-1	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	0.2	<0.1	0.03	<0.04	ND	ND	ND
SL7-3	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.2	0.1	0.03	<0.04	ND	ND	ND
SL8-1	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.2	<0.1	0.03	<0.04	ND	ND	ND
PM-1	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.2	0.2	0.07	<0.04	ND	ND	ND
PM-4	<170	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.2	0.03	<0.04	ND	ND	ND	ND

Note

Sampling date

March 1, 1999 at PR-1, PR-3, PR-5, PL-2, PL-4, PL-5

March 2, 1999 at AP-2, AP-5, CL-1

March 8, 1999 at SL6-1, SL6-2, SL7-1, SL7-3, SL8-1, PM-1, PM-4

March 9, 1999 at SL1-1, SL2-1, SL2-2, SL4-1

ND means 'Not Detected'.

Tabla 4.22 Resumen de Resultados del Estudio de Sedimentos en la Epoca de Estiaje

Sediment-Content Test		Panuco River	Pueblo Viejo Lagoon	Conejo Lagoon	Altamira Industrial Port	Coastal Area (River Mouth)	Coastal Area
Parameter							
Particle size-75-425 μ m (%)		9-13	4-11	77	28-86	24-100	28-96
Particle size-under 75 μ m (%)		87-91	87-95	22	13-65	0-76	1-69
ORP (mV)		-150~-139	-118~-114	-97	-137~-132	-218~-169	+78~-110
IL (%)		14-19	14-22	7.8	6.9-13	1.5-11	1.5-1.9
COD (mg/g)		17-22	12-14	28	1.2-7.9	<0.5-15	0.5-0.8
Hexane extracts (mg/kg)		650-1400	440-970	1100	130-410	72-290	72-400
Cyanide (mg/kg)		<0.12	<0.12	<0.12	<0.12	<0.12	<0.12
Cr (mg/kg)		25-30	25-26	5.2	14-25	<2.5-11	2.9-8.4
Cd (mg/kg)		<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pb (mg/kg)		27-34	27-34	<10	<10-10	<10-13	<10
Cu (mg/kg)		21-26	11-22	2.9	2.7-8.8	<2.5-17	<2.5
Zn (mg/kg)		110-150	78-120	25	17-37	10-65	9.1-12
As (mg/kg)		5.8-9.0	3.4-8.4	1.2	3.2-3.7	2.0-4.3	1.7-2.3
T-Hg (mg/kg)		0.69-1.0	0.29-1.8	0.04	<0.03	<0.03-0.76	<0.03-0.04
Alkyl-mercury (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Methyl parathion (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Parathion (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Tetrachloroethylene (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Carbon tetrachloride (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
PCB (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
HCB (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Aldrin (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Endrin (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dieldrin (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
DDT (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Chlordane (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Sediment-Elution Test							
Parameter		Panuco River	Pueblo Viejo Lagoon	Conejo Lagoon	Altamira Industrial Port	Coastal Area (River Mouth)	Coastal Area
Hexane extracts (mg/kg)		<170	<170	<170	<170	<170	<170
Cyanide (mg/kg)		<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
C ₁₈ (mg/kg)		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cd (mg/kg)		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pb (mg/kg)		<0.3-1.0	<0.3-1.7	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Cu (mg/kg)		0.3-0.7	0.3-0.9	0.2	0.2-0.3	<0.2-0.2	<0.2
Zn (mg/kg)		1.3-5.7	1.5-6.0	1.5	1.3-1.4	<0.1-0.2	<0.1
As (mg/kg)		0.07-0.27	0.01-0.27	0.03	0.03-0.13	<0.03-0.07	<0.03
T-Hg (mg/kg)		<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Alkyl-mercury (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Methyl parathion (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Parathion (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
PCB (mg/kg)		N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

Note
 Coastal Area(River Mouth) means the points of SL6, SL7, SL8 and PM lines.
 Coastal Area means the points of SL1-SL5 lines.
 ND means "Not detected".

(2) Época de Lluvias

En la Tabla 4.20(2) y en la Tabla 4.23 se muestran los resultados de los análisis de calidad del agua en la época de estiaje. El resumen de resultados se muestra en la Tabla 4.24.

a) Prueba de Contenido

i) Parámetros Básicos

La concentración de cada índice para los sedimentos se vio afectada básicamente por el tamaño de partícula. Se supone que las sustancias más contaminantes se acumulan en el sedimento y son partículas finas de menos de 75µm. Sin embargo los sedimentos en la Laguna del Conejo, incluyendo aquellos que contenían astillas de madera, mostraron un valor muy alto de COT (84 mg/g), de DQO (160 mg/g) y pérdida por ignición (28%), por lo que se considera como sedimento anormal. En las otras áreas, excluyendo a la Laguna del Conejo, se detectaron grandes cantidades de COT, del orden de 13.3 mg/g en el río Pánuco, y de 7 a 9 mg/g en la Laguna de Pueblo Viejo. En la zona costera, incluyendo al Puerto Industrial de Altamira, la cantidad de COT estuvo en el rango de 9 – 13 mg/g en los sitios lodosos y de 1 – 3 mg/g en los sitios arenosos. La distribución de DQO mostró el mismo comportamiento que la del COT, y se observó una relación cercana con el COT. En el río Pánuco y en los puntos lodosos de la boca del río, las concentraciones del DQO fueron de 17 a 25 mg/g. La concentración de DQO fue baja en la Laguna de Pueblo Viejo, sin importar la gran cantidad de partículas finas, Dado que una pequeña diferencia en la ubicación del sitio de monitoreo podría resultar en una gran diferencia en las condiciones del sedimento, puede ser un problema comparar directamente los resultados de las estaciones de estiaje y lluvias. Generalmente, los valores de PRO en el Pánuco y en la Laguna de Pueblo Viejo disminuyen visiblemente en ambas épocas para sitios que tienen sedimento con tamaño de partícula similar. Una razón para este cambio estacional es debido a la reducción atmosférica en el sedimento causa una descomposición rápida de sustancias orgánicas con el incremento de temperatura.

Tabla 4.23 Resultados del Análisis de Sedimento en la Epoca de Lluvias
(Parámetros de Toxicidad)

Sediment - Content Test

Station	Hexane Extract (mg/kg)	Cyanide (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Alkyl-Hg (mg/kg)
PR-1	20	<0.1	58	0.57	5.1	8.9	89	21	0.82	<0.005
PR-3	23	<0.1	41	0.94	6.2	34	18	8	0.77	<0.005
PR-5	33	<0.1	15	0.07	1.6	1.7	21	6	0.14	<0.005
PL-2	16	<0.1	52	0.45	5.7	4.0	88	18	1.2	<0.005
PL-4	18	<0.1	40	1.1	4.0	18	62	17	0.74	<0.005
PL-5	6.2	<0.1	56	0.13	4.6	1.7	64	12	0.71	<0.005
AP-2	91	<0.1	57	0.27	6.4	15	67	26	0.17	<0.005
AP-5	9.3	<0.1	28	0.38	1.0	7.6	37	8	0.05	<0.005
CL-1	220	<0.1	28	0.53	3.0	24	93	14	1.0	<0.005
SL1-1	3.0	<0.1	5.1	0.01	0.68	0.4	9.5	6	0.09	<0.005
SL2-1	14	<0.1	5.9	0.02	1.1	6.5	12		0.06	<0.005
SL2-2	7.3	<0.1	7.2	0.01	0.81	3.8	13	6	<0.05	<0.005
SL4-1	5.9	<0.1	5.6	0.02	0.57	2.3	10	9	<0.05	<0.005
SL6-1	2.3	<0.1	6.1	0.01	0.39	1.9	12		<0.05	<0.005
SL6-2	14	<0.1	27	0.08	5.2	8.4	49	8	0.14	<0.005
SL7-1	15	<0.1	33	0.98	4.8	21	87	18	0.61	<0.005
SL7-3	3.7	<0.1	32	0.18	4.1	39	81	7	0.60	<0.005
SL8-1	120	<0.1	8.6	0.33	1.4	9.6	19	6	0.35	<0.005
PM-1	7.8	<0.1	2.6	0.05	0.73	0.2	6	11	0.13	<0.005
PM-4	70	<0.1	5.4	0.37	0.69	6.3	18	6	<0.05	<0.005

Sediment - Content Test

Station	Organo Phosphorous (mg/kg)	Trichloro-ethylene (mg/kg)	Tetrachloro-ethylene (mg/kg)	Carbon Tetrachloride (mg/kg)	PCB (mg/kg)	HCB (mg/kg)	Aldrin (mg/kg)	Endrin (mg/kg)	Dieldrin (mg/kg)	DDT (mg/kg)	Chlordane (mg/kg)
PR-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PR-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PR-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PL-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CL-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AP-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AP-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL1-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL2-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL2-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL4-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL4-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL6-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL6-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL7-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL7-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SL8-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Sediment - Elution Test

Station	Hexane Extract (mg/kg)	Cyanide (mg/kg)	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Alkyl-Hg (mg/kg)	Organo Phosphorous (mg/kg)	PCB (mg/kg)
PR-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	ND	ND	ND
PR-3	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
PR-5	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
PL-2	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
PL-4	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
PL-5	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
CL-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
AP-2	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
AP-5	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL1-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL2-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL2-2	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL4-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL4-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL6-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL6-2	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL7-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL7-3	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
SL8-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
PM-1	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND
PM-4	<170	<0.1	<0.1	<0.02	<0.03	<0.17	<0.03	<1	<0.03	<0.03	ND	ND

Note

Sampling date

July 19, 1999 at SL6-1, SL6-2, SL7-1, SL7-3, SL8-1, PM-1, PM-4

July 20, 1999 at SL1-1, SL2-1, SL2-2, SL4-1

July 21, 1999 at PR-1, PR-3, PR-5, PL-2, PL-4, PL-5, AP-2, AP-5

July 22, 1999 at CL-1

ND means "Not Detected".

Tabla 4.24 Resumen de Resultados del Análisis de Sedimentos en la Época de Lluvias

Sediment-Content Test Parameter	Panuco River		Pueblo Viejo Lagoon		Conejo Lagoon		Altamira Industrial Port		Coastal Area (River Mouth)		Coastal Area	
Particle size-75-425 μ m (%)	1-92	6-11	39	217	93-91	1-99	93-96	2-5				
Particle size-under 75 μ m (%)	8-99	85-94	57	<0.1	67-91	1-99	<0.1					
ORP (mV)	-321 ~ -115	-298 ~ -231	-371	28	28-57	-227 ~ +111	5.1-7.2					
IL (%)	1.7-21	10-12	28	0.53	0.27-0.38	1.5-15	0.01-0.02					
COD (mg/g)	1.0-25	8.7-17	160	3.0	1.0-6.4	0.5-20	0.57-1.1					
TOC (mg/g)	0.9-13	6.6-9.0	84	24	7.6-15	1.3-13	0.4-6.5					
Hexane extracts (mg/kg)	20-33	6.2-18	217	93	37-67	2.3-120	9.5-13					
Cyanide (mg/kg)	<0.1	<0.1	<0.1	14	8-28	6-18	6-9					
Cr (mg/kg)	15-58	40-58	28	1.0	0.05-0.17	<0.05-0.61	<0.05-0.09					
Cd (mg/kg)	0.07-0.94	0.13-1.1	0.53	N.D	N.D	N.D	N.D					
Pb (mg/kg)	1.6-5.1	4.0-5.7	3.0	N.D	N.D	N.D	N.D					
Cu (mg/kg)	1.7-34	1.7-18	24	N.D	N.D	N.D	N.D					
Zn (mg/kg)	18-89	62-88	93	N.D	N.D	N.D	N.D					
As (mg/kg)	6-21	12-18	14	N.D	N.D	N.D	N.D					
T-Hg (mg/kg)	0.14-0.82	0.71-1.2	1.0	N.D	N.D	N.D	N.D					
Alkyl-mercury (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Parathion (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Trichloroethylene (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Tetrachloroethylene (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Carbon tetrachloride (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
PCB (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
HCB (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Aldrin (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Endrin (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Dieldrin (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
DDT (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Chlordane (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D					
Sediment-Elution Test												
Parameter	Panicu River		Pueblo Viejo Lagoon		Conejo Lagoon		Altamira Industrial Port		Coastal Area (River Mouth)		Coastal Area	
Hexane extracts (mg/kg)	<170	<170	<170	<170	<170	<170	<170	<170	<170	<170	<170	<170
Cyanide (mg/kg)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cr ⁶⁺ (mg/kg)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cd (mg/kg)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Pb (mg/kg)	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Cu (mg/kg)	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17
Zn (mg/kg)	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
As (mg/kg)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
T-Hg (mg/kg)	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Alkyl-mercury (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Methyl parathion (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Parathion (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
PCB (mg/kg)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

Note
Coastal Area (River Mouth) means the points of SL6, SL7, SL8 and PM lines.
Coastal Area means the points of SL1-SL5 lines.
ND means "Not detected".

ii) Parámetros de Toxicidad

La mayor concentración de extractos de hexano observada en la Laguna del Conejo (CL-1) fue de 220 mg/kg. Las concentraciones de extractos de hexano fueron mayores en las áreas de agua dulce y salobres que en la zona costera, y el promedio de las áreas de agua dulce y salobre, fue aproximadamente el doble de la de la zona costera. La distribución de los metales pesados también fue similar a la de los extractos de hexano. Es decir que la concentración de metales pesados es mayor en las áreas de agua dulce y salobre que en la de la zona costera. Por ejemplo, el promedio de la concentración de mercurio en las aguas salobres y dulces es 5 veces mayor que en la zona costera. Adicionalmente, queda claro que la concentración en el río Pánuco y la de la parte norte de la laguna de Pueblo Viejo fue más alta que en otras áreas. En la figura 4.13 se muestra la distribución del mercurio en la zona costera. Las concentraciones de mercurio en el Puerto Industrial de Altamira y en la boca del río Pánuco fueron más altas que en otras áreas. Esta tendencia se deriva de los resultados del estudio de calidad del agua. Al igual que en la calidad del agua, es razonable concluir que la carga contaminante en la zona norte de la laguna de Pueblo Viejo, de la boca del río Pánuco y del Puerto Industrial de Altamira, las cuales son zonas cercanas a las áreas urbanas, es mayor que en el área sur de la laguna de Pueblo Viejo y de otras zonas costeras.

Al igual que durante el estiaje, no se detectaron compuestos orgánicos tóxicos (COV, plaguicidas, PCB etc.).

b) Pruebas de Elución

Los ocho parámetros que se analizaron, mostraron concentraciones menores que límite de detección mínimo en todos los sitios de monitoreo.

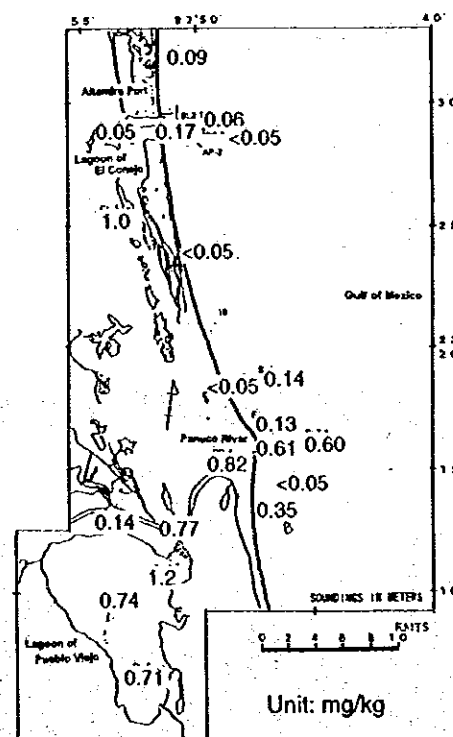


Figura 4.13 Distribución Horizontal de Mercurio en el Sedimento Fondo (época de lluvia)

4.5 Pruebas de Bioacumulación

4.5.1 Método

(1) Periodo de Monitoreo

Durante el estudio para determinar la bioacumulación, se atraparon peces y moluscos en las áreas de monitoreo el 27 de febrero y el 3,4,5 y 6 de marzo para analizarlos. Se utilizaron redes agalleras para atrapar peces mientras que se utilizaron pinzas largas de madera para atrapar a los moluscos.

(2) Zonas de Monitoreo y Toma de Muestras

Se escogieron muestras de prueba para analizar bioacumulación de 8 especies diferentes de peces y moluscos que habitan las zonas de monitoreo, de un total de 36 muestras. Las especies y muestras utilizadas para el análisis se muestran en la Tabla 4.25, y las áreas donde se capturaron se muestran en la Figura 4.14

Tabla 4.25 Muestreo para las Pruebas de Bioacumulación

Zona de monitoreo	Día de Captura	Especies	Número de muestras
Zona Costera	27-Feb.	RONCO	1
	27-Feb.	TRUCHA	1
	27-Feb.	GURRUBATA	1
	27-Feb.	RONCO	1
	27-Feb.	HUAUCHINANGO	1
Laguna de Pueblo Viejo	3-Mar.	LEBRANCHA	7
	3-Mar.	GURRUBATA	1
	3-Mar.	OSTION	5
Laguna del Conejo	5-Mar.	TILAPIA	6
	5,6-Mar.	BAGRE	2
Río Pánuco	6-Mar.	LEBRANCHA	5
	6-Mar.	GURRUBATA	5
Total			36

(3) Parámetros de Monitoreo y Métodos Analíticos

Se analizaron las muestras para determinar 11 parámetros, mercurio, plomo, cadmio, cobre, zinc, PCB, HCB, aldrín, dieldrín, endrín y DDT, y en la Tabla 4.26 se muestran los métodos analíticos utilizados. Los peces estuvieron representados por muestras comestibles del músculo, mientras que los ostiones se utilizaron sin concha.

Cabe mencionar que la unidad de la prueba de contenido que se usa es peso por peso húmedo de la muestra.

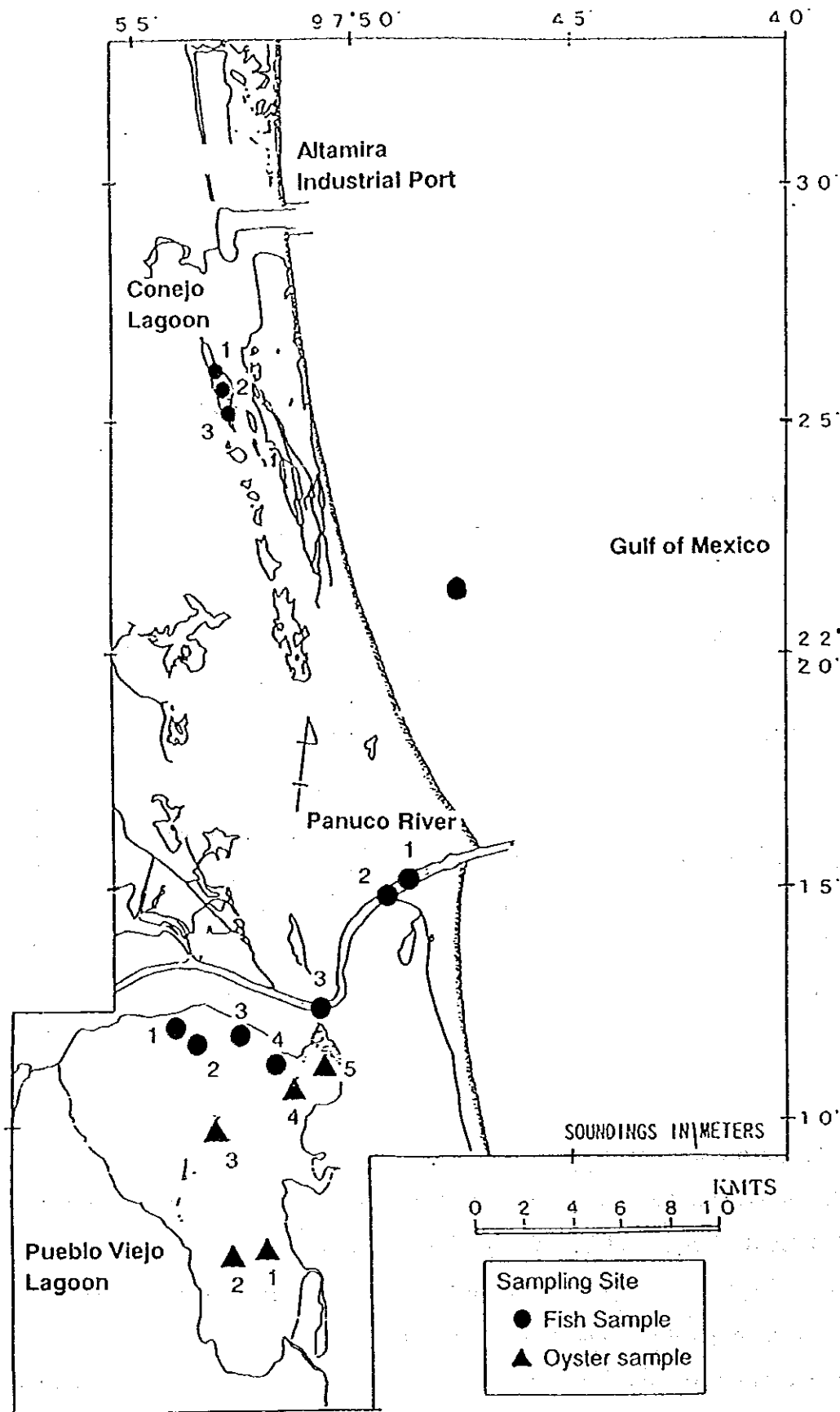


Figura 4.14 Sitios de Monitoreo para el Análisis de Bioacumulación

Tabla 4.26 Método Analítico para las Pruebas de Bioacumulación

	Parameter	Method	Reference
Toxic Paramete	Cd	Atomic absorption spectrometry	EPA 3050B (Digestion), HBSS .6, EPA 7131A
	Pb	Atomic absorption spectrometry	EPA 3050B (Digestion), HBSS .7, EPA 7421
	Cu	Atomic absorption spectrometry	EPA 3050B (Digestion), HBSS .8, EPA 7211
	Zn	Atomic absorption spectrometry	EPA 3050B (Digestion), HBSS .9, EPA 7951
	T-Hg	Atomic absorption spectrometry using vapor	HBSS .5, EPA 7471A
	PCB	Gas chromatography with ECD	JIS K 0093, EPA 8082, Notification No.127 ⁽²⁾
	HCB	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽¹⁾
	Aldrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽¹⁾
	Endrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽²⁾
	Dieldrin	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽¹⁾
	DDT	Gas chromatography with ECD	EPA 8081A, Tentative Survey Manual ⁽¹⁾

Note:

JIS : Japan Industrial Standard

EPA : Environmental Protection Agency

(2) "Tentative Survey Manual of External Factor Endocrine Disturbance Chemical Substance"

(3) Notification No.127 issued by Water Quality Control Section, Water Protection Department, EPA

4.5.2 Resultados de las Pruebas de Bioacumulación

Los resultados de los análisis de bioacumulación se muestran en la Tabla 4.27. De todos, los seis parámetros aldrin, dieldrin, endrin, PCB, DDT y hexaclorobenceno que son utilizados principalmente como agroquímicos, no se detectó PCB, lo que significa que la vida acuática del área alrededor de Tampico no ha sido afectada por los parámetros tóxicos antes mencionados.

En cuanto a los metales pesados, se detectó zinc con valores entre 1 - 140 mg/kg. Se encontró una concentración alta de zinc en tres muestras de ostiones en la Laguna de Pueblo Viejo, en la muestra de tilapia de la Laguna del Conejo y en Gurrubata del río Pánuco. Los peces presentan de manera normal un contenido de zinc de hasta cien partes por millón. Así que las cantidades encontradas en esas tres muestras no se consideraron niveles altos.

Muchas de las muestras analizadas para mercurio son menores que el límite de detección mínimo (0.25 mg/kg.). Sin embargo, algunas muestras como el Ronco en la zona costera, la Gurrubata en el río Pánuco y en la Laguna de Pueblo Viejo registraron un alto contenido de mercurio del orden de 0.9 a 1.7 mg/kg. Los resultados de un estudio de monitoreo para

determinar contaminación por mercurio en una costa Japonesa revelaron que muchas muestras contenían mercurio en un rango entre 0.005 -0.05 mg/kg. y un número pequeño de ellas sobrepasaba los 0.4 mg/kg. Esto, no puede explicar realmente por qué el límite de detección mínimo de mercurio ha sido comparativamente alto en este estudio en particular, pero las áreas de muestreo donde se detectó una concentración alta de mercurio son similares a las áreas donde el mercurio en sedimento mostró valores altos. Es posible que parte de los peces estén afectados por una contaminación ambiental de mercurio.

La cantidad de Cd medida estaba sobre el límite de detección mínimo en tres de las muestras de ostiones, pero no era tan alta. Se detectó cobre en algunos ostiones del orden de 3 - 24 mg/kg. Esto no representa realmente un problema porque los moluscos, los cuales cuentan con una proteína de cobre en la sangre, han presentado altas concentraciones de cobre en general. Todas las muestras medidas para determinar plomo tenía cantidades menores que el límite de detección mínimo (1.0 mg/kg.)

Tabla 4.27 Resultados del Pruebas de Bioacumulación

No.	Sample Site	Species	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Hg (mg/kg)	PCB (mg/kg)	HCB (mg/kg)	Aldrin (mg/kg)	Endrin (mg/kg)	Dieldrin (mg/kg)	DDT (mg/kg)
1	Coast South	RONCO	<0.2	<1.0	0.30	5.5	0.46	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	Coast South	TRUCHA	<0.2	<1.0	<0.25	6.3	0.43	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	Coast South	GURRUBATA	<0.2	<1.0	<0.25	9.2	0.66	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	Coast South	RONCO	<0.2	<1.0	0.37	3.5	0.97	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	Coast South	HUACHINANG	<0.2	<1.0	<0.25	2.0	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	Pueblo Viejo Lagoon 1	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	0.35	2.9	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	Pueblo Viejo Lagoon	GURRUBATA	<0.2	<1.0	<0.25	8.0	1.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	Pueblo Viejo Lagoon 3	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	0.38	11	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
9	Pueblo Viejo Lagoon 4	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	0.51	17	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	Pueblo Viejo Lagoon 1	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	0.38	2.0	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	Pueblo Viejo Lagoon 1	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	0.68	62	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	Pueblo Viejo Lagoon 3	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	0.56	5.2	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1	Pueblo Viejo Lagoon 4	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	0.49	2.9	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	Pueblo Viejo Lagoon 1	OYSTER	0.4	<1.0	9.8	55	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	Pueblo Viejo Lagoon 2	OYSTER	<0.2	<1.0	3.2	17	0.26	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	Pueblo Viejo Lagoon 3	OYSTER	0.4	<1.0	23	140	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	Pueblo Viejo Lagoon 4	OYSTER	0.2	<1.0	7.8	79	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	Pueblo Viejo Lagoon 5	OYSTER	<0.2	<1.0	5.3	58	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	Conejo Lagoon 1	TILAPIA	<0.2	<1.0	<0.25	4.6	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	Conejo Lagoon 2	TILAPIA	<0.2	<1.0	<0.25	1.3	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
9	Conejo Lagoon 3	TILAPIA	<0.2	<1.0	<0.25	3.6	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	Conejo Lagoon 1	TILAPIA	<0.2	<1.0	<0.25	100	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	Conejo Lagoon 2	TILAPIA	<0.2	<1.0	<0.25	1.3	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	Conejo Lagoon 3	TILAPIA	<0.2	<1.0	<0.25	1.9	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1	Conejo Lagoon 2	BAGRE	<0.2	<1.0	<0.25	4.8	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	Conejo Lagoon 3	BAGRE	<0.2	<1.0	<0.25	1.7	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	Panuco River 1	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	<0.25	0.90	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	Panuco River 1	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	<0.25	1.0	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	Panuco River 1	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	<0.25	0.56	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	Panuco River 1	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	<0.25	3.5	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	Panuco River 2	LEBRANCHA	<0.2	<1.0	0.33	1.9	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	Panuco River	GURRUBATA	<0.2	<1.0	<0.25	3.5	<0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
9	Panuco River 3	GURRUBATA	<0.2	<1.0	<0.25	3.1	0.29	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	Panuco River 3	GURRUBATA	<0.2	<1.0	<0.25	5.2	0.90	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	Panuco River 3	GURRUBATA	<0.2	<1.0	<0.25	3.5	0.33	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	Panuco River 3	GURRUBATA	<0.2	<1.0	<0.25	100	0.39	ND	ND	ND	ND	ND	ND

4.6 Evaluación de las Condiciones Ambientales en la Zona de Tampico

Los siguientes resultados de la evaluación sintetizada relacionados con las características de cada tipo de agua están basados en dos observaciones que se habían hecho:

(1) Zona Costera

a) Cerca de la boca del Río Pánuco.

El área alrededor de la boca del río fue afectada directamente por el agua del río provocando una turbidez alta y contaminación por bacterias durante la época de lluvias. En un sitio, se encontró una alta concentración por mercurio en los sedimentos y en el pez Gurrubata.

- Area Norte

Las condiciones fueron normales aunque la transparencia del agua fue un poco baja.

- Puerto Industrial de Altamira

No se encontró ningún fenómeno extraordinario, excepto que el fondo del agua del interior del puerto presenta deficiencia de oxígeno en la época de lluvias.

(2) Río Pánuco

Presenta una condición de turbidez alta. También presenta contaminación por bacterias y materia orgánica. Además, existe un alto contenido de mercurio en el sedimento y en el pez Gurrubata, el cual habita el río.

(3) Laguna de Pueblo Viejo

El río Pánuco presenta un efecto notable en el noreste de la laguna. La laguna presenta las mismas características del río Pánuco, gran turbidez, contaminación por materia orgánica y por bacterias, una alta concentración de mercurio en sedimento y acumulación del mismo en el pez Gurrubata.

(4) Laguna del Conejo

Entre las áreas observadas, la Laguna del Conejo registró los valores más altos para muchos de los parámetros básicos analizados. La laguna presenta una eutroficación notable y contaminación orgánica. Sin embargo, el Bagre y la Tilapia, especies encontradas en esta laguna, no presentan acumulaciones anormales de metales pesados y compuestos orgánicos en su sistema.

Capítulo 5 Análisis de Carga de Contaminantes y Simulación de Calidad del Agua

5.1 Análisis de Carga de Contaminantes

5.1.1 Métodos de Análisis de Carga de Contaminantes

(1) Objetivos

En general, el análisis de carga de contaminantes en el contexto de monitoreo de calidad del agua está orientado a la estimación de la misma, midiendo cuatro parámetros, DQO, DBO₅, nitrógeno total y fósforo total en el área de Tampico para la formulación del Plan de Monitoreo de la Calidad del Agua Costera. Específicamente, el análisis pretende lo siguiente:

- identificar las fuentes de contaminación el área de Tampico
- estimar las cargas de contaminantes que existen en el área, y
- estimar las cargas de contaminantes en el futuro.

(2) Área de Estudio

El Área de Estudio para el análisis de carga de contaminantes comprende cinco cuerpos de agua

- Zona Costera (se extiende desde el Puerto Industrial de Altamira hasta la boca del río Pánuco);
- Puerto Industrial de Altamira (incluye al arroyo Garrapatas y vertientes);
- Laguna el Conejo y Laguna de Marismas;
- Río Pánuco (desde la unión entre el Río Tamesi hasta la boca del Río Pánuco); y
- Laguna de Pueblo Viejo (incluyendo el Río Llave).

(3) Diagrama de Flujo del Análisis de la Carga de Contaminantes

La carga de contaminantes se analizó para fuentes puntuales y fuentes no puntuales separadamente. El diagrama de flujo del análisis de carga de contaminantes se muestra en la Figura 5.1.

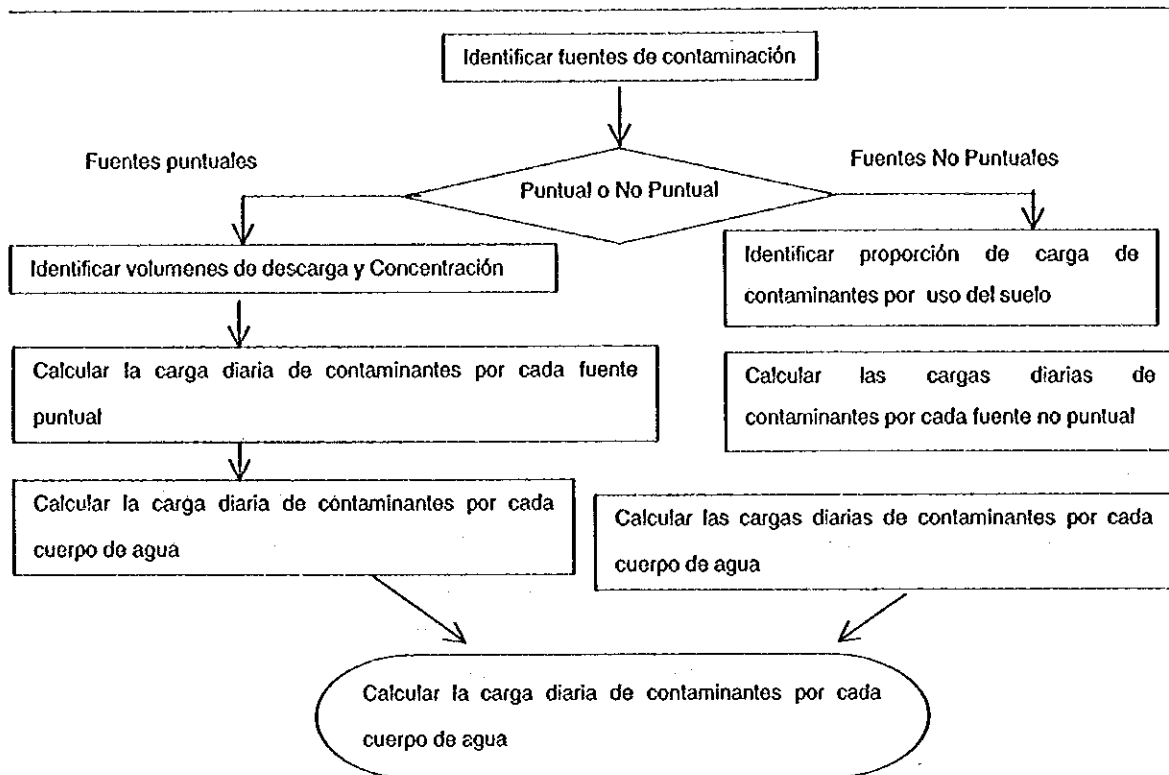


Figura 5.1 Perfil del Análisis de Carga de Contaminantes

5.1.2 Fuentes de Contaminación Existentes

Las principales fuentes de contaminación en el área de Tampico se clasifican en fuentes puntuales y fuentes no puntuales, los cuales se enlistan en la Tabla 5.1 y se describen brevemente a continuación:

(1) Fuentes Puntuales

a) Aguas Residuales Industriales

Industrias químicas y petroquímicas descargan sus aguas residuales de forma independiente en las siguientes áreas:

- Puerto Industrial de Altamira y Arroyo Garrapatas (A en la Tabla 5.1);
- Laguna el Conejo (B/I en la Tabla 5.1);
- Río Pánuco (C en la Tabla 5.1); y
- Agua Costera del Golfo de México (del D al G en la Tabla 5.1).

b) Aguas Residuales Municipales

Las aguas residuales municipales sin tratamiento de Tampico y Madero (C/4/1-5, C/5/1-4, y C/8/1-2 listadas en la Tabla 5.1) son descargadas en el Río Pánuco. Estas aguas provienen no sólo de descargas domésticas, sino también de descargas industriales y comerciales.

Tabla 5.1 Inventario de Fuentes de Contaminación

Número de la Fuente de Contaminación*	Nombre	Actividad	Tipo de Descarga
Golfo de México			
Puerto Industrial Altamira			
A	Administración Portuaria Integral del Servicio Altamira		Puntual
A/1, S	Pittsburgh Plate Glass Industry	Industria Química Inorgánica	Puntual
A/2, I	Garrapatas Stream		
A/3	Polycyd	Síntesis de polímeros	Puntual
A/3/1, I	Comisión Federal de Electricidad	Estación Eléctrica	Puntual
A/3/2, I	Negromex (Solución)	Petroquímica	Puntual
A/3/3, I	Cuenca del Arroyo Garrapatas		
A/3/4, R	No puntual		
Laguna Marismas			
Laguna Conejo			
B	BASF Mexicana		
B/1	Grupo Primex	Polímeros	Puntual
B/1/1, I	Internacional Papeles del Golfo	Papel	Puntual
B/1/2, I	Fibras Nacionales de Acrílico	Fibras sintéticas	Puntual
B/1/3, I	GE Plastic (Polimar)	Polímeros	Puntual
B/1/4, I	Parque Pequeña y Mediana Industria		
B/1/5, I	Op. y Comercializadora Trevi Plus	Botellas de agua	Puntual
B/1/6	Johns Manville	Materiales inyectables	Puntual
B/1/6(1), I	Tecno Asfalto del Golfo	Asfalto	Puntual
B/1/6(2), I	Asfaltos y Derivados Mexicanos	Asfalto	Puntual
B/1/6(3), I	Otros	Asfalto	Puntual
B/1/6(4), I	Cuenca de la Lag. Conejo		
B/1/6(5)-(16), I	No puntual		
B/1/7			
Río Panuco			
C	A. Arriba Río Pánuco		
C/1	Río Tamesí		River
C/2	Laguna Costera		
C/2/1	No puntual		
C/3	Morelos		
C/3/1, I	Ind. Procesado Alimentos Marinos		
C/4	Puntual		
Canal la Puntilla			
C/4/1, M	Sis. Abasto de Agua Altavista	Municipal	Puntual
C/4/2, M	Carcamo No 1	Drenaje municipal	Puntual
C/4/3, M	Carcamo No 2	Drenaje municipal	Puntual
C/4/4, M	Carcamo No 3	Drenaje municipal	Puntual
C/4/5, M	Planta de Bombas No 6	Drenaje municipal	Puntual
C/4/6, U	Parte Sureste de Tampico	Área urbana	No puntual
C/4/7, M	Relleño Sanitario de Tampico	Residuos sólidos municipales	No puntual
C/5, U	Tampico		
C/5/1, M	Planta de Bombas No 1	Drenaje municipal	Puntual
C/5/2, M	Planta de Bombas No 7	Drenaje municipal	Puntual
C/5/3, M	Planta de Bombas No 8	Drenaje municipal	Puntual
C/5/4, M	Sistema de Gravedad No 12	Drenaje municipal	Puntual
C/5/5, M	Parte Sur de Tampico	Área urbana	No puntual
C/6, U	Parte Norte de Pueblo Viejo	Área urbana	No puntual
C/7	Laguna de Pueblo Viejo		
C/7/1, R	Cuenca de la Lag. Pueblo Viejo	Pastura	No puntual
C/7/2, M	Lag. de Oxidación Cuauhtémoc	Planta Tratamiento Municipal	Puntual
C/8	Madero		
C/8/1, M	Sistema de Gravedad No 11	Drenaje municipal	Puntual
C/8/2, M	Planta de Bombas No 9	Drenaje municipal	Puntual
C/8/3, U	Parte Sur de Madero	Área urbana	No puntual
C/9	Canal Chijol		
C/10, I	Refinería Madero	Refinería de petróleo	Several Puntuais
C/11, I	Química del Mar	Industria inorgánica	Puntual
D			
Petrocel			
D(1), I	Petrocel	Acido tereftálico	Puntual
D(2), I	Indelpro	Polímeros	Puntual
D(3), I	Hercules	Fibras sintéticas	Puntual
D(4), I	Tereftalatos Mexicanos	Acido tereftálico	Puntual
D(5), I	Pecten Poliesters	Polímeros	Puntual
E, I	Novaquim		
F	Negromex		
F(1), I	Negromex	Plástico sintético	Puntual
F(2), I	Nhumo	Carbón negro	Puntual
G, I	Dupont	Color	Puntual

* I: Industrial, S: Servicio, M: Municipal, R: Rural, U: Urbano, Aqua: Acuacultura

** Las Marismas no están directamente conectadas con el Golfo de México

(2) Fuentes no puntuales

Con base en fotografías aéreas de 1995, mapas topográficos y otra información de SAGAR sobre Tampico y el plan de desarrollo urbano de la zona metropolitana del sur del Río Pánuco, el uso del suelo del área de Tampico se clasifica como sigue:

- i) Zona residencial de baja densidad;
- ii) Zona residencial de media densidad;
- iii) Área comercial incluyendo el puerto comercial de Tampico;
- iv) Área Industrial incluyendo el puerto industrial de Altamira;
- v) Recreativas/Áreas abiertas (urbanas);
- vi) Áreas agrícolas/pastoreo incluyendo áreas abiertas (agricultura) y pastizales;
- vii) Ríos y lagos;
- viii) Zonas húmedas (incluyendo pantanos, humedales con bosques, pantanos de agua dulce, pantanos de agua salobres y zonas húmedas sin vegetación).

El área estimada de las fuentes no puntuales se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Áreas de Fuentes No Puntuales por Categoría de Uso del Suelo

Categoría de uso del suelo	Número de la Fuente de Contaminación unid: ha									
	A/3/4	B/1/7	C/2/1	C/3/1	C/4/6	C/4/7	C/5/5, C/8/3	C/6	C/7/1	C/9
Residencial densidad baja	50	-	60	150	-	510	1278	140	310	90
Residencial densidad media	-	-	-	-	-	-	267	-	-	-
Comercial	-	-	-	-	-	-	106	-	-	-
Industrial	240	80	-	-	50	-	304	120	-	-
Recreativa/abierta	-	-	-	-	50	-	126	-	-	-
Agrícola/pastoreo	6550	260	4000	-	-	-	-	580	94100	2130
Lagos y ríos	-	-	300	-	-	-	80	-	-	60
Zonas húmedas	-	-	1700	-	-	-	-	25	4160	370
Total	6840	340	6060	150	100	510	2161	865	98570	2650

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

5.1.3 Futuras Fuentes de Contaminación

(1) Tendencias Socioeconómicas

a) Proyección de la población.

A pesar de que hay muchos habitantes que no están registrados y asentamientos ilegales, especialmente en Pueblo Viejo y Tampico, el equipo JICA aplicó la estimación de CONAPO para la proyección de la población para el análisis de carga de contaminantes. La Tabla 5.3 muestra la población proyectada para el período 1995 a 2010 en Tampico.

Tabla 5.3 Proyección de la Población en el Area de Tampico

Ciudades/Municipios Año	Promedio Anual razón de Crecimien	Población Proyectada			
		1995	2000	2005	2010
Ciudad de Altamira	4.35%	111,839	142,890	176,515	212,054
Ciudad Madero	0.94%	170,282	181,873	191,793	200,625
Tampico	0.40%	278,334	287,176	292,503	295,622
Pánuco (Municipio)	0.97%	95,774	101,949	106,917	110,768
Pueblo Viejo (Municipio)	1.40%	49,198	53,679	57,570	60,871
Tampico Alto (Municipio)	0.13%	14,039	14,260	14,346	14,297
Total		719,516	781,827	839,644	894,237

Fuente: CONAPO

b) Actividades Económicas

La Tabla 5.4 muestra la proyección de la producción química y petroquímica en el futuro. La producción de cada producto se incrementará a razón del 4% anual hasta el año 2010.

Tabla 5.4 Proyecciones de Producción Relacionada con la Industria Química
Unid: tons/año

Nombre de la Cia.	Productos	Año 1996 Producción	Año 1998 Producción	Año 2010 Proyección
DUPONT	Titanium Bioxide	96,000	110,000	176,114
HULES MEXICANOS	Synthetic Rubber	70,000	84,000	134,487
NHUMO	Carbon Black	106,000	120,000	192,124
PRIMEX	PVC Resins	185,000	260,000	416,268
	PVC Compound	31,000	37,200	59,558
	Phthalic Anhydride	32,000	38,400	61,480
	Diocetyl Phthalate	35,000	42,000	67,243
G.E. PLASTICS	ABS Resins	30,000	35,000	56,036
NOVAQUIM	Intermediate Rubber	9,400	7,000	11,207
PETROCEL	Dimethyl Terephthalate	390,000	468,000	749,283
	Terephthalic Acid	36,000	43,200	69,165
POLICYD	PVC Resins	105,000	113,000	180,917
NEGROMEX	Synthetic Rubber	149,000	91,000	145,694
INDELPRO	Polypropylene	135,000	183,000	292,989
FINACRIL	Acrylic Fibers	60,000	72,000	115,274
POLIOLES	Polystyrene	20,000	24,000	38,425
BASF MEXICANA	Acrylic Dispersions	25,000	33,000	52,834
	Crystal Polystyrene+	143,000	154,000	246,559
	Stirenic Copolymers++	130,000	156,000	249,761
HERCULES FIBRAS	Polypropylene Short Fiber+	15,000	18,000	28,819
P.P.G. INDUSTRIES	Precipitated Silica Gel+	30,000	11,000	17,611
TEMEX	Terephthalic Acid+	350,000	532,000	851,749
PECTEN POLIESTERS	Polyethylene Terephthalate+	200,000	70,000	112,072
QUÍMICA FLUOR	Hydrogen Fluorides	67,500	81,000	129,684
PEMEX	Oil refinery	125,000	150,000	240,155
TOTAL		2,574,900	2,932,800	4,695,507

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

En Tampico, la estructura industrial no cambiará mucho debido a las características de las tendencias industriales recientes, demanda de fuerza de trabajo, así como la ausencia de un plan de desarrollo industrial en el área, a excepción de Altamira.

(2) Cargas de Contaminantes Futuras Supuestas

a) Ríos

Se asume que los volúmenes de descarga y cantidad de contaminantes de los arroyos del río Pánuco y del Río Tamesí se mantendrán como hasta ahora.

b) Aguas Residuales Industriales

Se ha asumido lo siguiente:

- i) La razón las descargas industriales químicas y petroquímicas también se incrementará anualmente en un 4 %, con incremento de su producción industrial.
- ii) Las concentraciones de los tres parámetros (DBO₅, nitrógeno total y fósforo total) está al 70 % del límite máximo permisible de la norma (NOM-001-ECOL-1996), y se espera que se mantenga al mismo nivel.
- iii) Si la concentración de un parámetro excede el 70% del límite máximo permitido, las industrias que descargan a esta concentración lo reducirán a menos del 70 % en el año 2010, y
- iv) Los niveles de otros parámetros y de la DQO también se reducirán en la misma proporción mencionada anteriormente.

c) Aguas Residuales Municipales

En la Tabla 5.5 se muestra la proyección de las aguas residuales municipales. Se asume que se instalará una planta de tratamiento con capacidad 1.2 m³/s de agua residual generada en las ciudades de Tampico y Madero.

Tabla 5.5 Proyección de las Aguas Residuales Municipales en Tampico entre los años 1999 al 2010

Cuerpo local	Población*		Volumen diario de descarga per capita ***		Carga diaria DBO5 Per capita***		Carga diaria DQO per capita***		Carga diaria N-Tot per capita***		Carga diaria P-Tot per capita***	
	1999 (persona)	2010 (persona)	1999 (l /capita /día)	Tasa Crecimiento Annual (%)	1999 (g /capita /día)	Razón Crecimiento Annual (%)	1999 (t /capita /día)	Tasa Crecimiento Annual (%)	1999 (t /capita /día)	Tasa Crecimiento Annual (%)	1999 (t /capita /día)	Tasa Crecimiento Annual (%)
Altamira	136,339	212,054	195	3	51	1.5	94	1.5	8.7	1.5	1.04	1.5
Miramar (Parte sur de Altamira)	60,000	70,667	195	3	51	1.5	94	1.5	8.7	1.5	1.04	1.5
Cd. Tampico**	285,765	295,622	251	4	70	2	108	2	18.7	2	2.35	2
Cd. Madero**	179,721	200,625	251	4	70	2	108	2	18.7	2	2.35	2
Pueblo Viejo	52,820	60,871	150	3	45	1.5	82	1.5	7.6	1.5	0.91	1.5

* Fuente: COMAPO excepto Miramar, población de Miramar y las pequeñas comunidades alrededor; valor aproximado 51,462 (solo Miramar) en 1995

** Nota: Incluye descargas de origen comercial e industrial; Nota ***: estimación hecha de datos de agua residual municipal

d) Fuentes no puntuales

Se asume que la transición de la tierra de uso agrícola/pastoreo a residencial de baja densidad en los municipios de Altamira, Pueblo Viejo y Pánuco se incrementará de acuerdo a su crecimiento poblacional.

5.1.4 Análisis de la Carga de Contaminantes

(1) Análisis de Carga de Contaminantes Existentes

a) Aguas Residuales Industriales y Municipales

El volumen de las descargas actuales, concentración de contaminantes y cantidades diarias de contaminantes de las aguas residuales industriales y municipales en Tampico se muestran en la Tabla 5.6. Se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 5.6 Perfil Actual de las Aguas Residuales Municipales e Industriales

Número de la fuente	Volumen Diario de descarga (m ³ /día)	DBO ₅		DQO		Nitrógeno Total		Fósforo total	
		Conc. promedio (mg/l)	Carga diaria (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga diaria (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga diaria (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga diaria (kg/día)
A/1	77	28.0	2.1	118	9.1	-	-	-	-
A/2	3,010	1.2	3.6	17.0	51.2	-	-	-	-
A/3/1	1,040	17.8	18.5	39.5	41.0	2.1	2.2	0.7	0.77
A/3/2	4,770	5.2	25.0	81.0	386	0.5	2.5	1.5	7.09
A/3/3	456	14.8	6.7	41.4	18.9	0.7	0.3	2.7	1.25
B/1/1	718	34.0	24.4	153	110	21.0	15.1	0.87	0.62
B/1/2	3,590	512	1,840	959	3,440	2.9	10.4	0.46	1.64
B/1/3	296	172	52.1	400	118	-	-	-	-
B/1/4	2,390	71.2	170	138	329	19.5	46.6	3.3	7.95
B/1/5	767	8.9	6.8	46.4	35.6	-	-	-	-
B/1/6(2)	7.59	26.4	0.2	197	1.5	-	-	-	-
B/1/6(3)	0.83	125	0.1	261	0.2	-	-	-	-
B/1/6(4)	1.20	4.2	0.005	30.0	0.036	-	-	-	-
C/3/1	250	-	110	-	202	-	-	-	-
C/4/1	7,580	55.4	420	80	606	-	-	-	-
C/4/2	3,160	202	639	470	1,490	64	202	8	25
C/4/3	4,830	188	909	400	1,930	57.2	276	7.2	35
C/4/4	2,070	166	344	440	909	56	116	7	14
C/4/5	3,750	599	3,260	870	3,260	156	587	19.5	73
C/5/1	34,880	320	11,200	430	15,000	81.4	2,840	10.2	356
C/5/2	9,730	398	3,870	550	5,350	102	994	12.8	124
C/5/3	7,220	415	3,000	450	3,250	98.7	712	12.3	89
C/5/4	1,380	125	173	280	387	39	54	4.9	6.8
C/7/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C/8/1	11,383	207	2,360	470	5,350	64.9	739	8.1	92
C/8/2	11,675	205	2,390	420	4,904	61.3	716	7.7	90
C/10(1)	935	43.1	40	599	560	10.5	9.8	0.81	0.75
C/10(2)	5,470	99.7	545	1,093	6,540	57	312	1.3	5.61
D	8,270	35.8	296	82.3	681	0.5	4.5	-	-
E	349	304	106	571	199	58	20.2	-	-
F(1)	2,650	63.1	167	487	1290	21.5	57	-	-
F(2)	681	51	34	100	68.1	3	2	-	-
G	5,720	21	120	-	-	-	-	-	-

Fuente: CNA

i) Las aguas municipales sin tratamiento de Tampico y Madero (C/4/2-4, C/5/1-4, y C/8/1-2) son la principal fuente de contaminación (84% de la cantidad total de DBO₅ y 74% de la concentración de DQO de las aguas residuales industriales y municipales) en Tampico;

ii) *Refinería Madero* (C/10) descarga 1.8% de la cantidad de DBO₅ y 12.6% de la DQO de las aguas residuales municipales e industriales

iii) *Grupo Primex* (B/1/2) descarga 5.7% de la DBO₅ y 6.0% de la DQO de las aguas residuales municipales e industriales .

b) Ríos y Fuentes No Puntuales

La Tabla 5.7 y la Tabla 5.8 muestran el volumen diario de descarga, concentración y carga diaria de contaminantes provenientes de los ríos y de las fuentes no puntuales en las épocas de estiaje y de lluvias respectivamente. Enseguida se muestran los resultados de los análisis.

i) La carga de contaminante es más alta en la época de lluvias que en la de estiaje;

ii) En la parte alta del río Pánuco (C/1) se descarga la mayor concentración de contaminantes en la zona de Tampico (91% de la DBO₅ total y 95% de la DQO total en la época de estiaje; 92% de la DBO₅ y 96% de la DQO total en la época de lluvias proveniente de ríos y fuentes no puntuales); y,

iii) En el Río Tamesi (C/2) se descarga la segunda mayor concentración de contaminantes proveniente de ríos y fuentes no puntuales.

Tabla 5.7 Perfil Actual de las Fuentes No Puntuales en la Epoca de estiaje

Número de la fuente	Volumen Diario de Descarga (m ³ /día)	DBO ₅		DQO		Nitrógeno total		Fósforo total	
		Conc. promedio (mg/l)	Carga de contam (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga de contam (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga de contam (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga de contam (kg/día)
A/3/4	-	-	27.1	-	68.6	-	11.7	-	1.78
B/1/7	-	-	4.36	-	8.95	-	1.07	-	0.18
C/1	16,000,000	1.81	29,000	20.7	332,000	0.788	12,600	0.090	1,440
C/2	1,200,000	1.90	2,280	15.3	18,300	0.905	967	0.075	89
C/2/1	-	-	22.5	-	67.1	-	10.9	-	1.43
C/3	-	-	1.18	-	2.24	-	0.421	-	0.054
C/4/6	-	-	1.18	-	7.61	-	1.43	-	0.18
C/4/7	-	-	2.42	-	4.59	-	0.503	-	0.078
C/5/5	-	-	36.5	-	69.7	-	9.13	-	1.33
And C/8/3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C/6	-	-	7.85	-	16.5	-	2.22	-	0.35
C/7/1	-	-	134	-	400	-	74.3	-	10.8
C/9	-	-	8.06	-	23.4	-	4.18	-	0.58

Tabla 5.8 Perfil Actual de las Fuentes No Puntuales en la Epoca de Lluvias

Número de la fuente	Volumen Diario de Descarga (m ³ /día)	DBO ₅		DQO		Nitrógeno total		Fósforo total	
		Conc. promedio (mg/l)	Carga de contam (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga de contam (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga de contam (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga de contam (kg/día)
A/3/4	-	-	141	-	357	-	60.9	-	9.3
B/1/7	-	-	22.7	-	47	-	5.59	-	0.92
C/1	66,600,000	1.02	68,000	24.7	1,645,000	1.036	17,500	0.149	9,930
C/2	3,630,000	1.18	4,260	16.4	59,300	0.62	2,250	0.073	265
C/2/1	-	-	118	-	350	-	56.9	-	7.4
C/3	-	-	6.14	-	11.7	-	2.19	-	0.28
C/4/6	-	-	20.9	-	39.7	-	7.46	-	0.96
C/4/7	-	-	12.6	-	23.9	-	2.62	-	0.41
C/5/5 And C/8/3	-	-	190	-	364	-	47.6	-	6.92
C/6	-	-	43.5	-	91.6	-	12.3	-	1.9
C/7/1	-	-	743	-	2,220	-	412	-	60
C/9	-	-	44.7	-	130	-	23.1	-	3.2

c) Cantidad Total de Carga de Contaminantes

La carga diaria de DQO en Tampico se muestra en la Figura 5.2. Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

- i) En el puerto industrial de Altamira (A), la contaminación causada por aguas residuales industriales no es representativa;
- ii) En la laguna El Conejo, la carga de contaminantes provenientes de aguas residuales industriales es un problema serio, ya que la laguna El Conejo es un cuerpo de agua cerrado muy pequeño;
- iii) La concentración de DQO en la boca del río Pánuco está determinada por la concentración de DQO río arriba (C/1). Por otro lado, la concentración de DBO₅, nitrógeno total y fósforo total en la boca del Pánuco está determinada por el volumen de descarga y la calidad del agua de dos fuentes de contaminación: las aguas río arriba y las descargas municipales de Tampico y Madero. (C/4/2-5, C/5/1-4 y C/8/1-2); y
- iv) El río Pánuco es la fuente de casi toda la carga de contaminantes de DQO en la zona costera del Golfo de México.

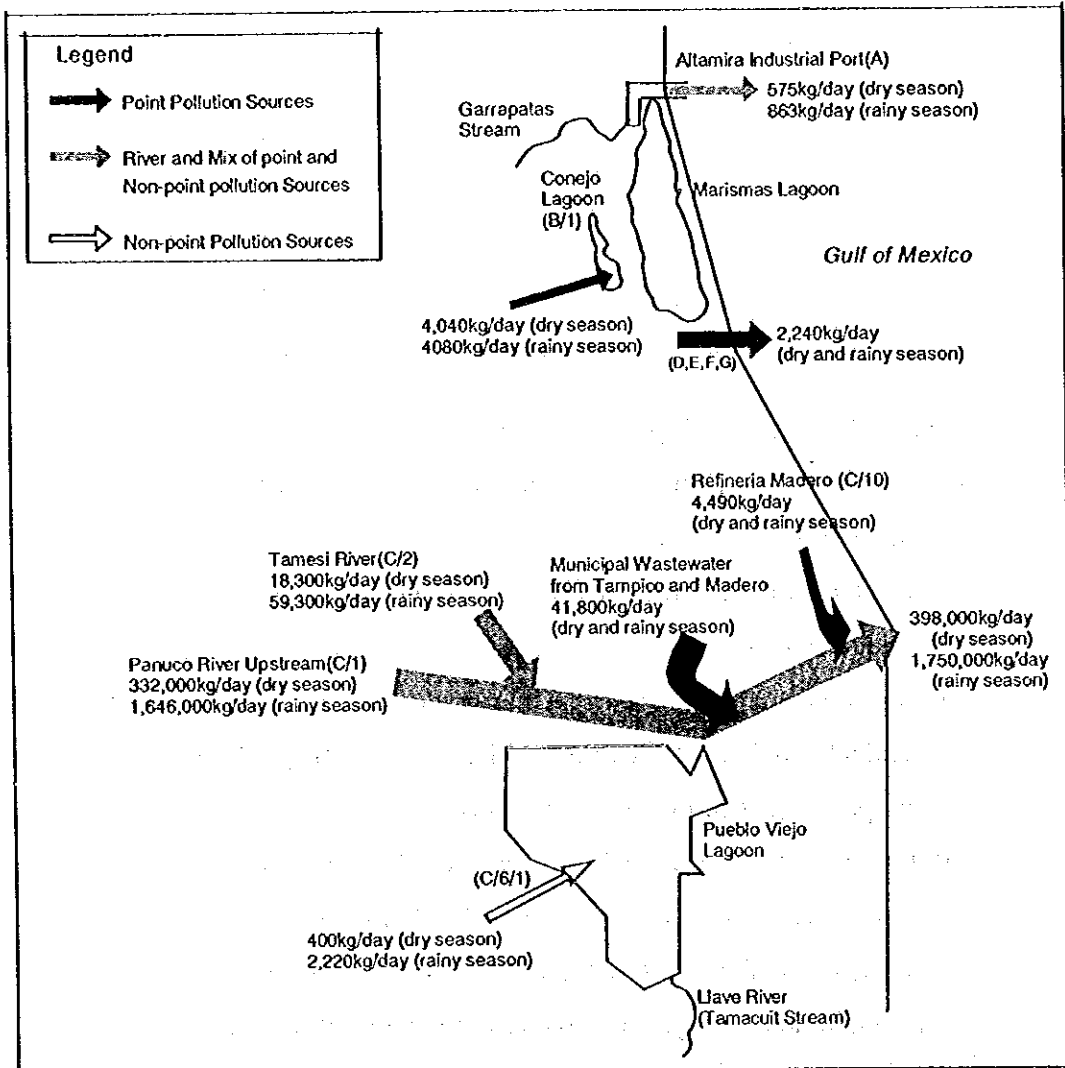


Figura 5. 2 Cargas de Contaminantes de DQO en Epoca de Lluvia y Estiaje

(2) Análisis de Cargas de Contaminantes en el Futuro

a) Aguas Residuales Industriales y Municipales

El volumen diario de descargas, concentración de contaminantes y la carga diaria de contaminantes de las aguas residuales industriales y municipales de Tampico para el año 2010 se muestran en la Tabla 5.9. Los resultados de los análisis incluyen lo siguiente:

- i) La carga de contaminantes de las aguas residuales sin tratamiento de Tampico y Madero que se descargan en el río Pánuco (C/4/2-5, C/5/1-4, C/8/1-2) disminuirán (la cantidad de DQO disminuirá de 41,800 kg/día a 33,000 kg/día);
- ii) En el año 2010, la DQO de algunas fuentes puntuales será menor que la actual, Grupo Primex (B/1/2) (de 3,440 a 588 kg/día), *Internacional Papeles del Golfo* (B/1/3) (de 118 a 60.1 kg/día), *Refinería Madero* (C/10) (de 7,100 a 2,760 kg/día) y *Novaquim* (E) (de 199 a 57 kg/día); y
- iii) La cantidad de contaminantes de otras fuentes puntuales no disminuirá.

Tabla 5.9 Aguas Residuales y Municipales para el año 2010

Número de la fuente	Volumen Diario de descarga (m ³ /día)	DBO ₅		DQO		Nitrógeno total		Fósforo total	
		Con. promedio (mg/l)	Carga diaria (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga diaria (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga diaria (kg/día)	Conc. promedio (mg/l)	Carga diaria (kg/día)
A/1	128	28.0	3.58	118	15.1	-	-	-	-
A/2	5,010	1.2	6.0	17.0	85.2	-	-	-	-
A/3/1	1,730	17.8	30.8	39.5	68.2	2.1	3.68	0.7	1.28
A/3/2	4,770	5.2	25.0	81.0	386	0.5	2.5	1.5	7.09
A/3/3	759	14.8	11.2	41.4	31.4	0.7	0.57	2.7	2.08
A/5*	4,770	5.2	25.0	81.0	386	0.5	2.5	1.5	7.09
B/1/1	1,200	34.0	40.6	153	183	21.0	25.1	0.87	1.03
B/1/2	5,975	52.5	314	98.4	588	0.3	1.79	0.047	0.28
B/1/3	493	52.5	25.9	122	60.1	-	-	-	-
B/1/4	3,973	52.5	209	102	405	14.4	57.2	1.23	4.88
B/1/5	1280	8.9	11.4	46.4	59.3	-	-	-	-
B/1/6(2)	12.6	26.4	0.332	197	2.48	-	-	-	-
B/1/6(3)	1.38	52.5	0.073	110	0.15	-	-	-	-
B/1/6(4)	2.00	4.2	0.01	30.0	0.06	-	-	-	-
C/3/1	250	-	110	-	202	-	-	-	-
C/4/1	13,000	55.4	720	80	1,040	-	-	-	-
(C/4/2-5, C/5/1-4, C/8/1-2)	95,000	-	21,400	-	33,000	-	5,730	-	704
C/10(1)	1,560	43.1	67	599	932	10.5	16.4	0.81	1.17
C/10(2)	9,100	18.4	168	201	1,830	10.5	95.6	1.73	5.61
D	13,800	35.8	494	82.3	1,136	0.5	6.9	-	-
E	580	52.5	30.5	99	57	10.0	5.8	-	-
F(1)	4,590	52.5	241	405	1,860	17.9	82.2	-	-
F(2)	1,130	51	57.6	100	113	3	3.39	-	-
G	10,700	21	224	-	-	-	-	-	-

Fuente:

* A/5: una nueva termoeléctrica en el Puerto de Altamira

b) Ríos y Fuentes No Puntuales

La carga de contaminantes proveniente de los ríos y las fuentes no puntuales no cambiará significativamente .

c) Cantidad Total de Carga de Contaminantes

La carga diaria de contaminantes por DQO en Tampico para el año 2010 se muestra en la Figura 5.3. Los resultados de los análisis apuntan a lo siguiente:

- i) En el año 2010, la carga de contaminantes en la laguna El Conejo (B/1) se reducirá (la DQO disminuirá de 4040 a 1310 kg/día en la época de estiaje);
- ii) Por otro lado, habrá un incremento en la carga de contaminantes del puerto industrial de Altamira (A) (de 575kg/día a 1040 kg/día de DQO en época de estiaje y de la zona industrial (D, E, F, y G) a las aguas costeras (de 2,240 a 4,220 kg/día de DQO; y
- iii) Casi toda la carga de DQO (y otros parámetros como DBO5, nitrógeno total y fósforo total) de las aguas costeras del Golfo de México provendrá del río Pánuco como lo es actualmente.

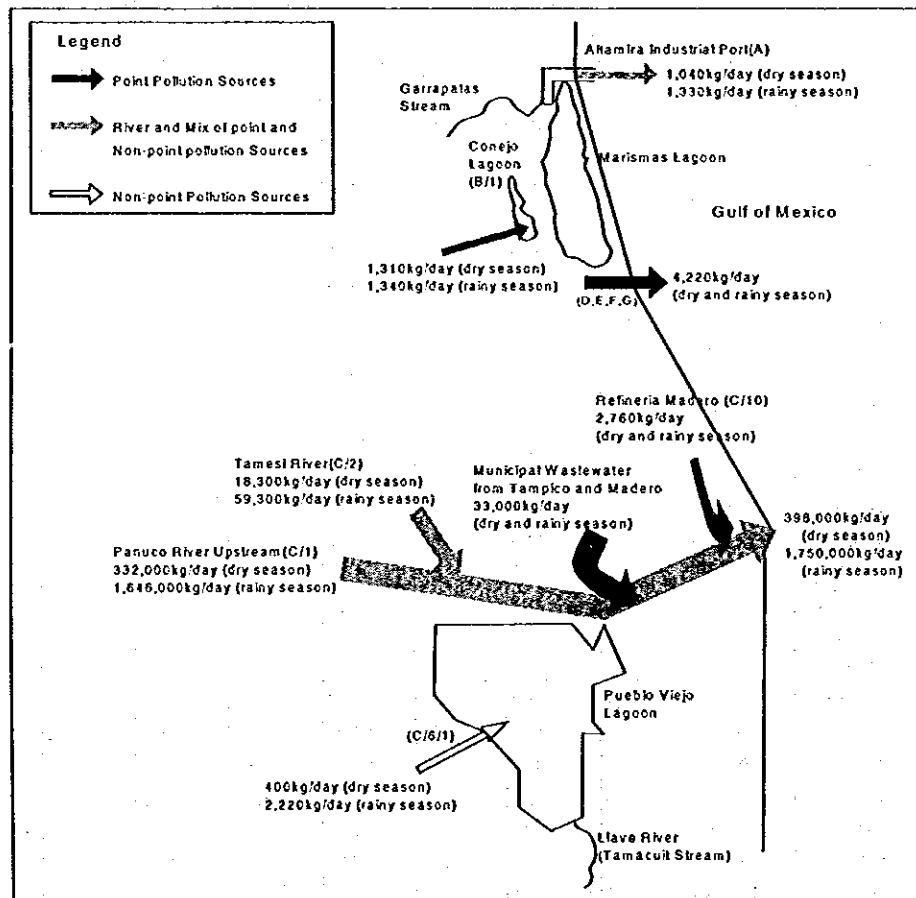


Figura 5.3 Carga de Contaminantes en Época de Estiaje y de Lluvia en Términos de DQO para el año 2010

5.2 Simulación de Calidad del Agua

5.2.1 Objetivo

El objetivo al utilizar modelos de simulación numéricos es calcular la distribución horizontal de la calidad del agua para poder seleccionar adecuadamente los sitios de monitoreo. El simulador numérico puede predecir los cambios en la calidad del agua causados por futuras cargas de contaminantes con base en las condiciones socioeconómicas. Como herramienta del plan de manejo del medio ambiente, se espera que los simuladores numéricos simulen las características hidrodinámicas así como la calidad del agua de las costas y cuerpos de agua lagunares. Con el fin de seleccionar adecuadamente las estaciones de monitoreo de calidad del agua, el modelo debe ser por lo menos bidimensional horizontalmente.

5.2.2 Selección del Area de Estudio

En este estudio, se incorporará un análisis de simulación de calidad del agua para lograr una localización racional de los puntos de monitoreo. La simulación de la calidad del agua ha sido aplicada en dos de los cinco cuerpos de agua del área en estudio los cuales se mencionan a continuación:

- Laguna de Pueblo Viejo, y
- La zona costera que se extiende desde la boca del Pánuco hasta el puerto industrial de Altamira.

Los cuerpos de agua mencionados anteriormente tienen características diferentes; el primero es un cuerpo de agua cerrado, el segundo es un área marina abierta al Golfo de México. El modelo de simulación utilizado en este estudio puede ser utilizado en otras áreas y lagunas costeras en los Estados Unidos Mexicanos. Por lo tanto se considera adecuado que se seleccionen, como caso de estudio, dos cuerpos de agua con características diferentes para las pruebas de simulación de la calidad del agua.

5.2.3 Descripción del Modelo

La proyección de la calidad del agua se debe llevar a cabo utilizando un modelo apropiado de acuerdo a los objetivos establecidos. En la proyección de la calidad del agua en zonas costeras, las ecuaciones hidrodinámicas y/o las ecuaciones de advección-difusión normalmente se resuelven numéricamente utilizando el método de diferencias finitas o el método de elementos finitos. La diferencia entre simulación numérica y solución analítica es que para llevar a cabo una simulación numérica se requiere alimentar una gran cantidad de datos, así que esto requiere de gran cantidad de tiempo para preparar y ejecutar la simulación. Además se requiere de los conocimientos de un experto para interpretar los resultados de la simulación.

Por otro lado, las simulaciones numéricas son flexibles y muy aplicables a cualquier situación. Hay muchos tipos de modelos de simulación, y algunos se enlistan a continuación:

- Modelo unidimensional (horizontal)
- Modelo unidimensional (vertical)
- Modelo bidimensional (horizontal)
- Modelo bidimensional (vertical)
- Modelo tridimensional

De los modelos mencionados anteriormente, el modelo bidimensional horizontal es el más utilizado en aguas costeras. Este modelo está formulado como un modelo de profundidades promediadas, las cuales se obtienen integrando verticalmente las ecuaciones tridimensionales. Una aplicación característica de los modelos bidimensionales, es la simulación de las características hidrodinámicas y calidad del agua en costas y cuerpos de agua lagunares con poca profundidad. Este modelo de profundidades promedio es también aplicable a cuerpos de agua donde el agua se mezcla bien verticalmente, de manera que la calidad del agua es homogénea en la vertical. Existen muchas aplicaciones para las cuales el modelo bidimensional de profundidad promedio se ha utilizado en Japón para evaluar impactos ambientales.

El modelo tridimensional es la versión más completa de los modelos de simulación ya que ofrece una resolución tridimensional, sin embargo hay algunas limitaciones en su utilización. Por ejemplo, el modelo es capaz de obtener exactitud considerable en factores hidrodinámicos como corrientes, dirección del viento y densidad de las corrientes. Sin embargo, necesita ser alimentado con muchos parámetros, así como de grandes habilidades para que sea utilizado efectivamente.

Tomando en cuenta las características de los modelos numéricos para simulación, se considera que el modelo bidimensional horizontal sería el más apropiado para aplicarse en Laguna de Pueblo Viejo y la zona costera de Tampico. Ambos cuerpos de agua tienen un área muy amplia horizontalmente. La Laguna de Pueblo Viejo es somera, con una profundidad de tan solo 1 ó 2 metros. La pendiente del lecho en la zona costera es considerablemente suave, existe una línea paralela a 7 km de la costa de 20 m de profundidad y otra localizada a 30 km de la costa, de 50 metros. En las aguas someras de la laguna de Pueblo Viejo y la zona costera que se abren al océano, se espera que la densidad de estratificación tenga un papel menos importante en la determinación de las características hidrodinámicas y en la calidad del agua de ambos cuerpos. Sin embargo, se considera que el modelo bidimensional de profundidad promedio es aplicable.

Uno de los objetivos al utilizar simuladores numéricos es facilitar la selección de sitios de

monitoreo de calidad del agua apropiados. Para lograr este objetivo, es necesario que por lo menos la distribución horizontal de la calidad del agua sea uno de los resultados de la simulación. El modelo bidimensional de profundidad promedio cumple con este requisito.

Como se mencionó anteriormente, el modelo más completo es el tridimensional, el cual puede ser aplicado en casi cualquier situación. Sin embargo, se requiere un alto grado de habilidades técnicas, es por eso que es poco probable que este método de simulación sea utilizado ampliamente en el programa de monitoreo de calidad del agua en zonas costeras. En contraste, un paquete computacional del modelo bidimensional es relativamente fácil de usar. Se recomienda que el modelo bidimensional de profundidad promedio sea utilizado hasta que se tengan las habilidades suficientes para manejarlo.

El software MIKE21 ELP, el cual fue desarrollado por el Danish Hydraulics Institute (DHI) es un sistema de modelación bidimensional hidrodinámico y de calidad del agua. Este sistema ha sido el seleccionado como herramienta para simular las características hidrodinámicas y la calidad del agua del área en estudio debido a su uso a nivel mundial y costo relativamente bajo que incluye lo siguiente:

- PP : Módulo Pre-y Post-proceso;
- HD : Módulo Hidrodinámico; y
- AD : Módulo Advección-Dispersión.

Las ecuaciones fundamentales utilizadas en MIKE21, HD y AD se muestran a continuación. Las siguientes ecuaciones de la conservación de masas y de momentum integradas en la vertical, describen la variación en el flujo y en el nivel del agua.

(1) Ecuaciones Hidrodinámicas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2}$$

$$- \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2}$$

$$- \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] + \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0$$

En las ecuaciones se utilizan los siguientes símbolos:

- $h(x,y,t)$: Profundidad del agua (m)
 $\zeta(x,y,t)$: Elevación de la superficie (m)

$p, q(x, y, t)$: Densidades del flujo en la dirección x y y- ($m^3/s/m$) = (u_h, v_h) ; (u, v) = velocidades promedio bajo la superficie en dirección x- y y
$C(x, y)$: Resistencia Chezy ($m^{0.5}/s$)
G	: Aceleración debida a la gravedad (m/s^2)
$F(V)$: Factor de fricción del viento
$V, V_x, V_y(x, y, t)$: Velocidad del viento y componentes de la dirección en x y y (m/s)
$\Omega(x, y)$: Parámetro Coriolis, dependiente de la latitud (s^{-1})
$P_a(x, y, t)$: Presión atmosférica (kg/m^2)
ρ_w	: Densidad del agua (kg/m^3)
x, y	: Coordenadas espaciales (m)
T	: Tiempo (s)
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: Components of effective shear stress

(2) Ecuaciones de Advección-Difusión

La siguiente ecuación, con conservación de la materia integrada a la vertical, describe el proceso de advección-dispersión de las sustancias incluyendo degradación:

$$\frac{\partial}{\partial t}(hC) + \frac{\partial}{\partial x}(uhC) + \frac{\partial}{\partial y}(v_hC) = \frac{\partial}{\partial x}\left(hD_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hD_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) - FhC + S$$

En la ecuación se utilizan los siguientes símbolos:

C	: Concentración del componente (unidades arbitrarias)
u, v	: Velocidad horizontal del componente de la dirección x, y (m/s)
H	: Profundidad del agua (m)
D_x, D_y	: Coeficiente de dispersión de la dirección x-y- (m^2/s)
F	: Coeficiente de decaimiento lineal ($1/s$)
S	: $Q_s(C_s - C)$
Q_s	: Fuente/descarga ($m^3/s/m^2$)
C_s	: Concentración del componente de la fuente/descarga

(3) Limitaciones del Modelo

Existen algunas limitaciones del modelo anteriormente descrito con respecto a la capacidad de representar un proceso real que determine la calidad del agua. El modelo bidimensional horizontal es aplicable a situaciones donde la velocidad de la corriente y la calidad del agua son relativamente uniformes en dirección vertical. La densidad de estratificación afecta fuertemente la velocidad de la corriente y la calidad del agua, de manera que el modelo utilizado aquí puede no ser aplicable en cuerpos de agua fuertemente estratificados. Sin embargo, como se mencionó previamente, se considera que la densidad de estratificación

tiene un menor importancia en los dos cuerpos de agua en estudio. Sin embargo, podría haber aplicación del modelo en este sentido.

El modelo advección-difusión utilizado aquí es aplicable a materiales conservativos o de decaimiento lineal. Sin embargo, hay muchos procesos bioquímicos que afectan la calidad del agua en las zonas costeras y los cuerpos de agua lagunas. A lo largo de estos procesos, la fotosíntesis del fitoplancton es una de las más importantes, y la descomposición de la materia orgánica por las bacterias juega un papel importante en la determinación de la calidad del agua. Estos procesos son particularmente importantes en los cuerpos de agua eutroficados como lagos y bahías semi-cerradas rodeadas por zonas industriales o muy pobladas. Ha habido muchos intentos de incorporar estos procesos en simulaciones de calidad del agua y algunos centros de investigación como el DELFT Hydraulics (Holanda) han desarrollado sistemas de modelación de alta calidad pero estos sistemas de modelación son caros y requieren de experiencia para su manejo. Es importante reconocer que los procesos bioquímicos, que son importantes en la determinación de la calidad del agua bajo las condiciones que se mencionaron anteriormente, no están incorporados en el modelo de advección – difusión utilizado aquí, así que el modelo solo puede ser utilizado para cálculos someros de calidad del agua. Sin embargo, puede ser utilizado para evaluar parcialmente la distribución de la calidad del agua bajo diferentes condiciones tales como cambios en la carga de contaminantes.

5.2.4 Modelación Hidrodinámica

Con el fin de establecer un modelo hidrodinámico apropiado para los cuerpos de agua importantes, es necesario procesar los datos de los estudios de corrientes para obtener la periodicidad de los cuerpos de agua. A continuación se presenta un procedimiento paso a paso para obtener la periodicidad y para la interpretación y uso de los resultados para establecer un modelo de simulación:

PASO 1 Calcular la autocorrelación y el espectro de fuerza

PASO 2 Observar cuando existen o no periodicidades particulares (picos espectrales)

- 1) Si existe un pico espectral dentro de un período de 12 horas, una periodicidad de 12 horas domina en la zona.
- 2) Si existe un pico espectral dentro de un período de 24 horas, una periodicidad de 24 horas domina la zona costera.
- 3) Si no hay pico espectral en ningún período, entonces la zona costera no tiene una periodicidad en particular y tiene un campo de corrientes irregular.

PASO 3 Realizar la simulación de corrientes y calcular el coeficiente de difusión.

- 1) En el caso 1 del PASO 2, simule la corriente en un período de 12 horas utilizando un modelo de simulación y calcule los coeficientes de difusión utilizando los datos de la corriente, los cuales se obtienen de los datos originales menos el promedio de la corriente durante 13 horas.
- 2) En el caso 2 del PASO 2, simule la corriente en un período de 24 horas utilizando un modelo de simulación y calcule el coeficiente de difusión utilizando los datos de corriente, los cuales se obtienen de los datos originales menos el promedio de la corriente durante 25 horas.
- 3) En el caso 3 del PASO 2, simule la corriente media durante todo el período de observación utilizando un modelo de simulación y calcule el coeficiente de difusión utilizando los datos de corriente, los cuales se obtienen de los datos originales menos el promedio de la corriente.

PASO 4 Ejecute una simulación de calidad del agua utilizando la corriente simulada y el coeficiente de difusión calculado, los cuales se obtienen con los pasos arriba mencionados.

La Figura 5.4 muestra algunos ejemplos de variaciones en el tiempo de los vectores de velocidad de corriente, los cuales han sido obtenidos de la Laguna de Pueblo Viejo y la zona costera.

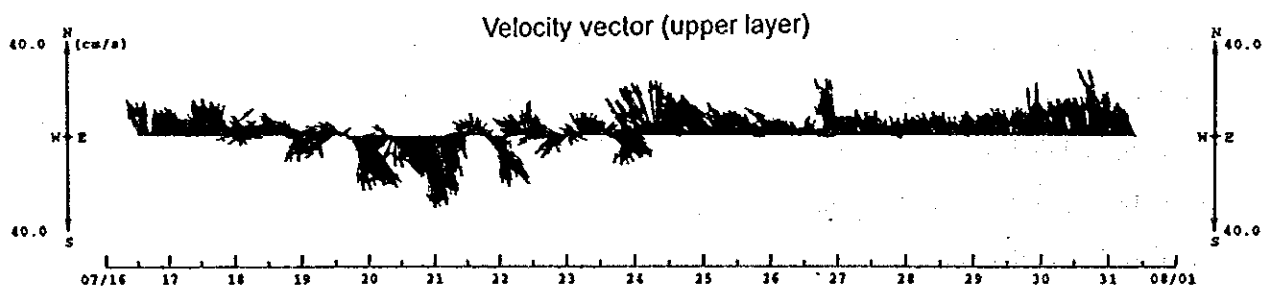


Figura 5.4(1) Variación en el Tiempo del Vector de la Velocidad de Corriente Obtenido en la Zona Costera

Nota : El tiempo de observación es del 16 de julio al 1o de agosto de 1999 y la localización es a 10 km del puerto de Altamira y 3 km mar adentro, a una profundidad de 15 m.

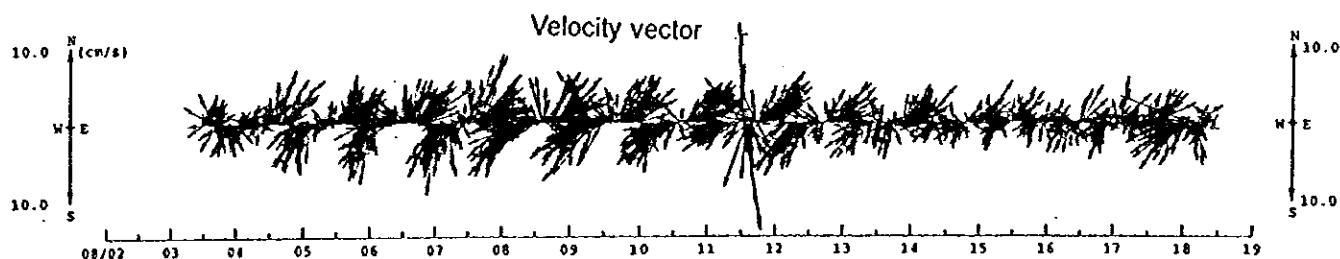


Figure 5.4(2) Variación en el Tiempo del vector de la Velocidad de la Corriente obtenida en la Laguna de Pueblo Viejo

Nota: El período de observación va del 3 al 18 de agosto de 1999 y la localización es a 5 km al sur-suroeste del punto de salida de la Laguna de Pueblo Viejo al río Pánuco a una profundidad de 2 m.

La Figura 5.4(1) muestra que la variabilidad de la dirección de la corriente es mayor durante el período del 19 al 23 de julio, la cual indica el período de variación de la corriente de medio día a un día. En contraste, durante el período después de julio 24, la variabilidad de la dirección de la corriente es menor y la corriente fluye casi constantemente en dirección norte – noroeste. Sin embargo, incluso en este período se puede observar la variación de la velocidad de la corriente. En la variación de la corriente de Pueblo Viejo (Figura 5.1(2)), se observa una variación regular de la dirección de la corriente, lo cual indica la influencia dominante de la marea diurna en la corriente, aunque la velocidad absoluta de la Laguna de Pueblo Viejo es considerablemente menor que la de la zona costera.

La Figura 5.5 muestra el espectro de fuerza de los componentes de la velocidad de corriente obtenido en la zona costera y la Laguna de Pueblo Viejo. El espectro de fuerzas de los componentes de la corriente en la zona costera no tiene picos espectrales notorios en ningún período, indicando una disminución paulatina de la fuerza al disminuir el período, de manera que se puede ver que la zona costera no tiene periodicidad particular y tiene un campo de corriente irregular. Por el contrario, el espectro de fuerzas de los componentes de la corriente en la laguna muestra un pico en el período de 24 horas lo cual indica el dominio de la variación en la corriente, que es inducido por la marea diurna.

Basado en el análisis anterior, en el modelo hidrodinámico del agua costera se reproduce la corriente media durante todo el período de observación. Entonces los coeficientes de difusión obtenidos utilizando los datos de corriente (datos originales menos corrientes medias) se aplicarán a la simulación de calidad del agua de la zona costera. Por otro lado, la variación en el tiempo de la velocidad de corriente en el período de 24 horas se reproducirá en el modelo hidrodinámico de la Laguna de Pueblo Viejo. Los coeficientes de difusión en la laguna se

obtienen de los datos de corriente, los cuales son los datos originales menos el promedio de la corriente durante 25 horas.

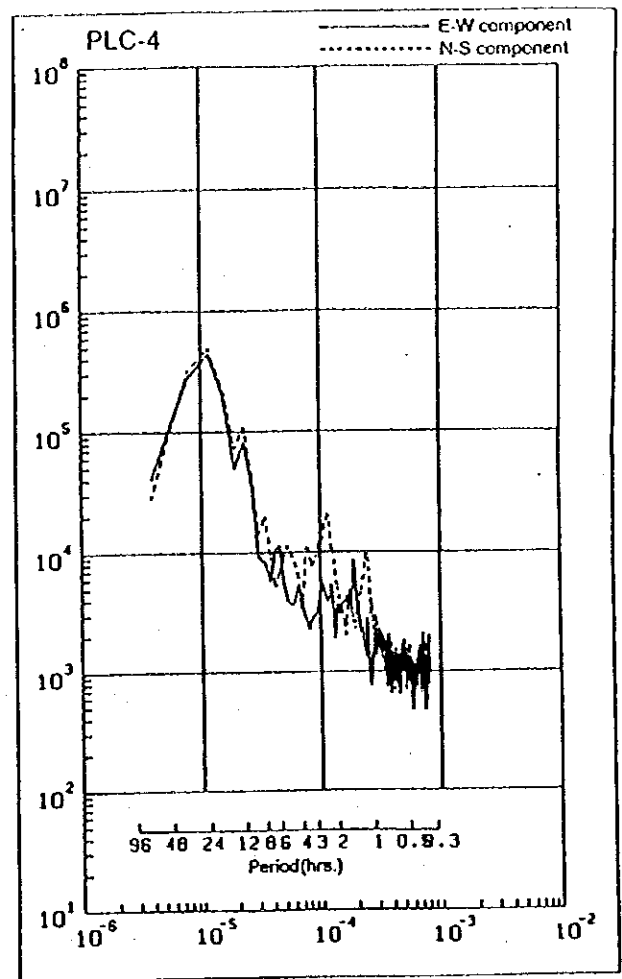
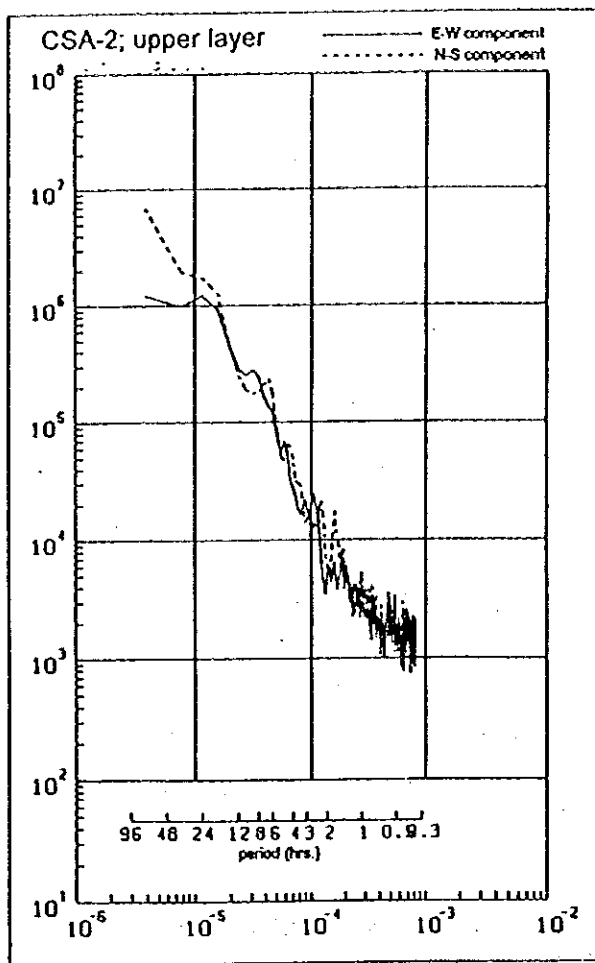
5.2.5 Establecimiento de las condiciones de la simulación.

Con el fin de llevar a cabo la simulación numérica, se tienen que establecer condiciones como la corriente dominante, sistema de cuadrícula, profundidad del agua en cada cuadro, condiciones de los límites, parámetros requeridos en la simulación, influentes y cargas de contaminantes de los ríos hacia el mar y coeficientes de difusión.

(1) Laguna de Pueblo Viejo

a) Área del Modelo y Tamaño de la Cuadrícula

La Laguna de Pueblo Viejo es un cuerpo de agua cerrado, por este motivo, toda el área de la laguna ha sido incluida en la simulación. El límite abierto se localiza en el punto de conexión entre la salida de la laguna y el río Pánuco. El tamaño de la cuadrícula utilizado es de 300 m. El eje horizontal (dirección este – oeste) del área computada es 12 km, por lo tanto el eje horizontal se divide en 40 mallas. El eje vertical (dirección norte – sur) del área computada es aproximadamente 15 km, por lo tanto el eje vertical se divide en más de 50 mallas. El tamaño de 300 m se considera adecuado para capturar todas las características de la línea costera y la batimetría de la laguna de Pueblo Viejo.



a. La zona costera

b. Laguna de Pueblo Viejo

Figura 5.5 -Espectro de Fuerza de los Componentes de Velocidad de Corriente

b) Condición de los Límites

Las condiciones de los límites del modelo hidrodinámico son las fuerzas que gobiernan el movimiento del agua descrito en el modelo. El modelo requiere de tres condiciones diferentes de límites; nivel del agua en el límite abierto, descargas de la tierra que le rodea y dirección y velocidad del viento en la superficie del cuerpo de agua.

El límite abierto en la Laguna de Pueblo Viejo se localiza en la conexión entre el río Pánuco y la laguna. El punto está influenciado por la marea del mar, es por eso que la corriente del agua en la Laguna de Pueblo Viejo presenta un patrón de corrientes de inundación. La Tabla 5.10 muestra las constantes armónicas de las mareas en la costa de Tampico, las cuales se enlistan en la tabla publicada por la Secretaría de

Marina. Esta tabla muestra que los constituyentes K_1 y O_1 de la marea diurna, dominan más que los constituyentes M_2 y S_2 de la marea semidiurna. Esta situación corresponde perfectamente al predominio de la variación de la corriente en el período de 24 horas en la Laguna de Pueblo Viejo. De los datos arriba mencionados se ha establecido la elevación del nivel del agua en el límite abierto del área computacional. En el modelo se especifica solamente la fuerza de la marea diurna, la cual tiene una amplitud de $0.26m (K_1+O_1)$.

Table 5.10 Constantes Armónicas de la Marea en el Puerto de Tampico

Constituyente	Metros de Amplitud	Grado de la Fase
M_2	0.073	74.27
S_2	0.023	75.85
N_2	0.018	63.31
K_1	0.131	291.93
O_1	0.130	294.25
P_1	0.041	296.05

Fuente: Secretaría de Marina

c) Descargas de Aguas Dulces y Cargas de Contaminantes

Las descargas de aguas dulces y cargas de contaminantes de la laguna provienen de fuentes no puntuales, como se describe en la sección 5.1. En la tabla 5.11 se muestra un resumen.

Tabla 5.11 Descargas de Aguas Dulces y Carga de Contaminantes en la Laguna de Pueblo Viejo

No.	Nombre	Época de estiaje			Época de lluvias		
		Descarga 1000m ³ /día	DQO Kg/día	N-Tot Kg/día	Descarga 1000m ³ /día	DQO Kg/día	N-Tot Kg/día
1	Sur	389.0	296.0	54.6	2,333.0	1639.0	303.0
2	Oeste	Despreciable	62.2	12.0	Despreciable	345.0	66.0
3	Este	Despreciable	23.8	4.5	Despreciable	132.0	24.8
4	Norte	Despreciable	18.0	3.2	Despreciable	98.0	18.0
Total		389.0	400.0	74.3	2,333.0	2214.0	411.8

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

d) Condición del Viento

La condición del viento afecta fuertemente las corrientes de agua en las lagunas, particularmente las lagunas someras como la de Pueblo Viejo. Se ha establecido como condición del viento el vector medio de velocidad y dirección del viento observado durante el estudio.

e) Coeficiente de Difusión

Para la simulación de la calidad del agua es importante diferenciar los conceptos de advección y difusión. Advección representa el transporte de material disuelto en

fluidos móviles, dicho movimiento está definido como corrientes reflujo o estables. Por otro lado, la difusión se refiere a los efectos de mezclado de materiales inducidos por la turbulencia, lo cual comprende los componentes de la corriente con variabilidad irregular en períodos menores que en la advección.

El equipo de estudio a modelado una simulación de calidad del agua para la Laguna de Pueblo Viejo con las corrientes características que constan de componentes variables en períodos de 24 horas y una corriente promedio. Por lo tanto, los coeficientes de difusión en la laguna se obtuvieron de los datos de corriente; aquellos como el estudio de variación de la corriente promedio de 25 horas han sido eliminados de los datos originales. La Tabla 5.12 muestra el rango de los coeficientes de difusión en la Laguna de Pueblo Viejo. Basados en estos datos de coeficiente de difusión, el equipo de estudio estableció el coeficiente de difusión para el modelo como $D_x=D_y=5 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Table 5.12 Rango del Coeficiente de Difusión en la Laguna de Pueblo Viejo

Componente este-oeste	Componente norte-sur
2.05-9.55 $\times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$	2.17-7.37 $\times 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

f) Concentraciones Iniciales y Límites

La concentración inicial y en los límites para el modelo se establecieron con base al monitoreo piloto de calidad del agua como se muestra en la Tabla 5.13.

Table 5.13 Concentraciones Iniciales Límites para la Laguna de Pueblo Viejo

	Concentración Inicial		Concentración Limite	
	Epoca de Estiaje	Epoca de Lluvias	Epoca de Estiaje	Epoca de Lluvias
DQO mg/L	2.0	3.0	3.0	4.0
N-Tot -mg/L	0.4	0.5	0.6	0.7

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

(2) Agua Costera

La idea básica para establecer las condiciones computacionales son similares que las utilizadas en la laguna.

a) Area del Modelo y Tamaño de la Cuadrícula

El área para la simulación se toma paralelamente a la zona costera. El área tiene una longitud de 40 km de largo sobre la costa desde la boca del río Pánuco en el sur, hasta el puerto industrial de Altamira en el norte. La amplitud del área es de 20 km desde la costa, esta área tiene una profundidad menor de 30 m. Se utilizó una

cuadrícula de 500 m. Debido a que la línea de la costa y la batimetría son relativamente sencillas, se consideró que el tamaño de malla de 500 m era capaz de representar la topografía de la zona. El eje horizontal (perpendicular a la costa) del área computada es de 20 km, así que el eje se dividió en 40 mallas. El eje vertical (paralelo a la costa) del área computada es de aproximadamente 40 km, así que se dividió en 80 mallas.

b) Condiciones de los Límites

En el caso de la Laguna de Pueblo Viejo, las condiciones de los límites están dados forzando la elevación de la superficie del agua en el punto de salida para reproducir la marea dominante observada durante el estudio de corriente. Por otro lado, la variación de tiempo y el espectro de fuerzas de la velocidad de corriente en la zona costera muestran que el agua marina no tiene periodicidad particular y puede ser vista como un campo de corrientes irregulares. Por lo tanto, la corriente promedio durante el período de observación ha sido reproducida en el modelo hidrodinámico de agua costera. Las condiciones de los límites se dieron forzando el volumen de transporte de agua en todos los límites abiertos para reproducir los patrones de corriente en un estado estable.

c) Descargas de Agua Dulce y Cargas de Contaminantes

Las descargas de agua dulce y las cargas de contaminantes en la zona costera se resumen en la Tabla 5.14

Tabla 5.14 Descargas de Aguas y Carga de Contaminantes en Zonas Costeras

No.	Nombre	Época de estiaje			Época de lluvia		
		Descarga 1000m ³ /día	DQO Kg/día	N-Tot Kg/día	Descarga 1000m ³ /día	DQO Kg/día	N-Tot Kg/día
1	Río Pánuco	17,300.0	398,000.0	21,200.0	70,300.00	1,750,000.0	27,400.0
2	Dupont	5.72	0.0	0.0	5.72	0.0	0.0
3	Negromex	3.33	1359.0	59.0	3.33	1359.0	59.0
4	Novaquim	0.35	199.0	20.2	0.35	199.0	20.2
5	Petrocel	8.27	681.0	4.5	8.27	681.0	4.5
6	Puerto de Alalamira	Despreciable	575.0	17.1	Despreciable	863.0	66.0
	Total	17,318.0	400,814.0	21,301.0	70,318.00	1,753,102.0	27,550.0

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

d) Condición del Viento

Se considera que la condición del viento afecta fuertemente las lagunas someras, así que la condición del viento se ha incluido en la simulación de la Laguna de Pueblo Viejo. Sin embargo, en las aguas costeras se considera que el viento no tiene un efecto significativo en la variación de la velocidad de la corriente y en la formación del patrón de la corriente promedio, los cuales son más afectados por las condiciones

de mar abierto. Por esta razón, en la simulación de la zona costera no se incluyó la condición del viento.

e) Coeficiente de Difusión

Se estableció el coeficiente de difusión para la zona costera con base en el mismo concepto descrito para la Laguna de Pueblo Viejo. Se considera que la zona costera es un campo de corrientes irregulares, de manera que sus corrientes están representadas solo por la corriente promedio. Debido a que los coeficientes de difusión en la zona costera se obtuvieron de los datos de corriente, solo las corrientes promedio se eliminaron de los datos originales. La Tabla 5.15 muestra el rango de los coeficientes de difusión en las zonas costeras. Con base en estos valores de coeficientes de difusión, el equipo de estudio estableció el coeficiente de difusión del modelo como $D_x=D_y=3 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Table 5.15 Rango de los Coeficientes de Difusión en la Zona Costera

Capa	Componente este-oeste	Componente norte-sur
Superficie-3.5m	$1.83-9.94 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$	$3.97-6.01 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$
Superficie-11.0m	$1.39-3.77 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$	$2.96-6.36 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

f) Concentraciones Iniciales y Límites

La concentración inicial y límite se estableció con base en los datos obtenidos en el monitoreo piloto de calidad del agua como se muestra en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Concentraciones Iniciales y Límites para la Zona Costera

	Concentración Inicial		Concentración Límite	
	Época de estiaje	Época de lluvia	Época de estiaje	Época de Lluvia
DQO mg/L	1.0	1.5	1.0	1.5
N-Tot mg/L	0.15	0.20	0.15	0.20

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

5.2.6 Resultados de la Simulación

(1) Laguna de Pueblo Viejo

a) Corriente de Agua

La simulación de la corriente del agua en la Laguna de Pueblo Viejo se llevó a cabo para reproducir la variación de la marea diurna observada durante el estudio (ver Figura 5.4(2)). La elevación de la superficie en el límite abierto está forzada por la

función coseno en un período de 24 horas y un rango de marea de 0.52 m.

La figura 5.6 muestra las series de tiempo de la simulación de la elevación de la superficie en época de lluvia.

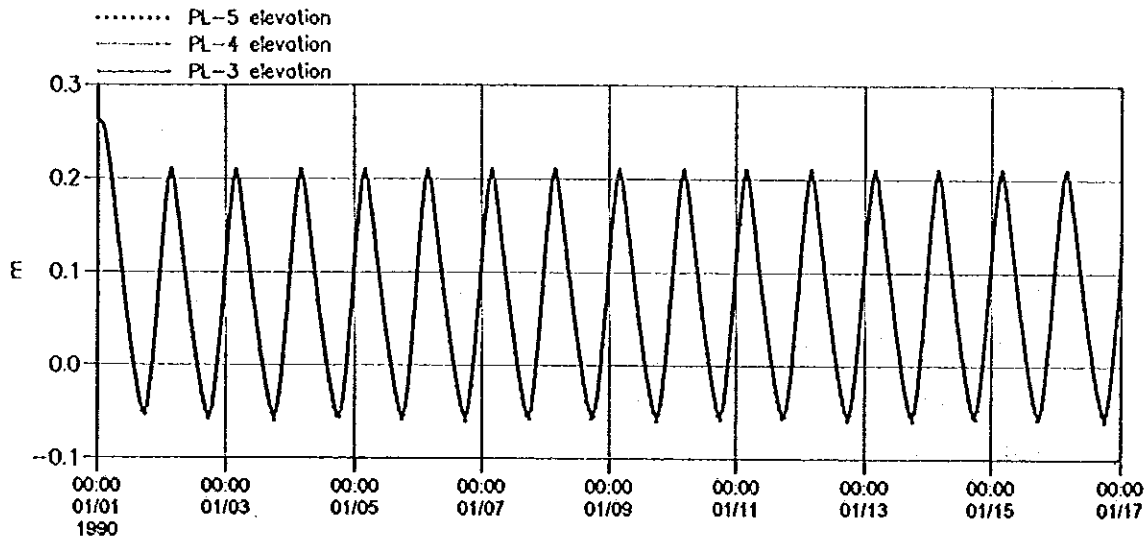


Figura 5.6 Series de Tiempo Simuladas de la Elevación de la Superficie del Agua en la Laguna de Pueblo Viejo en la Época de Lluvia. La Localización de los Tres Puntos, PL-3, PL-4 y PL-5, se muestra en la Figura 4.1(2).

Aunque el eje horizontal va de las 00:00 del día 1 a las 00:00 del 16 de Enero de 1990, no existe importancia en estos datos. Esto simplemente significa que el tiempo de la simulación es de 15 días. Las series de tiempo en los tres puntos, la localización de los cuales se muestra en la Figura 4.1(2), son casi idénticas. El intervalo de variación de la marea es casi el mismo valor de 0.26 a 0.27m después del segundo ciclo de marea, indicando para la simulación, realizar las condiciones periódicas estacionarias.

La figura 5.7 muestra los campos de simulación de corriente para la marea ebb, marea de inundación y marea promedio en 24 horas en la época de lluvia. Los patrones de corriente para la marea baja y marea de inundación son relativamente sencillos y las velocidades de corriente son relativamente fuertes sólo cerca del límite abierto. Por otro lado, el patrón de corriente promedio en 24 horas muestra una circulación muy compleja. Ya que la dirección del viento establecida es cercana al E-SE, las aguas menos profundas a lo largo de la costa fluyen en la dirección N-NO. Se debe tomar precaución de que las velocidades en la corriente promedio permanezcan más débiles comparadas con las de las mareas baja y de inundación, excepto cerca del límite abierto.

La figura 5.8 compara la elipse de corriente simulada y la observada. La corriente de la marea se caracteriza por un movimiento de agua periódico, de manera que el extremo del vector dibuja una elipse de corriente. En la Figura 5.8 se puede observar que la dirección y longitud (velocidad y amplitud) de los ejes largos de las elipses de la corriente son casi idénticos entre los de la simulación y los observados. Esto significa que la simulación de la corriente ha sido capaz de reproducir las corrientes reales en la Laguna de Pueblo Viejo.

Por lo tanto, no se muestran los resultados de la época de estiaje ya que son casi los mismos que en la época de lluvia. La única diferencia en las condiciones computacionales entre la época de lluvia y la de estiaje es la diferencia de las descargas de agua en ambas estaciones.

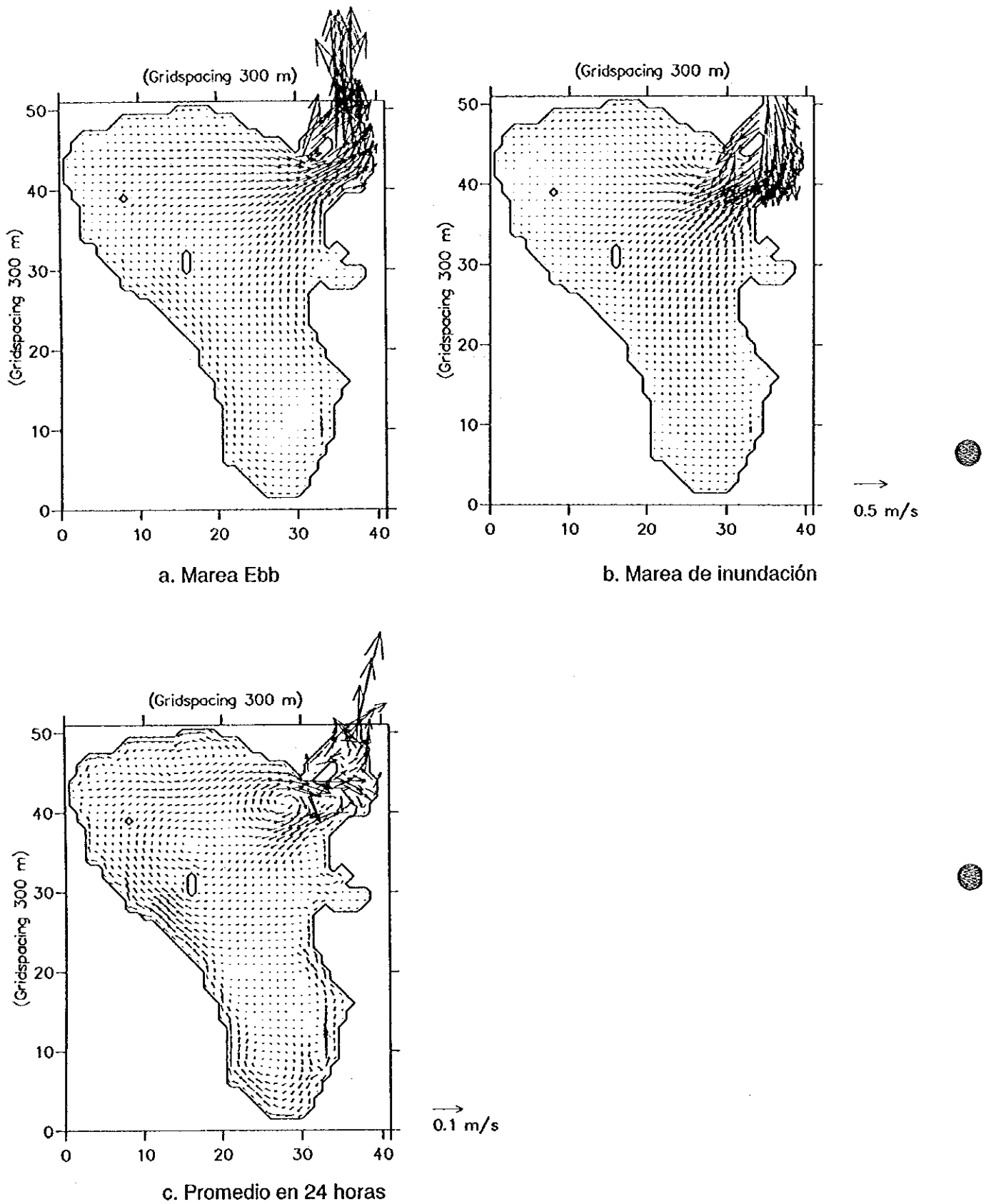


Figura 5.7 Campos de Corriente Simulados en la Laguna de Pueblo Viejo de la Marea Ebb, Marea de Inundación y la Promedio en 24 Horas durante la Época de Lluvias

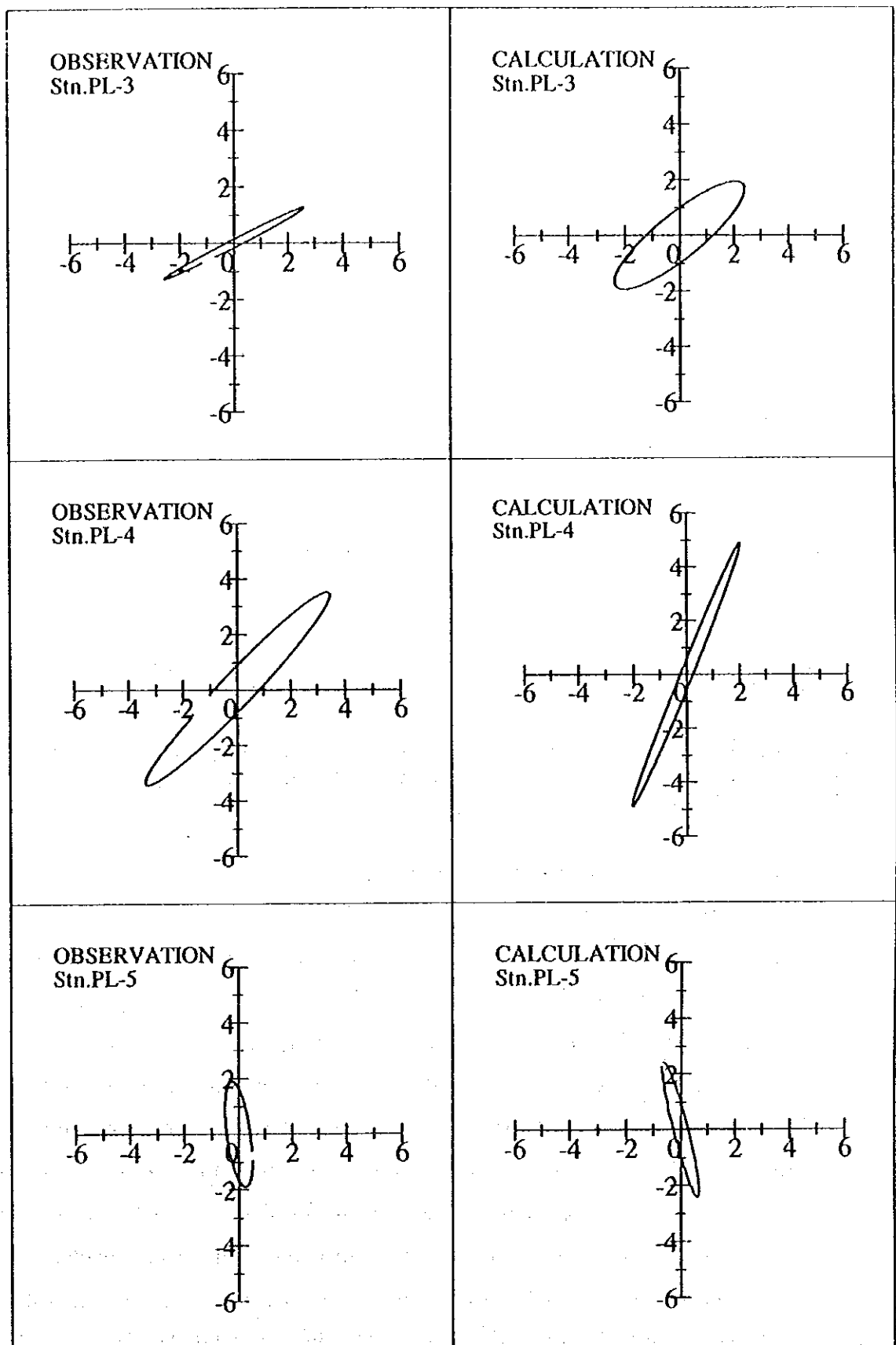


Figura 5.8 Comparación de la Elipse de Corriente Simulada y la Observada. Unid:cm/s

b) Calidad del Agua

La simulación de la calidad del agua se llevó a cabo para la DQO y el nitrógeno total en época de lluvia y de estiaje. Los patrones de la distribución de la calidad del agua son muy parecidos para ambas estaciones, así que aquí sólo se muestran los resultados de la época de lluvia.

La Figura 5.9 muestra las series de tiempo simuladas de DQO en época de lluvia. Los datos en el eje horizontal no tienen ningún significado en particular.

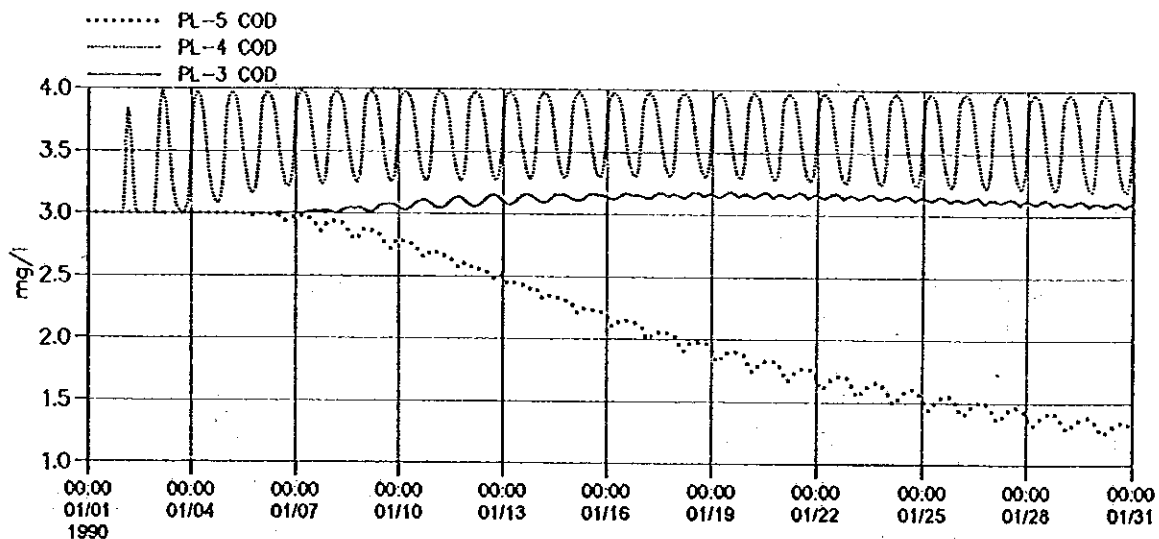


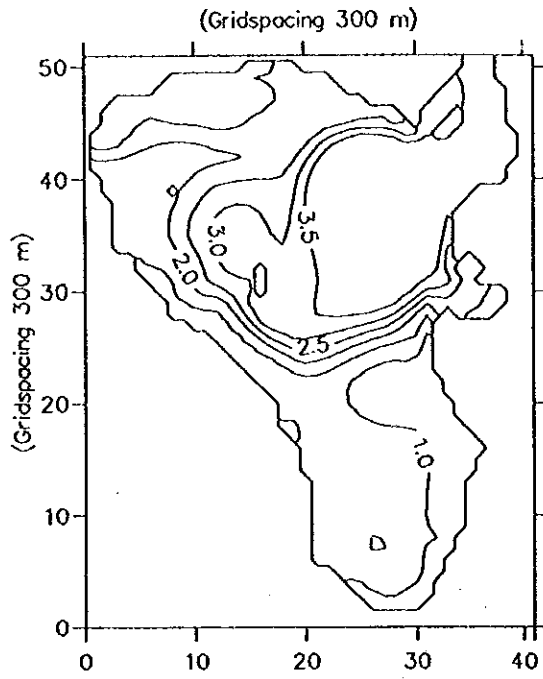
Figura 5.9 Series de Tiempo Simuladas de la Concentración de DQO en la Laguna de Pueblo Viejo durante la Época de lluvias. La localización de los sitios PL-3, PL-4 y PL-5, se muestran en la figura 4.1(2).

La concentración de DQO en el punto PL-4, el cual es el punto más cercano al límite abierto entre los tres puntos, muestra una variación diaria en un intervalo de 3.25 a 4.0 mg/L causado por la marea después del séptimo ciclo de mareas, aproximadamente. Esto indica que la simulación reproduce muy de cerca las condiciones estacionarias periódicas alrededor de esta área. La variación diaria de la concentración de DQO en los otros dos puntos es menor que en el punto PL-4. La concentración en el punto PL-3 casi alcanza una situación estacionaria después del 15vo. día. Sin embargo, la concentración en el punto PL-5 localizado hacia la cabeza de la laguna decrece paulatinamente, aunque tiende gradualmente a alcanzar una situación estacionaria periódica. Esta disminución gradual monótono de la concentración en el punto PL-5 es causada por la descarga del río Llave, el cual fluye en la parte sureste de la laguna. La concentración de DQO de la descarga es de 0.7 mg/L y el volumen del agua descargada es $27 \text{ m}^3/\text{s}$ en la época de lluvia. La

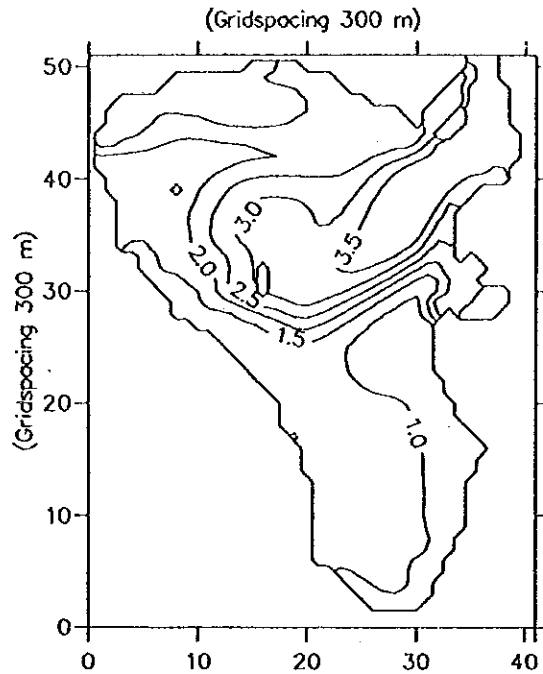
concentración de DQO es considerablemente menor que la concentración inicial de 3.0 mg/L establecida en la simulación, así que la concentración en el punto PL-5 disminuye gradualmente debido al efecto de dilución por la descarga.

La Figura 5.10 muestra la simulación de la distribución de DQO durante la marea baja, marea alta y marea promedio de 24 horas en la época de lluvia. La concentración de DQO es mayor cerca del punto del límite abierto, similar a la concentración de 4.0 mg/L establecida en la simulación, y la concentración de DQO es menor en la cabeza de la laguna debido al efecto de dilución causado por la baja concentración de DQO del río Llave. En la marea alta, un área con concentración mayor de 3.5 mg/L se extiende en la porción noreste de la laguna debido al flujo de aguas del río Pánuco, el cual tiene una concentración alta de DQO. Por otro lado, durante la marea baja un área con una concentración de DQO mayor de 3.5 mg/L disminuye considerablemente en comparación con la situación durante la marea alta. La concentración para la corriente promedio en 24 horas es intermedia.

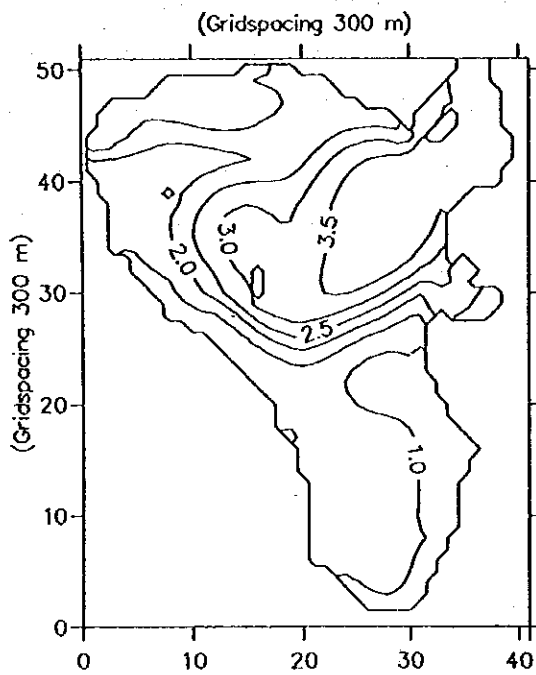
La figura 5.11 muestra la distribución simulada de la concentración de N-Tot. en la época de lluvia. La concentración es mayor cerca del límite abierto, lo cual refleja la concentración de 0.7 mg/L establecida en la simulación y la concentración es menor hacia la cabeza de la laguna debido al efecto de dilución causado por la baja concentración de la descarga del río Llave de 0.13 mg/L. Durante la marea alta, un área con concentración alta de N-Tot mayor a 0.65 mg/L se extiende alrededor de la porción noreste de la laguna debido a la entrada de las aguas del río Pánuco, las cuales tienen una alta concentración de N-Tot.



a. Marea alta



b. Marea baja



c. Promedio en 24 horas

Unid:mg/L

Figura 5.10 Simulación de la Concentración de DQO en la Laguna de Pueblo Viejo durante la Marea Alta, Marea Baja y la Promedio de 24 Horas en la Época de Lluvias

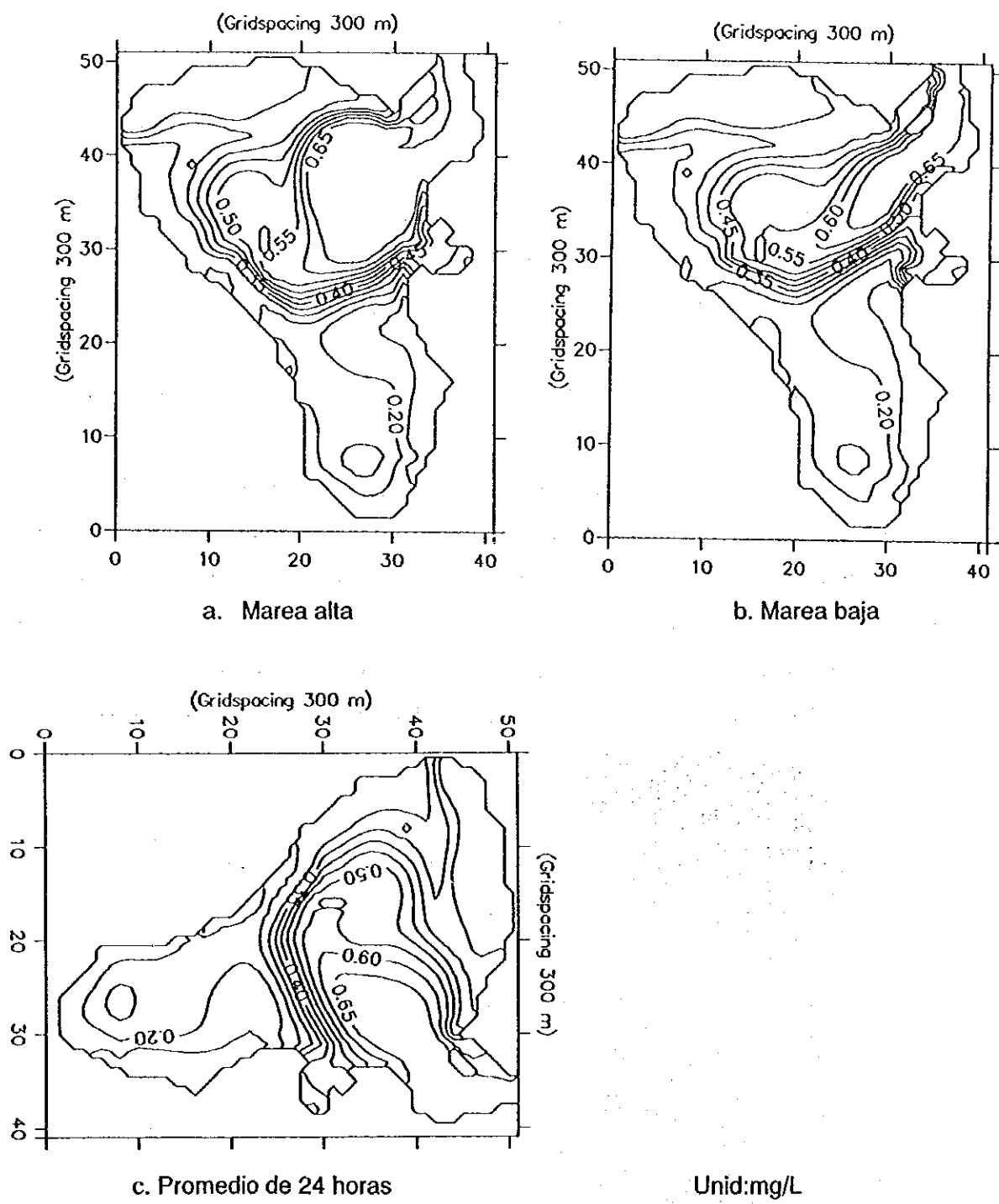


Figura 5.11 Simulación de la Distribución de Concentración de N-Tot en la Laguna de Pueblo Viejo durante la Marea Alta, Marea Baja y el Promedio de 24 Horas en la Época de Lluvías

(2) Agua Costera

a) Corriente del Agua

La simulación de la corriente del agua se llevó a cabo para reproducir la corriente promedio de 15 días, ya que la corriente en la zona costera se considera que es irregular y no tiene periodicidad particular. Las condiciones de los límites se dieron forzando el volumen de transporte de agua en todos los límites abiertos para reproducir el patrón de la corriente promedio en un estado estable. La Figura 5.12 compara la corriente simulada y el vector de la corriente promedio observado en la época de lluvia. El vector de la corriente promedio observado en la parte norte está dirigida en dos puntos al norte, y de forma inversa, el vector de la corriente en lado sur está dirigido en un punto hacia el sur. Por lo tanto, se ha establecido como condición del límite abierto que las condiciones del influente están dadas por las condiciones del límite este y las condiciones de efluente son las dadas en los límites norte y sur. En el límite norte, las condiciones del efluente significan que se han dado los volúmenes de transporte, y en el límite sur, el volumen de transporte está siendo establecido hacia el sur. En la Figura 5.12 se puede observar que el campo de corriente simulado reproduce muy de cerca el patrón de corriente observado.

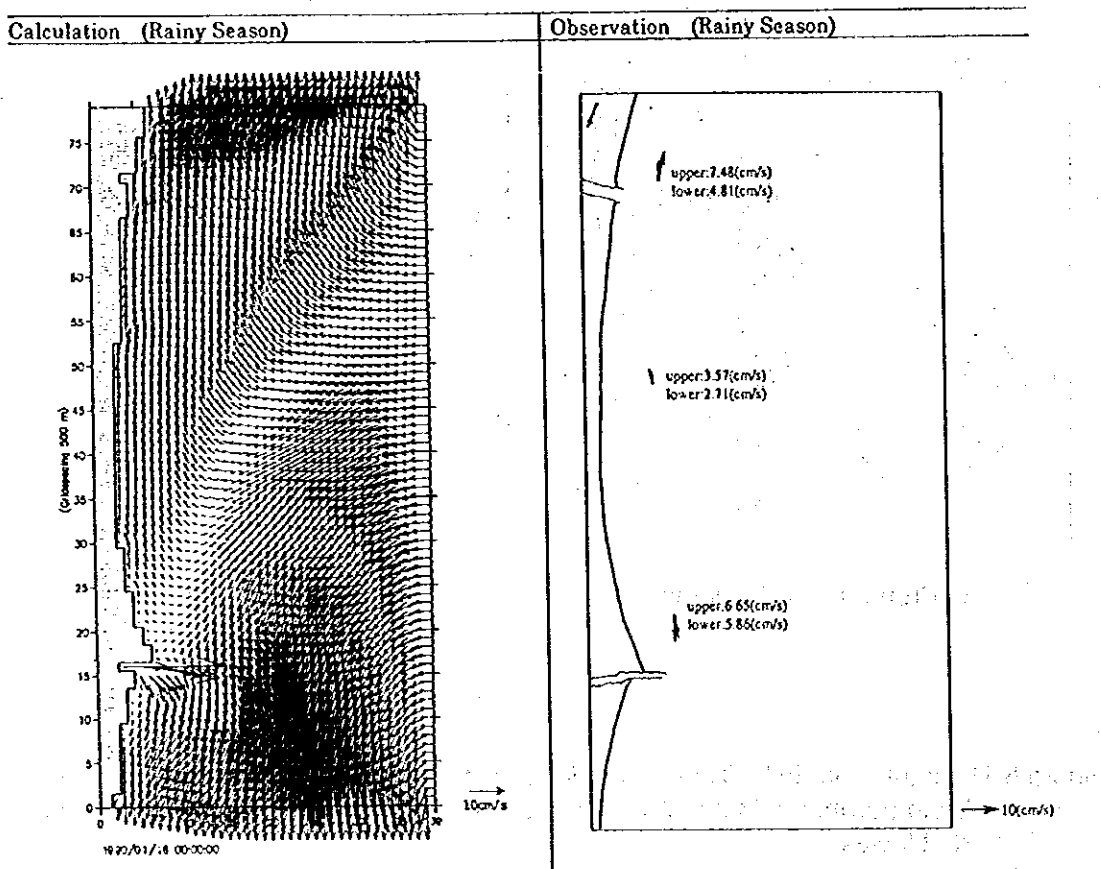


Figura 5.12 Comparación de los Campos de Corriente Simulados y los Vectores Promedio de Corriente Observados en la Zona Costera en Época de Lluvias

b) Calidad del Agua

La figura 5.13 muestra la distribución simulada de la DQO en la época de lluvia. En este caso no hay diferencia entre la marea alta y la marea baja ya que sólo se representa la corriente como término de advección en la simulación de la calidad del agua costera. En la Figura 5.13a se puede observar que el agua del río Pánuco tiene una alta concentración de DQO, se distribuye principalmente por el sur debido al efecto de advección de la corriente promedio que se mueve hacia el sur alrededor de la boca del río Pánuco. la influencia de otros contaminantes aparte de las descargas del río Pánuco no se pueden observar en la Figura 5.13 a. ya que las tres toneladas por día que se reciben en total de estas fuentes se considera despreciable comparada con las 1,750 toneladas por día de DQO descargadas por el río Pánuco.

La Figura 5.13 b. muestra la distribución simulada de N-Tot en la época de lluvia. La distribución de la concentración muestra que grandes concentraciones provenientes del río Pánuco se distribuyen principalmente al sur debido al efecto de advección de la corriente promedio que se mueve hacia el sur alrededor de la boca del río Pánuco. Este resultado es similar al de la DQO.

En el reporte de datos se encuentran otras simulaciones que no se muestran aquí, tales como DQO y N-Tot en época de estiaje; estas se encuentran en el Libro de Datos.

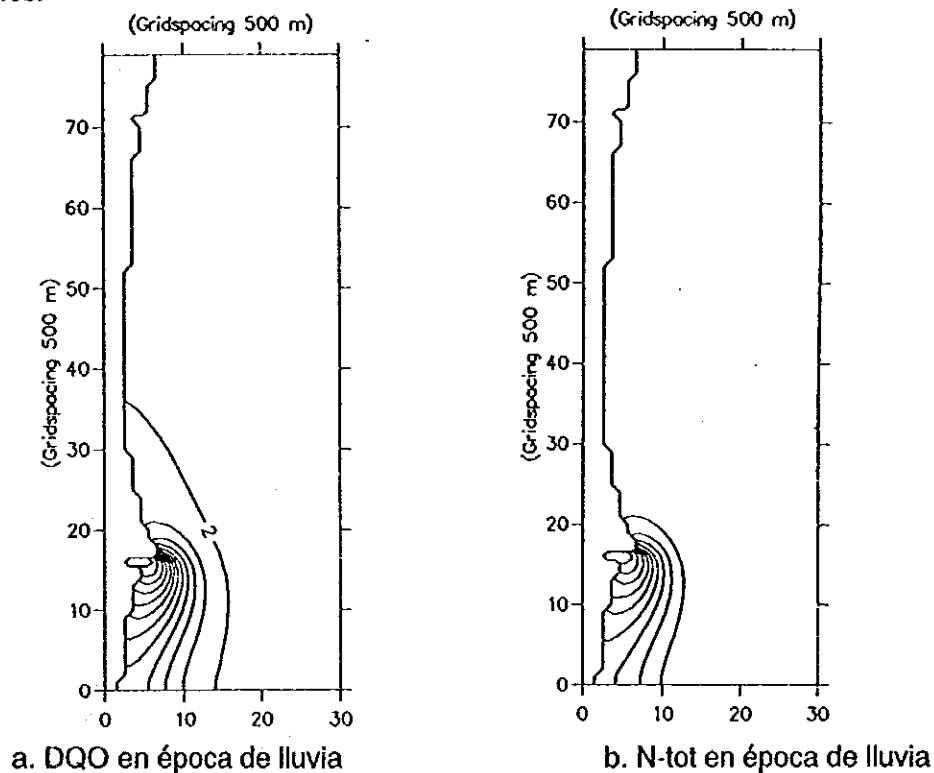


Figura 5.13 Simulación de la distribución de las Concentraciones en las Zonas Costeras en a, la máxima línea de contorno es 24mg/L, la mínima 2mg/L, y el intervalo 2mg/L, en b, la máxima línea de contorno es 0.38mg/L, la mínima 0.22mg/L, y el intervalo 0.02mg/L.

