

03065 /
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

**UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL
Y DE POSGRADO**

**"CONCENTRACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO
DEL FÓSFORO EN LOS SEDIMENTOS DE DOS LAGUNAS COSTERAS
DEL NOROESTE DE MÉXICO"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(OCEANOGRAFÍA QUÍMICA)**

P R E S E N T A

LIBIA HASCIBE PÉREZ BERNAL

ASESOR: DR. FEDERICO PÁEZ OSUNA

MAZATLÁN, SIN.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

27 A 253

1999



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Este trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna, en el laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, U.N.A.M.; con el apoyo institucional a través del Proyecto U.N.A.M. "Geoquímica de los sedimentos del Golfo de California y áreas adyacentes".

Agradecimientos

Al Dr. Federico Páez Osuna, por su valioso apoyo y la asesoría brindada durante la realización de este trabajo.

Al Jurado de Examen de grado, por la revisión y críticas al trabajo escrito:

Dra. María Green Ruiz

Dr. Federico Páez Osuna

M. en C. Yovani Montaña Ley

Dra. María T. Leticia Rosales Hoz

Dr. Arturo Carranza Edwards

Al Quím. Humberto Bojórquez Leyva, por la ayuda desinteresada durante el desarrollo del trabajo en el laboratorio.

Al Mát. Germán Ramírez Reséndiz, por el asesoramiento brindado en la elaboración de los mapas presentados.

A la Sra. María Clara Ramírez Jáuregui, responsable de la Biblioteca "Dra. Ma. Elena Caso" del I.C.M. y L., por el apoyo brindado en la recopilación bibliográfica.

Al M. en C. Martín Federico Soto Jiménez y M. en C. José Salgado Barragán, por su participación en la colecta de las muestras.

A todos los compañeros del Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Marina por los agradables momentos compartidos.

I N D I C E

	Pág.
1. Introducción -----	1
2. Antecedentes -----	4
2.1 Fósforo en sedimentos lacustres -----	4
2.2 Fósforo en sedimentos de mares marginales -----	5
2.3 Fósforo en sedimentos estuarinos y lagunares -----	6
3. Objetivos -----	9
4. Área de estudio -----	11
4.1 Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón -----	11
4.2 Estero de Urías -----	13
5. Metodología -----	16
5.1 Muestreo -----	16
5.2 Análisis granulométrico -----	19
5.3 Análisis de humedad y carbonatos -----	20
5.4 Análisis de materia orgánica -----	21
5.4.1 Carbono orgánico por titulación -----	21
5.4.2 Pérdidas por ignición -----	22
5.5 Análisis de fósforo -----	22
5.6 Determinación del fósforo en las fracciones geoquímicas -----	22
5.7 Procesamiento de los datos -----	24
6. Resultados y discusión -----	26
6.1 Granulometría -----	26
6.2 Carbono orgánico -----	31
6.3 Pérdidas por ignición -----	41
6.4 Carbonatos -----	50
6.5 Fósforo total -----	56
6.6 Inventario del fósforo -----	68

6.7	Fósforo inorgánico	69
6.8	Fósforo orgánico	83
6.9	Fósforo asociado a las fracciones geoquímicas en los sedimentos del Estero de Urías	94
6.10	Geoquímica de la columna sedimentaria	102
7.	Conclusiones	107
8.	Bibliografía	111
	Anexo I	129
	Anexo II	133
	Anexo III	136
	Anexo IV	137
	Anexo V	138
	Anexo VI	142
	Anexo VII	145

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Fig. 4.1	Sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Localización del área de estudio.	12
Fig. 4.2	Sistema lagunar Estero de Urías. Localización del área de estudio.	14
Fig. 5.1	Localización de las estaciones de muestreo de sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	17
Fig. 5.2	Localización de las estaciones de muestreo de sedimentos superficiales del Estero de Urías.	18
Fig. 6.1.1	Distribución del tamaño medio de grano en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	27
Fig. 6.1.2	Distribución del tamaño medio de grano en sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.	28
Fig. 6.2.1	Distribución de la concentración de carbono orgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	32
Fig. 6.2.2	Distribución de la concentración de carbono orgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.	33
Fig. 6.2.3	Tamaño medio de grano (ϕ) contra la concentración de carbono orgánico (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	35
Fig. 6.2.4	Contenido de arenas (%) contra la concentración de carbono orgánico (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	35
Fig. 6.2.5	Contenido de lodos (%) contra la concentración de carbono orgánico (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	36
Fig. 6.2.6	Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	36
Fig. 6.2.7	Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región lagunas interiores de Altata-Ensenada del Pabellón.	38
Fig. 6.2.8	Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región Ensenada del Pabellón de Altata-Ensenada del Pabellón.	38
Fig. 6.2.9	Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región Altata de Altata-Ensenada del Pabellón.	39
Fig. 6.2.10	Tamaño medio de grano (ϕ) contra carbono orgánico (%) en sedimentos del Estero de Urías.	39
Fig. 6.2.11	Contenido de arenas (%) contra carbono orgánico (%) en sedimentos del Estero de Urías.	40

Fig. 6.2.12	Contenido de arcillas (%) contra carbono orgánico (%) en sedimentos del Estero de Urías.	40
Fig. 6.3.1	Contenido de arenas (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	43
Fig. 6.3.2	Contenido de arcillas (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	43
Fig. 6.3.3	Tamaño medio de grano (ϕ) contra pérdidas de ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	45
Fig. 6.3.4	Tamaño medio de grano (ϕ) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos del Estero de Urías.	45
Fig. 6.3.5	Contenido de arenas (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos del Estero de Urías.	46
Fig. 6.3.6	Contenido de arcillas (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos del Estero de Urías.	46
Fig. 6.3.7	Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos del Estero de Urías.	48
Fig. 6.3.8	Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región aguas arriba del Estero de Urías.	48
Fig. 6.3.9	Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región aguas intermedias del Estero de Urías.	49
Fig. 6.3.10	Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región Estero Infiernillo del Estero de Urías.	49
Fig. 6.4.1	Distribución de la concentración de carbonatos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	51
Fig. 6.4.2	Distribución de la concentración de carbonatos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.	52
Fig. 6.4.3	Contenido de carbonato de calcio (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	54
Fig. 6.4.4	Tamaño medio de grano (ϕ) contra carbonato de calcio (%) en sedimentos del Estero de Urías.	54
Fig. 6.4.5	Contenido de arenas (%) contra carbonato de calcio (%) en sedimentos del Estero de Urías.	55
Fig. 6.4.6	Contenido de arcillas (%) contra carbonato de calcio (%) en sedimentos del Estero de Urías.	55
Fig. 6.5.1	Distribución de la concentración de fósforo total en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	57
Fig. 6.5.2	Distribución de la concentración de fósforo total en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.	58

Fig. 6.5.3	Contenido de arcillas (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	61
Fig. 6.5.4	Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	61
Fig. 6.5.5	Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	62
Fig. 6.5.6	Pérdidas por ignición (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	62
Fig. 6.5.7	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región lagunas interiores de Altata-Ensenada del Pabellón.	63
Fig. 6.5.8	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Altata de Altata-Ensenada del Pabellón.	63
Fig. 6.5.9	Contenido de arcillas (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Ensenada del Pabellón de Altata-Ensenada del Pabellón.	64
Fig. 6.5.10	Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Ensenada del Pabellón de Altata-Ensenada del Pabellón.	64
Fig. 6.5.11	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	66
Fig. 6.5.12	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región aguas arriba del Estero de Urías.	66
Fig. 6.5.13	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región de la bahía del Estero de Urías.	67
Fig. 6.5.14	Contenido de limos (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región aguas intermedias del Estero de Urías.	67
Fig. 6.7.1	Distribución de la concentración de fósforo inorgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	70
Fig. 6.7.2	Distribución de la concentración de fósforo inorgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.	71
Fig. 6.7.3	Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	74
Fig. 6.7.4	Contenido de lodos (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	74
Fig. 6.7.5	Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	75
Fig. 6.7.6	Pérdidas por ignición (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	75

Fig. 6.7.7	Contenido de fósforo total ($\mu\text{g/g}$) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	76
Fig. 6.7.8	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región lagunas interiores de Altata-Ensenada del Pabellón.	76
Fig. 6.7.9	Contenido de lodos (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Ensenada del Pabellón de Altata-Ensenada del Pabellón.	77
Fig. 6.7.10	Contenido de limos (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Río Culiacán de Altata-Ensenada del Pabellón.	77
Fig. 6.7.11	Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	79
Fig. 6.7.12	Contenido de arenas (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	79
Fig. 6.7.13	Contenido de lodos (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	80
Fig. 6.7.14	Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	80
Fig. 6.7.15	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	81
Fig. 6.7.16	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región aguas arriba del Estero de Urías.	81
Fig. 6.7.17	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región aguas intermedias del Estero de Urías.	82
Fig. 6.7.18	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región de la bahía del Estero de Urías.	82
Fig. 6.8.1	Distribución de la concentración de fósforo orgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	84
Fig. 6.8.2	Distribución de la concentración de fósforo orgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.	85
Fig. 6.8.3	Contenido de fósforo total ($\mu\text{g/g}$) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.	88
Fig. 6.8.4	Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	88
Fig. 6.8.5	Contenido de arcillas (%) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	89
Fig. 6.8.6	Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	89

Fig. 6.8.7	Contenido pérdidas por ignición (%) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	90
Fig. 6.8.8	Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región aguas arriba del Estero de Urías.	90
Fig. 6.8.9	Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región de la bahía del Estero de Urías.	91
Fig. 6.8.10	Contenido de lodos (%) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Estero Infiernillo del Estero de Urías.	91
Fig. 6.9.1	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo intercambiable ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	96
Fig. 6.9.2	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	96
Fig. 6.9.3	Contenido de arcillas (%) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	97
Fig. 6.9.4	Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	97
Fig. 6.9.5	Contenido de fósforo total ($\mu\text{g/g}$) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	99
Fig. 6.9.6	Contenido de fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	99
Fig. 6.9.7	Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo asociado a materia orgánica y sulfuros ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	100
Fig. 6.9.8	Contenido de pérdidas por ignición (%) contra fósforo asociado a materia orgánica y sulfuros ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.	100
Fig. 6.9.9	Concentración del fósforo ($\mu\text{g/g}$) en las fases geoquímicas de las regiones del Estero de Urías. (F1: fracción intercambiable, F2: asociada a carbonatos, F3: asociada a óxidos de Fe y Mn, F4: asociada a materia orgánica).	101
Fig. 6.10.1	Distribución vertical de los porcentajes de arenas y limos en el núcleo del Estero de Urías.	104
Fig. 6.10.2	Distribución vertical del porcentaje de arcillas y tamaño medio de grano en el núcleo del Estero de Urías.	104
Fig. 6.10.3	Distribución vertical de la concentración de fósforo total y fósforo inorgánico en el núcleo del Estero de Urías.	105
Fig. 6.10.4	Distribución vertical de la concentración de fósforo orgánico y carbono orgánico en el núcleo del Estero de Urías.	105

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.	118
Parámetros estadísticos de porcentajes de arenas, limos, arcillas, lodos y tamaño medio de grano del sedimento en los sistemas lagunares Altata-Ensenada del Pabellón y Estero de Urías.	
Parámetros estadísticos de porcentajes de carbono orgánico, carbonato de calcio, pérdidas por ignición, fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico en los sistemas lagunares Altata-Ensenada del Pabellón y Estero de Urías.	118
Tabla 2.	119
Parámetros estadísticos de porcentajes de arenas, limos, arcillas, lodos y tamaño medio de grano del sedimento en las diferentes regiones del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	
Tabla 3.	120
Parámetros estadísticos de porcentajes de carbono orgánico, carbonato de calcio, pérdidas por ignición, fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico del sedimento en las diferentes regiones del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	
Tabla 4.	121
Parámetros estadísticos de porcentajes de arenas, limos, arcillas, lodos y tamaño medio de grano del sedimento en las diferentes regiones del Estero de Urías.	
Tabla 5.	122
Parámetros estadísticos de porcentajes de carbono orgánico, carbonato de calcio, pérdidas por ignición, fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico del sedimento en las diferentes regiones del Estero de Urías.	
Tabla 6.	123
Parámetros estadísticos de concentraciones de fósforo en las fases intercambiable (Fase I), carbonatos (Fase II), óxidos de Fe y Mn (Fase III) y materia orgánica (Fase IV) en los sedimentos del Estero de Urías.	
Tabla 7.	124
Matriz de coeficientes de correlación entre los parámetros analizados con una significancia del 95% ($P < 0.05$), para el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	
Tabla 8.	124
Matriz de coeficientes de correlación entre los parámetros analizados con una significancia del 95% ($P < 0.05$), para el Estero de Urías.	
Tabla 9.	125
Matriz de coeficientes de correlación entre los parámetros analizados con una significancia del 95% ($P < 0.05$), para el Estero de Urías (Fases geoquímicas).	
Tabla 10.	126
Inventario del fósforo total depositado en los 5 centímetros superficiales del sedimento en las regiones del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.	
Tabla 11.	126
Inventario del fósforo total depositado en los 5 centímetros superficiales del sedimento en las regiones del sistema lagunar Estero de Urías.	
Tabla 12.	127
Contenido promedio de C orgánico, P total, P orgánico y relación atómica C orgánico: P total y C orgánico: P orgánico en sedimentos superficiales de los sistemas lagunares Altata-Ensenada del Pabellón y Estero de Urías, con sus respectivas regiones.	

RESUMEN

Se determinó la concentración de fósforo total, inorgánico y orgánico en 101 muestras de sedimento superficial del sistema lagunar de Ensenada del Pabellón y 68 muestras de sedimento superficial del Estero de Urías (Puerto Altata- y antepuerto de Mazatlán). Las concentraciones encontradas fueron como sigue: para el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón la concentración de fósforo total varió de 267.8 a 1389 $\mu\text{g/g}$; fósforo inorgánico, de 207.6 a 1253.4 $\mu\text{g/g}$ y fósforo orgánico desde el límite de detección, 0.75 hasta 389.2 $\mu\text{g/g}$. Para el sistema lagunar Estero de Urías, las concentraciones variaron de la siguiente manera: fósforo total de 176.7 a 2773.8 $\mu\text{g/g}$; fósforo inorgánico de 55.5 a 2517.3 $\mu\text{g/g}$ y fósforo orgánico desde el límite de detección, 0.75 a 351.7 $\mu\text{g/g}$. Al comparar ambos sistemas lagunares en cuanto a su concentración promedio de fósforo, se encontró que en Altata-Ensenada del Pabellón es mayor la concentración promedio de fósforo inorgánico y menor la de fósforo orgánico que las concentraciones promedio en el Estero de Urías. Mientras que al comparar la concentración promedio de fósforo total en ambos sistemas lagunares, no presenta diferencia significativa.

Además del fósforo se evaluaron parámetros como materia orgánica, carbonatos, pérdidas por ignición, granulometría y humedad con la finalidad de observar alguna relación entre estos y las concentraciones de fósforo. Encontrando que éste en su mayoría está relacionado con sedimentos de tamaño de grano pequeño, es decir, está relacionado con las fracciones arcillosa y limosa. En el Estero de Urías, el fósforo inorgánico se relacionó con el contenido de carbonato de calcio, no siendo así en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, donde tuvo una mayor correlación con el porcentaje de lodos. En el Estero de Urías, el fósforo orgánico presentó relación positiva con el porcentaje de arcillas, el tamaño medio de grano y la concentración de carbono orgánico.

Ambos sistemas lagunares fueron divididos en cinco secciones, de acuerdo a la situación geográfica y ubicación de las estaciones de muestreo y la posible influencia de actividad agrícola, aguas municipales y descarga de aguas industriales, presentando en general, las secciones del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón mayores concentraciones de fósforo que las secciones del Estero de Urías, con excepción de la región portuaria, donde se presentaron dos puntos con concentraciones anormalmente altas. En cuanto al contenido de materia orgánica y pérdidas por ignición, los sedimentos del Estero de Urías presentaron concentraciones significativamente mayores a las de Altata-Ensenada del Pabellón.

Tomando en cuenta los criterios de aceptabilidad adoptados por el Departamento Pesquero de Canadá para el desecho de materiales de dragado en el mar, se encontró que los sedimentos superficiales de algunas zonas del estuario del Río Culiacán, las lagunas de Caimanero, Bataoto y Chiricahueto y sus proximidades y el estero El Tigre, en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, y de las estaciones asociadas al emisor de aguas negras en el Estero de Urías, se clasifican como fuertemente contaminados debido a sus altos contenidos de fósforo total y pérdidas por ignición.

Con respecto a las concentraciones de fósforo en las diferentes fracciones geoquímicas se encontraron las siguientes concentraciones promedio: 2.2 $\mu\text{g/g}$ en la fracción adsorbible o intercambiable; 64.2 $\mu\text{g/g}$ en la fracción asociada a carbonatos; 88.4 $\mu\text{g/g}$ en la fase asociada a óxidos de Fe y Mn y 142.5 $\mu\text{g/g}$ en la fracción asociada a materia orgánica y sulfuros, encontrando que en esta última fracción predomina con la mayor concentración, representando hasta el 61.4% del fósforo total.

1. Introducción

El fósforo es esencial para los organismos vivos y no es sustituible por otros elementos en los sistemas biológicos. Es un constituyente importante de las moléculas genéticas de información-transferencia (i. e. los ácidos nucleicos DNA y RNA) y de las moléculas energéticas ATP, ADP y AMP. El fósforo es un macronutriente, pero su disponibilidad con frecuencia está en el rango de ng/g. El fósforo desechado por una sola persona en un año (2 kg P, aproximadamente), es suficiente para el crecimiento de 1 Mg de plantas (1 Mg=10⁶ g) (Vallentyne, 1974), hecho que permite ilustrar la conexión entre las comunidades urbanas y la eutroficación (Pierrou, 1979).

En el ambiente moderno industrializado, la tendencia del hombre a acumular desechos, crea problemas de diferente magnitud. El impacto regional del hombre en el ciclo del fósforo se manifiesta principalmente en los sistemas acuáticos. El ecosistema de agua dulce es muy sensitivo a adiciones de fósforo y reacciona a éstas incrementando la producción de algas y plantas, las cuales utilizan grandes cantidades de oxígeno al descomponerse, creando condiciones bajas en oxígeno en las aguas de fondo. El olor y sabor desagradable de los productos de las algas y los compuestos tóxicos que generan al descomponerse, disminuyen los usos del agua para propósitos recreacionales y de potabilización. Las aguas costeras reaccionan a adiciones de pequeñas a moderadas de fósforo, sólo si el intercambio con el océano es impedido o limitado, como por ejemplo en fiordos, bahías, estuarios o lagunas con gran afluencia de agua dulce.

El fósforo es considerado el nutriente más importante debido a que generalmente es el elemento limitante de crecimiento en aguas dulces y ofrece las mejores opciones de control (Schindler, 1978). Debido a la importancia del papel del sedimento de los lagos en la toma y regeneración de nutrientes (Hesse, 1973), los cambios en las características físicas y químicas de los sedimentos superficiales, en contacto con el agua suprayacente, tienen el potencial de influir y controlar la composición de la columna de agua. Esto es particularmente cierto para el fósforo dado que ha sido identificado como un elemento clave en la eutroficación debido a que es un nutriente limitante del crecimiento algal en aguas dulces (Rigler, 1973) y debido a que los sedimentos juegan un papel central en el ciclo del fósforo en los lagos (Syers *et al.*, 1973). La mayoría de los sedimentos de los

lagos son capaces de tomar grandes cantidades de ortofosfato del agua cuando se incrementan las concentraciones y de liberar ortofosfato cuando las concentraciones en el agua disminuyen por la demanda biológica (Golterman, 1973); esto como resultado de un equilibrio dinámico entre los sedimentos y el agua suprayacente, el cual se piensa que es en gran medida dependiente de los procesos de adsorción y desadsorción (Olsen, 1958; Twinch y Breen, 1982).

Los mecanismos en el intercambio de ortofosfatos en agua-sedimento son complejos, variables y poco entendidos (Stumm y Leckie, 1970; Golterman, 1973; Syers *et al.*, 1973). Se ha demostrado que los cambios en los sedimentos superficiales, por ejemplo, aquellos inducidos por la eutroficación, influyen en el estado del fósforo en los sedimentos (Hesse, 1973), y en consecuencia, afectan también el intercambio potencial de fosfatos en la interfase agua-sedimento.

Los sedimentos estuarinos tienen una influencia significativa en la concentración de fósforo en la columna de agua en virtud de su capacidad de tomar y liberar fósforo bajo condiciones ambientales cambiantes. La capacidad de los sedimentos estuarinos de tomar y liberar fósforo hacia la columna de agua depende de la forma química en la cual el elemento está presente. Por lo tanto, se puede obtener información valiosa sobre la movilidad y biodisponibilidad del fósforo en los sedimentos, llevando a cabo estudios detallados en la concentración y distribución de las formas de fósforo en los sedimentos (Morse y Cook, 1978).

En los sistemas costeros y oceánicos, se ha caracterizado al nitrógeno como el nutriente que más limita la producción del fitoplancton (Pennock y Sharp, 1994). La premisa general se deriva primordialmente de los experimentos tipo bioensayo a pequeña escala (e. g. Ryther y Dunstan, 1971; Goldman, 1976). Sin embargo, las observaciones a escalas más grandes de espacio y tiempo frecuentemente ofrecen evidencias contradictorias. Por ejemplo, la limitación del nitrógeno ha sido inferida en las aguas costeras al nivel de ecosistema empleando argumentos mediante balance de masas (Sharp y Church, 1980), mientras que a largo plazo el análisis de balance de masas sugiere que el fósforo es el que finalmente regula la producción primaria marina (Broecker

y Peng, 1982; Smith, 1984). Los resultados contradictorios obtenidos de tales estudios son frecuentemente atribuidos a las diferencias en las escalas de tiempo y espacio.

En los ambientes estuarinos y lagunares la influencia de las escalas de tiempo y espacio es particularmente evidente. En general, se considera al nitrógeno como el principal regulador de la producción estuarina de fitoplancton (Boynton *et al.*, 1982). Como quiera que sea, las variaciones de este patrón general son numerosas. Por ejemplo, en aguas turbias, se ha encontrado que la luz es el regulador más importante de la biomasa (Wofsy, 1983; Pennock, 1985). Bajo condiciones no limitantes de luz los nutrientes como el nitrógeno (e. g. Smayda, 1974; D'Elia *et al.*, 1986; Dortch y Whittedge, 1992), el fósforo (Meyers e Iverson, 1981; Harrison *et al.*, 1990) y los silicatos (D'Elia *et al.*, 1983), limitan la biomasa fitoplanctónica en los diferentes ecosistemas estuarinos.

2. Antecedentes

2.1 Fósforo en sedimentos lacustres

Williams *et al.* (1976), analizaron 48 muestras de sedimento superficial del Lago Erie, encontrando que el fósforo está presente en tres formas principales: fósforo asociado a apatita, fósforo inorgánico no apatítico y fósforo orgánico. Los valores obtenidos en promedio fueron: para fósforo asociado a apatita, 445 mg/kg; fósforo inorgánico no apatítico, 330 mg/kg y fósforo orgánico, 110 mg/kg, los cuales se compararon con las concentraciones de Fe y Mn totales, carbono orgánico, tamaño promedio de grano y contenidos de arena, limo y arcilla, teniendo como resultado que las fracciones orgánica e inorgánica no apatítica estuvieron muy relacionadas entre sí y con el contenido de arcilla y Mn en el sedimento. El fósforo orgánico se correlacionó con el contenido de carbono orgánico y la concentración de fósforo inorgánico se relacionó con los óxidos de hierro.

Klapwijk *et al.* (1982), evaluaron la cantidad de fósforo disponible para las algas en sedimentos de cuatro lagos de la parte oeste de Holanda, por medio de extracciones químicas y bioensayos. En el sedimento extrajeron las siguientes fracciones: fósforo intercambiable, fósforo asociado a Fe y Al y fósforo asociado a Calcio. Los bioensayos, teniendo al sedimento como única fuente de fósforo, fueron hechos en *Scenedesmus quadrata* para determinar la cantidad de fósforo disponible para las algas. La concentración promedio de fósforo total en los sedimentos varió de 0.8-3.6 mg/g peso seco y se correlacionó bien con la carga neta externa de fósforo a los lagos. Los resultados estuvieron relacionados con el tipo de suelo y las características químicas del sedimento. La captura de fósforo por las algas en los bioensayos varió de 0.4 a 36%, mientras que el reactivo extrajo del 36 al 69% del fósforo total en el sedimento, por lo que los autores concluyen que los sedimentos de los lagos investigados muestran gran variabilidad y que las técnicas de extracción no pueden reemplazar a los bioensayos al evaluar la cantidad de fósforo disponible para las algas, ya que en todos los lagos, los tratamientos químicos extrajeron mucho más fosfato que lo que capturaron las algas.

Istvánovics *et al.* (1989), evaluaron en el lago Balaton, Hungría, las concentraciones de fósforo total y las fracciones unidas a los carbonatos, a los óxidos de Fe y Al y al Calcio, así como también el fósforo orgánico fácilmente degradable; encontrando valores de 495 a 717 $\mu\text{g/g}$ para el fósforo total; 304 a 379 $\mu\text{g/g}$ para el fósforo inorgánico y de 32 a 71.8 $\mu\text{g/g}$ peso seco para el fósforo unido a Fe y Al. Los autores concluyen que la capacidad de adsorción de fosfatos de los sedimentos se incrementa con el contenido de hierro. Asimismo, demostraron un ascenso de la saturación de fósforo en la cuenca del lago como resultado de la alta carga externa. En el lago, la desadsorción ocurre siempre que los sedimentos sean resuspendidos; la adsorción y la captura biológica son igualmente importantes en la remoción de fósforo del agua, dependiendo de la carga existente y la producción primaria.

2.2 Fósforo en sedimentos de mares marginales

Gaudette y Lyons (1980), colectaron núcleos de sedimentos carbonatados en ambientes costeros someros en las Bermudas, extrajeron el agua intersticial y bajo atmósfera de nitrógeno determinaron su alcalinidad, salinidad, pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , PO_4^{-3} , NH_4^{+1} y F^{-1} , con el propósito de demostrar que el fósforo reactivo disuelto producido durante la descomposición de la materia orgánica es rápidamente removido del agua intersticial de los sedimentos costeros ricos en carbonatos como una capa apatítica en los granos minerales de carbonatos, siendo esta capa muy importante en el control de procesos diagenéticos posteriores pudiendo inhibir la recristalización y/o disolución de CaCO_3 . Los modelos estequiométricos de regeneración de nutrientes sugieren que las concentraciones de fosfatos observadas son considerablemente menores que los valores calculados. Los análisis de fosfato orgánico e inorgánico en sedimentos muestran altas concentraciones, con relaciones C:P menores que las normalmente observadas para minerales de carbonato de calcio biogénico. Sus datos sugieren la remoción de fosfatos a partir del agua intersticial durante la transformación diagenética de la materia orgánica (durante el metabolismo microbiano) y su incorporación a fases minerales de fluorapatita asociada a carbonato de calcio en los sedimentos. Tales procesos pueden ser el factor más importante en la formación de apatita en ambientes de aguas someras ricas en carbonatos orgánicos.

Páez-Osuna *et al.* (1991), determinaron la distribución de fósforo y su asociación con el carbono orgánico y los carbonatos en 120 muestras superficiales de sedimento del Golfo de California. Sus resultados indican que el fósforo inorgánico es la forma más abundante. Las concentraciones más altas ocurren sólo como "parches" en la plataforma y talud continental y el valor más alto coincide con las áreas de florecimiento planctónico y de surgencias. Asimismo, se estimaron las tasas de acumulación para fósforo total e inorgánico, resultando las menores tasas en los sedimentos lentamente acumulados de las cuencas y valores desde comparables hasta tres órdenes de magnitud mayores en los sedimentos de la parte alta del talud continental del Golfo. El contenido promedio de fósforo en los sedimentos del Golfo de California en la plataforma continental fue de 0.12%, en el talud de 0.10% y en las cuencas de 0.08%. Contrariamente, el contenido promedio de fósforo orgánico fue de 0.013%, 0.022% y 0.026%, respectivamente.

Carranza-Edwards *et al.* (1989) y Morales de la Garza y Carranza-Edwards (1995), analizaron las principales características físicas, químicas y biológicas de los sedimentos superficiales fosfatados de la región del Golfo de Tehuantepec. El contenido de fósforo (P_2O_5) en las muestras de sedimentos se determinó por el método volumétrico, encontrando concentraciones de hasta 8.75%, lo cual constituye una evidencia de la gran productividad orgánica de la región. Observaron que a profundidades menores que 100 m se presentaron valores que oscilan entre 0.04 y 0.05%, considerados como normales, pero a partir de los 100 m de profundidad existen valores mayores que 1.0% de P_2O_5 . Encontraron que estas altas concentraciones de fosfatos están estrechamente asociadas con zonas de mínimo oxígeno disuelto y con las corrientes de surgencias que se originan durante el invierno por los fuertes vientos conocidos como los "tehuantepecos", dando lugar a una alta productividad orgánica.

2.3 Fósforo en sedimentos estuarinos y lagunares

Páez-Osuna *et al.* (1992), presentaron la distribución de fósforo orgánico e inorgánico y su relación con otros componentes del sedimento a partir de 24 muestras superficiales colectadas en el complejo lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa, un ecosistema ubicado en el valle agrícola de Culiacán. Sus resultados indican que el

fósforo contenido en carbonatos es el componente fosfático más importante y que su abundancia está fuertemente relacionada con el carbonato de calcio. Los sedimentos arenosos de las estaciones cercanas a la población de Altata y las bocas que comunican a la laguna con el mar contienen las concentraciones menores de fósforo (337-513 ppm); los sedimentos finos de Ensenada del Pabellón tuvieron los niveles intermedios (510-719 ppm), y las lagunas interiores (Bataoto, Caimanero y Chiricahueto), receptoras de las aguas de retorno agrícolas, presentaron concentraciones mayores a 650 ppm.

Moutin *et al.* (1993) evaluaron las variaciones estacionales en las concentraciones de fósforo en los sedimentos de dos lagunas costeras en Francia, observando variaciones significativas, especialmente en la fracción unida a los óxidos de hierro. Para fósforo total y la fracción unida a los óxidos de hierro, se observó un gradiente desde la superficie hasta el fondo, así como también un decremento en la fracción unida a los hidróxidos de hierro en los sedimentos superficiales durante primavera y verano. Observaron que las variaciones en esta fracción parecen estar compensadas por variaciones en la fracción unida al CaCO_3 , las cuales a su vez parecen estar determinadas por la concentración del hidróxido de hierro. Este compuesto representa solamente una pequeña parte (máximo el 15%) del Fe total en los sedimentos y está relacionado con el contenido de oxígeno disuelto en el agua suprayacente. Estos mismos autores encontraron que la concentración más alta de fósforo total en el sedimento superficial fue de $617 \pm 34 \mu\text{g/g}$ y la menor de $575 \mu\text{g/g}$. Estas concentraciones fueron disminuyendo con la profundidad de la columna sedimentaria, al igual que el pH y las concentraciones de calcio y de fósforo orgánico. La concentración de la fracción unida a los hidróxidos de hierro fue de $9.4 \pm 5.1\%$ del fósforo total.

Los autores asumen que la precipitación del fosfato de calcio constituye un mecanismo esencial para el almacenamiento de fósforo en el sedimento de las lagunas estudiadas, siendo la fracción unida al CaCO_3 , la más importante en los sedimentos en términos de magnitud. La fracción unida a los hidróxidos de hierro es considerada generalmente la más fácilmente removible y está estrechamente relacionada con la concentración de hidróxidos de hierro, que constituye sólo una pequeña parte del Fe total en el sedimento. La variación estacional de esta fracción puede estar relacionada con la descomposición de la materia orgánica, la cual tiene un doble efecto en el ciclo del

fósforo en las lagunas; por un lado, parte del fósforo contenido en la materia orgánica regresa a la circulación y por el otro lado, puede afectar significativamente la fracción inorgánica del fósforo en los sedimentos.

Vaithyanathan y Subramanian (1993), examinaron la distribución de las formas de fósforo en los sedimentos superficiales del estuario Hooghly (Ganges) y su variación en el perfil sedimentario, investigando su relación con otros parámetros como materia orgánica y los metales totales, Fe, Mn, Al y Ca. En sus resultados encontraron que la concentración de fósforo total varió entre 250 y 500 $\mu\text{g/g}$ en los sedimentos superficiales, de la cual el fósforo inorgánico constituyó la mayor porción (80-95%) con un valor promedio de 410 $\mu\text{g/g}$. El fósforo unido al calcio fue la forma dominante del fósforo inorgánico (70%); el fósforo adsorbido constituyó el 24% mientras que el fósforo intercambiable constituyó el 6% del fósforo inorgánico. Estas dos últimas fracciones estuvieron fuertemente relacionadas con el Fe, Al, Mn y el contenido de materia orgánica en los sedimentos superficiales. Los autores observaron valores relativamente constantes de fósforo total, orgánico e inorgánico en los núcleos de los sedimentos estudiados. Cerca del 60-70% del fósforo total estuvo asociado con el calcio. La distribución uniforme de las formas de fósforo con la profundidad indicó que la gran mayoría del fósforo en estos sedimentos debe residir en la forma no reactiva, como la apatita.

Berner y Rao (1994), determinaron la distribución de varias formas de fósforo (asociado a óxidos e hidróxidos de hierro, fósforo orgánico, fósforo detrítico y fósforo total) en sedimentos suspendidos y de fondo del estuario del río Amazonas, utilizando un método de extracción secuencial modificado. Ellos encontraron un marcado decremento en los valores de fósforo asociado al hierro, fósforo orgánico y fósforo total, después de ser depositados los sedimentos suspendidos. Sus resultados sugieren que cantidades considerables de fósforo son añadidas a los océanos por la descomposición bacteriana de la materia orgánica transportada por los ríos y por la desadsorción del fósforo a partir de los óxidos e hidróxidos de hierro. El fósforo orgánico es liberado a la solución intersticial durante la diagénesis temprana y este fósforo puede ser adsorbido por los óxidos de hierro en el sedimento. Durante los frecuentes eventos de resuspensión, los óxidos de hierro son acarreados al agua suprayacente, donde el fósforo es desadsorbido y liberado en solución. Basados en sus resultados; estos autores estiman que el flujo

global total de fósforo hacia los océanos podría ser más de tres veces que el acarreado en solución por los ríos.

Mesnage y Picot (1995), evaluaron la cantidad total de fósforo en los sedimentos de la Laguna de Thau, al sur de Francia, extrayendo las fracciones inorgánica (fósforo unido a Fe y Ca) y orgánica. El análisis estadístico de los datos reveló algunos factores significativos que permitieron explicar las fluctuaciones de las concentraciones de cada fracción como la época del año, la profundidad y la estación de muestreo, encontrando una variación espacial y temporal en la concentración de fósforo total. La variación mayor entre dos zonas diferentes apareció solamente en los primeros 5 cm del sedimento, (914 $\mu\text{g/g}$ para la sección de 0-5 cm y 396 $\mu\text{g/g}$ para 20-25 cm). Los autores explicaron las variaciones espaciales y temporales de fósforo asociado a Fe y Ca por el potencial redox y el pH en la capa superficial del sedimento.

3. Objetivos

Objetivo general.

Investigar la concentración, distribución y fraccionamiento geoquímico del fósforo en los sedimentos superficiales de dos sistemas lagunares costeros del noroeste de México con diferentes características hidrológicas y de impacto ambiental.

Objetivos específicos.

1. Establecer la concentración y la distribución de fósforo elemental o total en los sedimentos superficiales de los sistemas lagunares de Altata-Ensenada del Pabellón y del Estero de Urías (Puerto y antepuerto de Mazatlán).
2. Conocer las concentraciones de fósforo y su distribución espacial en las fracciones orgánica e inorgánica de los sedimentos de ambos cuerpos de agua.

4. Área de estudio

4.1 Bahía de Altata - Ensenada del Pabellón

El sistema lagunar costero Altata-Ensenada del Pabellón se localiza en la parte central del litoral del Estado de Sinaloa, a 45 kilómetros al suroeste de la ciudad de Culiacán, entre los 107°30' y 107°58' de longitud oeste y los 24°20' y 24°40' de latitud norte (Fig. 4.1). Este sistema se halla semicerrado al suroeste por dos barreras arenosas y se comunica con el Golfo de California por medio de dos bocas, una permanente y otra temporalmente abierta, ubicadas en la parte septentrional del sistema lagunar.

El área de estudio está ubicada dentro de una zona semiárida con régimen de lluvias en verano y una precipitación anual promedio de 472 mm, (García, 1973). Dentro de la clasificación de lagunas costeras de México, el cuerpo de agua se considera como una laguna costera de barrera con plataforma interior, en la cual los principales ejes de orientación son paralelos a la línea de costa, siendo la barrera tipo Gilbert-de Beaumont (III A), con forma y batimetría modificada por la acción de las mareas (Lankford, 1977). El cuerpo lagunar es de forma alargada y relativamente estrecho (2 a 28 kilómetros), con una extensión aproximada de 360 km², de los cuales, 280 pertenecen a Ensenada del Pabellón y 80 a la Bahía de Altata, con profundidades inferiores a 8 metros, (Secretaría de Industria y Comercio, inédito, 1970). En la parte central, próxima a la boca principal, desemboca el río Culiacán, con flujo permanente, principal aporte de sedimentos terrígenos hacia el complejo lagunar en estudio. La cuenca de drenaje tiene una superficie de 17,195 km² (INEGI, 1987) con un escurrimiento promedio de 3,276.2 millones de metros cúbicos por año. Este río nace en la ciudad de Culiacán, producto de la confluencia de los ríos Humaya y Tamazula.

El complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón está influenciado por las descargas de una de las regiones agrícolas más intensas del país, ya que en la porción noreste de la laguna desembocan los drenes del distrito de riego No. 10, que es uno de los nueve distritos de carácter intensivo a nivel nacional con más de 10,000 hectáreas

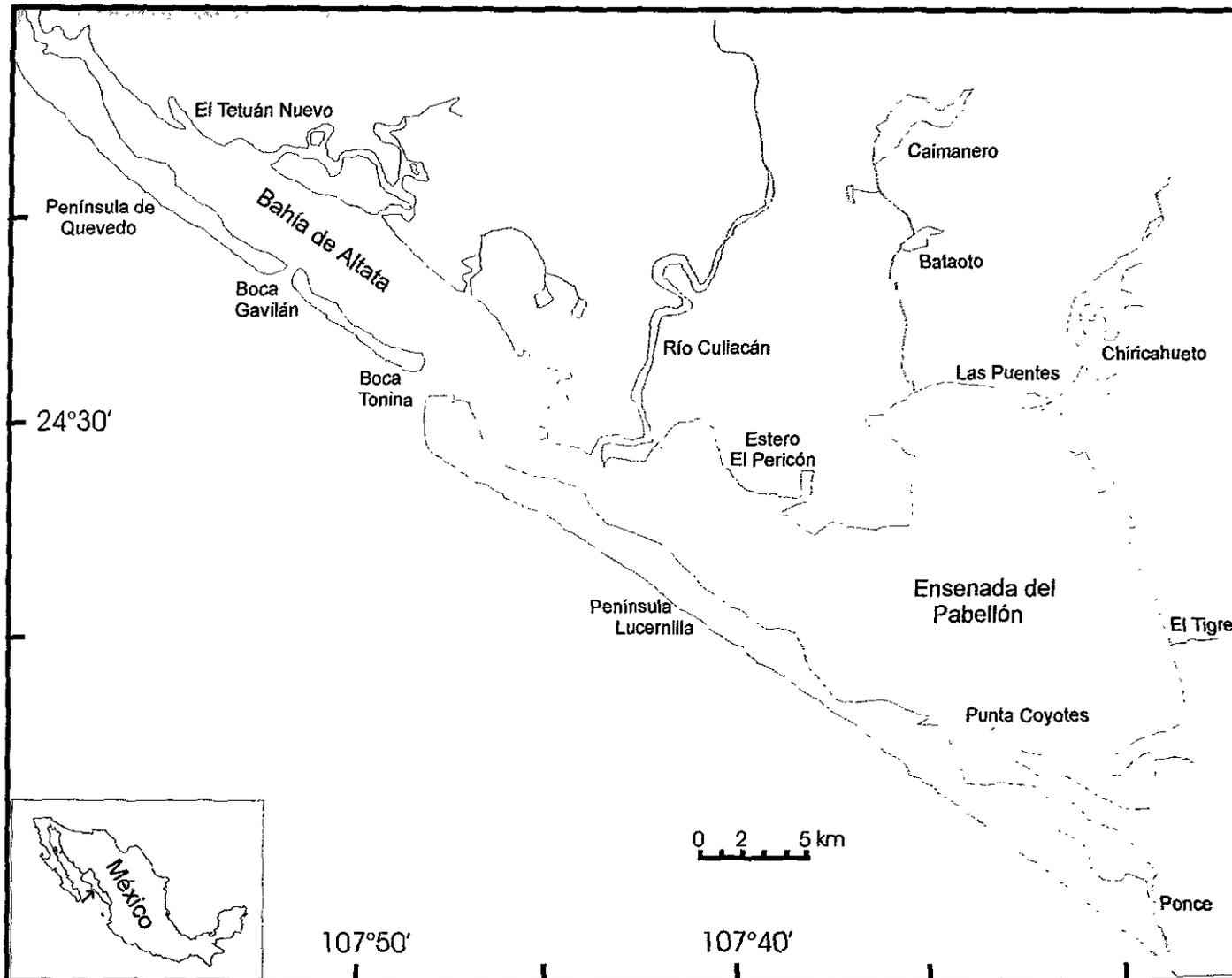


Fig. 4.1 Sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Localización del área de estudio.

sembradas y cosechadas, y las descargas de las aguas residuales de los ingenios azucareros "Gral. Antonio Rosales" de Costa Rica y "La Primavera", de Navolato.

Con la finalidad de generar energía eléctrica, abastecer agua para riego y controlar avenidas, iniciaron sus operaciones las presas "La Sanalona", en el río Tamazula, con 845 millones de metros cúbicos y "Lic. Adolfo López Mateos", en el río Humaya, con una capacidad de almacenamiento de 3,200 millones de metros cúbicos, en los años de 1948 y 1964, respectivamente.

Estudios previos en este complejo lagunar (Páez-Osuna *et al.*, 1993a, 1993b, 1994; Izaguirre-Fierro *et al.*, 1992; Readman *et al.*, 1992; Carvalho *et al.*, 1996) han demostrado que los sedimentos y organismos recolectados en sitios seleccionados están contaminados con metales pesados y pesticidas. En un estudio reciente (Páez-Osuna *et al.*, 1998) fueron analizados el contenido de materia orgánica y carbohidratos totales en los sedimentos y la relación de ambos fue utilizada como un indicador de la cantidad de material orgánico derivado de la agricultura y la industria azucarera.

4.2 Estero de Urías

El Estero de Urías se encuentra dentro del municipio de Mazatlán, al sur del Estado de Sinaloa, entre los 23°10'36" y 23°13'00" de latitud norte y los 106°20'00" y 106°25'35" de longitud oeste. Ubicado al sur de la ciudad de Mazatlán y al norte de la desembocadura del río Presidio, se comunica con el océano Pacífico al suroeste (Contreras, 1985) (Fig. 4.2). Teniendo en cuenta solamente el cuerpo lagunar principal, éste se extiende en un área aproximada de 18 km². Dentro de los primeros 3 km adyacentes a la boca se localiza la zona portuaria; entre los 3 y 7 km siguientes se encuentra el sitio al que llegan las principales descargas urbanas, industriales y aguas de enfriamiento de la termoeléctrica; los kilómetros restantes de la cabeza lagunar se hallan rodeados por bosques de manglar (Páez-Osuna *et al.*, 1990).

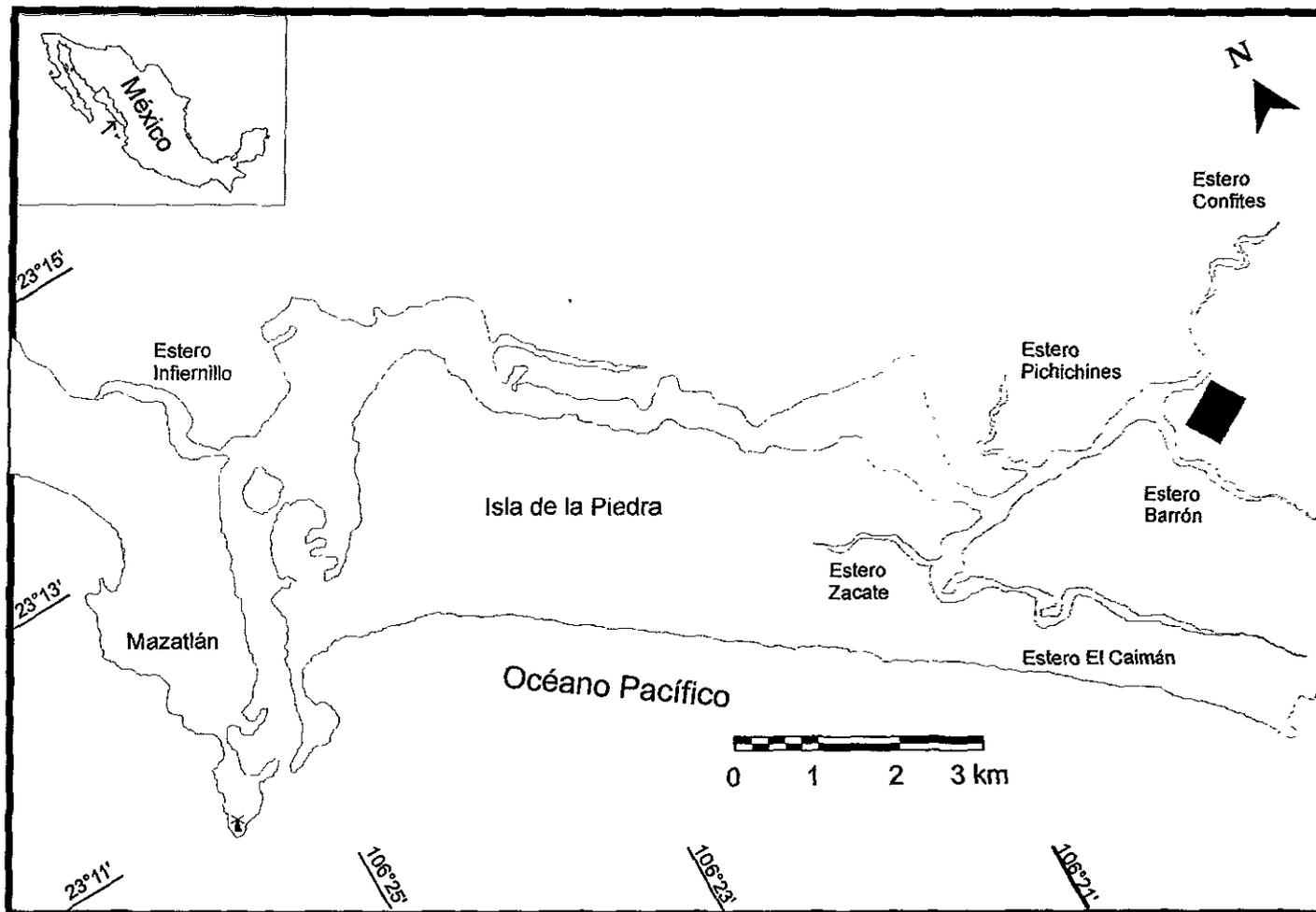


Fig.4.2 Sistema lagunar Estero de Urías. Localización del área de estudio.

El clima de la región es cálido sub-húmedo con una temperatura media anual de 25°C. Los registros meteorológicos de 43 años muestran un promedio anual de 148 mm de lluvia, con sus máximos en los meses de agosto, septiembre y octubre, los cuales a veces vienen acompañados por huracanes y tormentas tropicales (DEEE, 1985). Dentro de la clasificación de lagunas costeras de México, el cuerpo de agua donde se asienta el puerto de Mazatlán se considera del tipo III B (III A), es decir, laguna costera de barrera con plataforma interior, la barrera en orientación triangular con el ápice relacionado a la refracción del oleaje de la costa. Las profundidades son someras; con excepción de los canales de erosión, las modificaciones se deben principalmente a procesos de la zona litoral, incluyendo vientos y huracanes y a sedimentación terrígena localizada (Lankford, 1977).

El cuerpo lagunar mantiene comunicación con el mar mediante una boca permanente, ello lo convierte en un ambiente muy influido por el régimen de mareas. Los aportes de agua dulce al estero son muy reducidos; sin embargo, recoge sobre su porción central unos 800 metros cúbicos por hora como producto de las descargas municipales e industriales (Álvarez-León, 1980). En la época de lluvias, el cuerpo lagunar recibe aguas de escurrimiento, mediante un complejo sistema de esteros (Barrón, Cacafé, Caimán, Confitos, Pichichines, Zacate, etc.) en su parte más meridional.

Este cuerpo de agua se encuentra muy influenciado por las aguas residuales de la ciudad de Mazatlán y además, sujeto a variaciones térmicas ocasionadas por la Termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad "José Aceves Pozos", que envía aguas sobrecalentadas al Estero. Se encuentran también en esta zona, la estación de abastecimiento de PEMEX, flotas atuneras, camarónicas y sardineras, el muelle fiscal y diversas instalaciones industriales.

5. Metodología

5.1 Muestreo

El muestreo en el área de Altata-Ensenada del Pabellón se llevó a cabo en marzo y mayo de 1994, en la cual se obtuvieron 25 muestras de sedimento del interior del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, del Río Culiacán y de los suelos agrícolas adyacentes a la zona. A estos muestreos se adjuntaron 76 muestras recolectadas en los meses de marzo y septiembre de 1991, complementando así una red de 101 estaciones representativas de esta área de estudio.

En el Estero de Urías, se recolectaron 68 muestras durante los meses de abril, agosto, septiembre y noviembre de 1994, incluyendo muestras del Estero Infiernillo y la bahía de Mazatlán; así como también se recolectó un núcleo de 50 centímetros de longitud ubicado en la cabeza del sistema lagunar. Estas estaciones de muestreo se seleccionaron tomando en cuenta las dimensiones de los cuerpos lagunares y sus diferencias en lo que se refiere a la influencia de actividad agrícola, aguas municipales y descarga de desechos industriales. La distancia mayor entre estaciones de muestreo fue de 3 y 2 km, para el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón y el Estero de Urías, respectivamente (Fig. 5.1 y 5.2).

Los muestreos se efectuaron a bordo de una lancha con motor fuera de borda, determinando la ubicación de las estaciones con ayuda de un mapa batimétrico de la región (carta de la Secretaría de Marina, Mazatlán y sus proximidades, S. M. 367), recolectándose en cada estación un núcleo corto de sedimentos mediante un tubo de acrílico o bien mediante una draga tipo Van Veen, seleccionando solamente la sección superficial comprendida entre 0 y 5 cm, la cual se colocó dentro de bolsas plásticas previamente lavadas con ácidos clorhídrico y nítrico diluidos y enjuagadas con agua destilada, (Páez-Osuna *et al.*, 1987). Las muestras de sedimento fueron debidamente etiquetadas con el código de la muestra, estación y fecha de muestreo y trasladadas en hieleras al laboratorio donde se conservaron en congelación hasta sus análisis correspondientes.

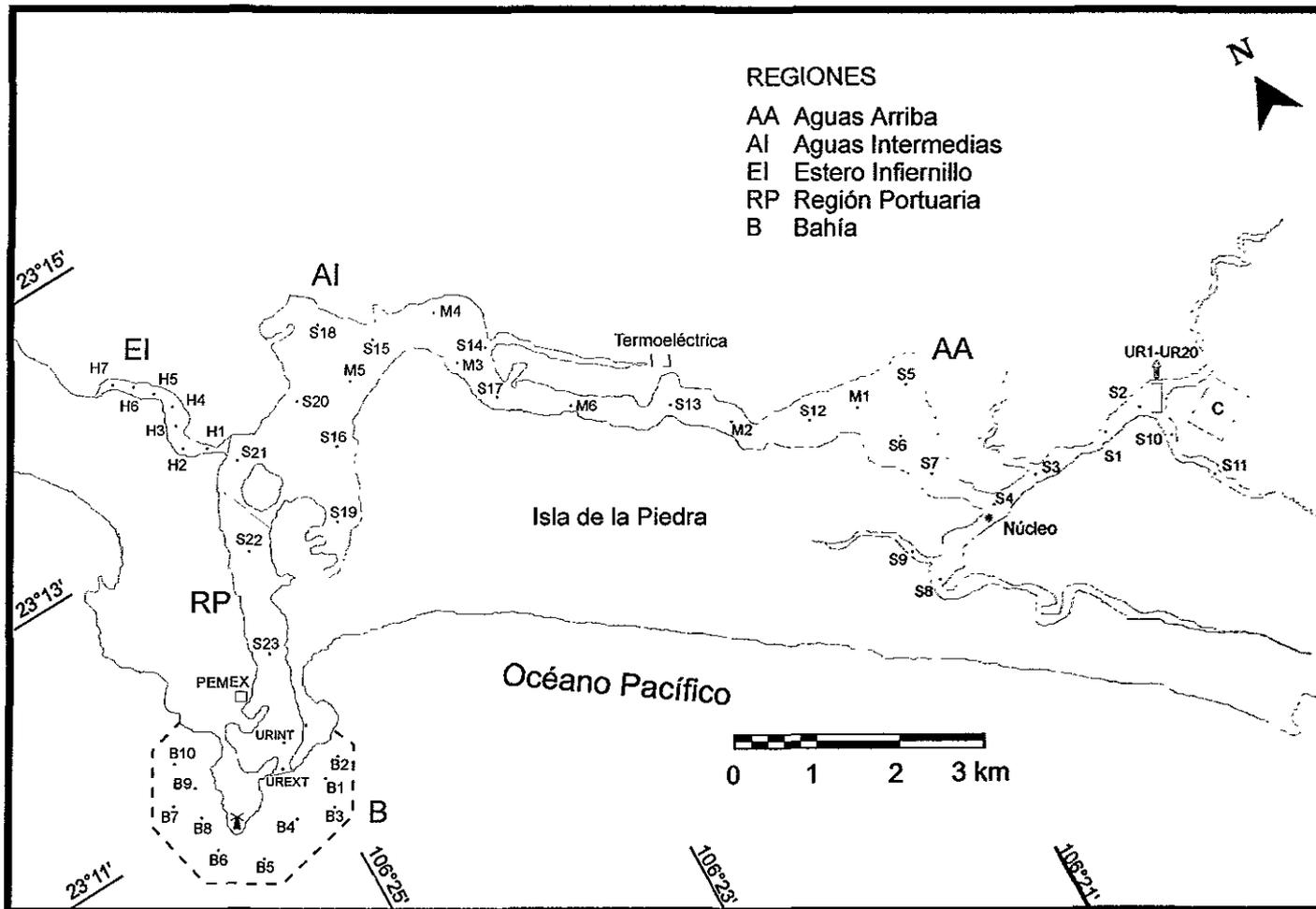


Fig. 5.2 Localización de las estaciones de muestreo de sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.

Una vez en el laboratorio, el material sedimentario fue descongelado, secado en estufa (70°C) y pulverizado en mortero de porcelana con pistilo hasta un tamaño de partícula de aproximadamente 200 micras. Se llevaron a cabo los siguientes análisis, empleando siempre material lavado de acuerdo al procedimiento descrito por Moody y Lindstrom (1977).

Resumen de los diferentes análisis realizados en este estudio.

Análisis	Procedimiento	Referencia
Granulometría	Pipeteo	Folk (1974)
Humedad	Gravimetría	Piper (1950)
Carbonatos	Titulación	Rauret <i>et al.</i> (1987)
Materia orgánica	Titulación	Loring y Rantala (1977)
Pérdidas por ignición	Gravimetría	Dean (1974)
Fósforo total	Espectrofotometría	Aspila <i>et al.</i> (1976)
Fósforo inorgánico	Espectrofotometría	Strickland y Parsons (1972)
Fósforo orgánico	Por diferencia	Aspila <i>et al.</i> (1976)
Fracciones del fósforo	Espectrofotometría	Tessier (1979)

5.2 Análisis granulométrico

Las muestras de sedimento se analizaron granulométricamente de acuerdo a la técnica descrita por Folk (1974) basada en la Ley de Stokes referente a los tiempos de sedimentación de las partículas de acuerdo a su tamaño, la cual consiste inicialmente en eliminar la materia orgánica de la muestra tratando el sedimento con peróxido de hidrógeno al 30%, para posteriormente ser lavado con aproximadamente un litro de agua destilada a través de una malla de 62 micras (4ϕ), separando de esta manera los componentes gruesos (gravas y arenas) de los finos (limos y arcillas).

La fracción gruesa se secó a 70–90°C, pesándose posteriormente para conocer el porcentaje correspondiente de esta fracción. En cuanto a los limos y arcillas, se colocaron en probetas de un litro de capacidad, aforando con agua destilada, se les añadió una pequeña cantidad (inferior a un gramo) de hexametáfosfato de sodio como agente

dispersante y se efectuaron seis pipeteos después de agitar la muestra, de acuerdo a la siguiente tabla:

<i>Pipeteo</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Profundidad (cm)</i>	ϕ
1	30 seg	20	5
2	3 min	18	6
3	15 min	21	7
4	20 min	7	8
5	1 hora	5	9
6	4 horas	5	10

La mezcla agua-sedimento pipeteada se trasladó a crisoles previamente tarados para secarse y pesarse, obteniendo de esta manera los porcentajes de limos y arcillas de las muestras. Es importante señalar que los valores más altos de ϕ corresponden a tamaños de grano más pequeños, es decir, existe una relación inversa.

Con los porcentajes de arenas, limos y arcillas obtenidos, se elaboró una gráfica ternaria para utilizar la clasificación de los sedimentos propuesta por Shepard (1954). Los parámetros estadístico-texturales se calcularon mediante el método de los momentos propuesto por Krumbein y Pettijohn (1938), clasificando los sedimentos de acuerdo con la nomenclatura recomendada por Folk y Ward (1957).

5.3 Análisis de humedad y carbonatos

La humedad se determinó por pérdida de peso, colocando alrededor de 100 gramos de sedimento en vasos de precipitado previamente lavados, secos y tarados, sometiéndose a una temperatura de 70–90°C hasta sequedad; la diferencia de pesos permite calcular el porcentaje de humedad (Piper, 1950).

El porcentaje de carbonatos se evaluó mediante la titulación con NaOH 0.5 N del excedente de HCl 1 N añadido a una alícuota de sedimento molido y seco (Rauret et al. 1987). Se tomó aproximadamente 1 gramo de sedimento molido y seco y se colocó en tubos de polietileno, a los cuales se les agregaron 10 ml de HCl 1N y se colocaron en un

agitador mecánico por 10 minutos, después de lo cual se centrifugaron durante 5 minutos a 2500 rpm. El sobrenadante se separó y se colocó en matraces Erlenmeyer para titularse con una solución de NaOH 0.5 N, en presencia de fenolftaleína como indicador. El cálculo del porcentaje de carbonatos se llevó a cabo mediante la siguiente fórmula:

$$\%CaCO_3 = [\{ (V N)_{HCl} - (V N)_{NaOH} \} \times PM CaCO_3 \times 0.05] / \text{Peso muestra}$$

La comprobación de la exactitud del método se realizó por medio de la determinación porcentual de carbonatos a partir de cantidades conocidas de $CaCO_3$, obteniéndose un valor promedio de $60.47 \pm 0.21\%$ ($n=5$), mientras que su valor aplicando la fórmula empírica es de 59.95% , con una diferencia de 0.52% .

La precisión de la técnica se obtuvo a partir de la valoración de un sextuplicado de la muestra AP-61, donde se encontró un porcentaje promedio de $CaCO_3$ de 48.9% , con una desviación estándar de 0.21% y un coeficiente de variación de 0.43% .

5.4 Análisis de materia orgánica

5.4.1 Carbono orgánico por titulación

La materia orgánica se determinó mediante el método de titulación propuesto originalmente por Walkley y Black (1934) para la determinación de carbono orgánico en suelos, aunque ha sido aplicado para sedimentos marinos y lacustres (Gaudette *et al.* 1974) y modificado por Loring y Rantala (1977); ha sido utilizado para sedimentos con condiciones redox similares, pertenecientes a una misma área y compuestos del mismo tipo de materiales orgánicos. La técnica consiste en tomar aproximadamente 0.5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer de 500 ml de capacidad, oxidando el carbono orgánico al añadir 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N y 20 ml de H_2SO_4 concentrado, este último con 0.05 g de Ag_2SO_4 , mezclándose suavemente por 1 minuto y calentándose durante 30 minutos en plancha de calentamiento a una temperatura de $140^\circ C$ (El-Rayis, 1985). Se enfría la solución y se afora a 200 ml con agua destilada, agregando 10 ml de H_3PO_4 (85 %) y 0.2 g de NaF. El exceso de $K_2Cr_2O_7$ se titula con una solución de sulfato ferroso amoniacal ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 0.5N, empleando difenilamina como indicador. La calibración del método se realizó

a partir de cantidades conocidas de carbono contenidas en una solución estándar de dextrosa. La precisión de la técnica se evaluó como el coeficiente de variación y fue estimada en 9.9% para un nivel de 0.6% de carbono orgánico, y de un 4.6% para un nivel de 1.1%.

5.4.2 Pérdidas por ignición

Esta técnica es apta para materiales no arcillosos, en los cuales se han encontrado coeficientes de variación hasta del $\pm 8.2\%$. Comprende la medición de la pérdida de peso de la muestra después de realizar una combustión seca del material orgánico; el procedimiento analítico varía ampliamente con respecto a la temperatura y tiempo de combustión. En el presente caso, el material molido y secado a peso constante se sometió a calcinación a 550°C durante 2 horas, tras lo cual fue enfriado en desecador y pesado nuevamente; el registro de los pesos anterior y posterior a la operación permite calcular el porcentaje de material perdido por ignición (Dean, 1974).

5.5 Análisis de fósforo

La determinación de fósforo total se llevó a cabo tomando una alícuota de aproximadamente 0.5 g de sedimento seco y molido y calcinándola en la mufla a 550°C durante 2 horas; para posteriormente diluir las cenizas con HCl 1M, colocándose en baño sónico por 10-15 minutos seguido de centrifugación a 2500 r.p.m. durante 15 minutos, para después retirar el extracto ácido. Para la cuantificación de fósforo inorgánico se tomó una alícuota similar, sin someterla a calcinación (Aspila *et al.*, 1976), llevando a cabo el mismo procedimiento. El fósforo se determinó a partir del extracto ácido, por la técnica colorimétrica descrita por Strickland y Parsons (1972). El fósforo orgánico fue estimado por la diferencia entre fósforo total y fósforo inorgánico.

5.6 Determinación del fósforo en las fracciones geoquímicas

Para la determinación del fósforo en las diferentes fracciones geoquímicas se seleccionaron 35 muestras de sedimento del Estero de Urías, de un total de 68,

distribuidas de tal manera que cubrieran en su totalidad el área sujeta a estudio. Para llevar a cabo esta determinación se utilizó el procedimiento de extracción secuencial propuesto por Tessier *et al.* (1979), el cual divide al sedimento operacionalmente en cinco fracciones que son: (a) la fracción intercambiable, (b) la fracción unida a carbonatos, (c) la fracción unida a los óxidos de Fe y Mn, (d) la fracción unida a materia orgánica y sulfuros y (e) la fracción residual.

La primera fracción (Fase I) se extrajo pesando 2 gramos de sedimento seco al aire y molido, añadiendo 15 ml de $MgCl_2$ 1 M y agitando vigorosamente de manera continua durante una hora a temperatura ambiente ($25^{\circ}C$) y pH 7.

La fracción unida a carbonatos (Fase II) fue extraída a partir del residuo anterior con 20 ml de CH_3COONa 1 M, ajustando el pH a 5.0 con ácido acético, a temperatura ambiente y con agitación mecánica vigorosa durante 5 a 6 horas, dependiendo del porcentaje de carbonatos.

La fracción unida a los óxidos de Fe y Mn (Fase III) se extrajo con 35 ml de $NH_2OH.HCl$ 1 M en ácido acético al 25% (v/v), en baño María a una temperatura de $96 \pm 3^{\circ}C$ con agitación ocasional (cada 30–45 minutos) durante 6 horas.

La fracción unida a la materia orgánica (viable o detrítica) y sulfuros (Fase IV) fue extraída añadiendo 6 ml de HNO_3 0.02 M y 10 ml de H_2O_2 al 30%, ajustando a pH 2 con HNO_3 concentrado, calentando la mezcla a $85^{\circ}C$ durante dos horas con agitación intermitente (cada 30–45 minutos). Se añadieron 6 ml más de H_2O_2 al 30% y se calentó nuevamente a $85^{\circ}C$ por 3 horas con agitación intermitente. Después de enfriar, se añadieron 10 ml de CH_3COONH_4 3.2 M en HNO_3 al 20% (v/v), diluyendo a 100 ml y agitando continuamente durante 30 minutos a temperatura ambiente.

Después de cada extracción las muestras se centrifugaron durante 20 minutos a 4000 r.p.m., lavando el sedimento excedente con 8 ml de agua destilada y separando el sobrenadante correspondiente a cada fracción, para enseguida colocarlo en frascos de polietileno debidamente lavados y etiquetados, para su posterior análisis del fósforo empleando la técnica colorimétrica descrita por Strickland y Parsons (1972).

5.7 Procesamiento de los datos

Los resultados obtenidos para cada parámetro fueron representados en mapas del complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón y del Estero de Urías, empleando intervalos de concentraciones para identificar zonas de altos, medios y bajos contenidos de los parámetros evaluados. El número y amplitud de los intervalos utilizados se definió de acuerdo a los resultados obtenidos para cada variable. Ambos cuerpos lagunares fueron divididos en cinco regiones de acuerdo a la situación geográfica y ubicación de las estaciones de muestreo; con la finalidad de realizar comparaciones entre ellas se determinaron promedios y desviaciones estándar de los parámetros cuantificados para cada una de las regiones en ambas lagunas costeras. En la siguiente tabla se indican las diferentes regiones en que se dividieron ambos sistemas y las muestras que pertenecen a cada una de ellas.

<i>Región</i>	<i>Muestras</i>
Sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón	
Altata (A)	AP31–37, AP44, AP60, AP69. ($n = 10$)
Ensenada del Pabellón (EP)	L2–15, AP4–11, AP13–15, AP17–30, AP48–51, AP55, AP57–59, AP61–68, AP70–76. ($n = 62$)
Lagunas interiores (LI)	L1, AP1–3, AP12, AP16, AP38–43, AP52–54, AP56. ($n = 16$)
Río Culiacán (RC)	AP45–47, E1–6. ($n = 9$)
Suelos agrícolas (SA)	C1–4. ($n = 4$)
Sistema lagunar Estero de Urías	
Aguas arriba (AA)	UR1–20, S1–13, S17, M1, M2, M6. ($n = 37$)
Aguas intermedias (AI)	S14–16, S18–21, M3–5. ($n = 10$)
Esteros Infiernillo (EI)	H1–7. ($n = 7$)
Región portuaria (RP)	S22, S23, UR INT, UR EXT. ($n = 4$)
Bahía (B)	B1–10. ($n = 10$)

Se llevaron a cabo pruebas de normalidad sobre los datos de cada una de las regiones y sobre la totalidad de las muestras en ambas lagunas costeras, con la ayuda del paquete estadístico GraphPad Prism 2.0 para Windows 97 (GraphPad Software Inc, San Diego CA), encontrando que en dos regiones del sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, algunos parámetros no pasan la prueba de normalidad, mientras que en el Estero de Urías, los datos obtenidos en cada una de las regiones siguen una distribución de Gauss, no siendo así para la totalidad de los datos en ambas lagunas costeras, donde hubo algunos parámetros que no pasaron la prueba de normalidad. Dichos parámetros (arcillas, carbono orgánico, fósforo total e inorgánico) fueron normalizados y comparados, con excepción del contenido de carbonato de calcio, cuyos datos no pudieron transformarse y normalizarse, por lo que fueron comparados mediante la prueba no paramétrica de Mann Whitney.

Con el objetivo de encontrar correlaciones entre las diferentes variables, se realizaron regresiones lineales, creándose una matriz con los coeficientes de correlación "r" obtenidos. De acuerdo a los grados de libertad y utilizando una tabla estadística para definir la *t* de student (Miller y Miller, 1988), los coeficientes mayores que 0.20 y 0.24 son significativos al 95% de confianza, para el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón y el Estero de Urías, respectivamente. En tanto que aquellos mayores que 0.26 y 0.31 lo son al 99% de confianza.

Se elaboraron gráficas de la concentración de carbono orgánico, pérdidas por ignición, carbonato de calcio y las fracciones geoquímicas del fósforo contra el tamaño promedio de los sedimentos ($M\phi$) y los porcentajes resultantes del análisis granulométrico (arenas, limos y arcillas), tanto para la Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón como para el Estero de Urías, utilizando las hojas de cálculo de Microsoft Excel 97.

6. Resultados y discusión

6.1 Granulometría

La distribución del tamaño medio de los sedimentos en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón y el Estero de Uriás se muestra en las figuras 6.1.1 y 6.1.2. Se puede observar que la mayoría del área de Altata-Ensenada del Pabellón presenta un tamaño medio de grano menor que 4ϕ correspondiente a la clasificación de arenas. Pequeñas zonas en la región Ensenada del Pabellón presentan sedimentos clasificados como limos finos y limos gruesos. Mientras que el Estero de Uriás presenta sedimentos arenosos en las regiones aguas intermedias y bahía, presentando en el resto del sistema lagunar sedimentos clasificados como limos gruesos y finos en su mayoría. Los sedimentos más finos, como arcillas, se presentan en la región Estero Infiernillo.

A partir de los parámetros estadísticos se puede observar en el complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, un valor mínimo para el tamaño medio de grano ($M\phi$) de 2.09, con un grado de selección ($\sigma\phi$) de 1.32, clasificándose como arena fina mal seleccionada, según la nomenclatura de Folk y Ward (1957), localizándose este punto en la estación E-3 del Río Culiacán; mientras que el valor máximo para $M\phi$ fue de 8.29 con un grado de selección ($\sigma\phi$) igual a 2.00, clasificándose como arcilla mal seleccionada y localizándose en la estación E-4, también del Río Culiacán (Anexo V). El valor promedio del tamaño de grano para el complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón fue de 4.33ϕ que corresponde a limo grueso. (Anexo I; Anexo III).

De menor a mayor, los promedios que se obtuvieron para el tamaño medio de grano en las diferentes regiones, fueron: 3.12ϕ para Altata; 4.36ϕ para las lagunas interiores; 4.37ϕ para el Río Culiacán; 4.4ϕ para Ensenada del Pabellón y 6.14ϕ para los suelos agrícolas (Tabla 2; Anexo III). En donde puede observarse, según la nomenclatura de Folk y Ward (1957), que los sedimentos clasificados como limos finos se encuentran en la región de los suelos agrícolas, mientras que sedimentos clasificados como limo grueso, fueron encontrados en las regiones Ensenada del Pabellón, Río Culiacán y lagunas interiores; los sedimentos más gruesos se encuentran en la región de Altata

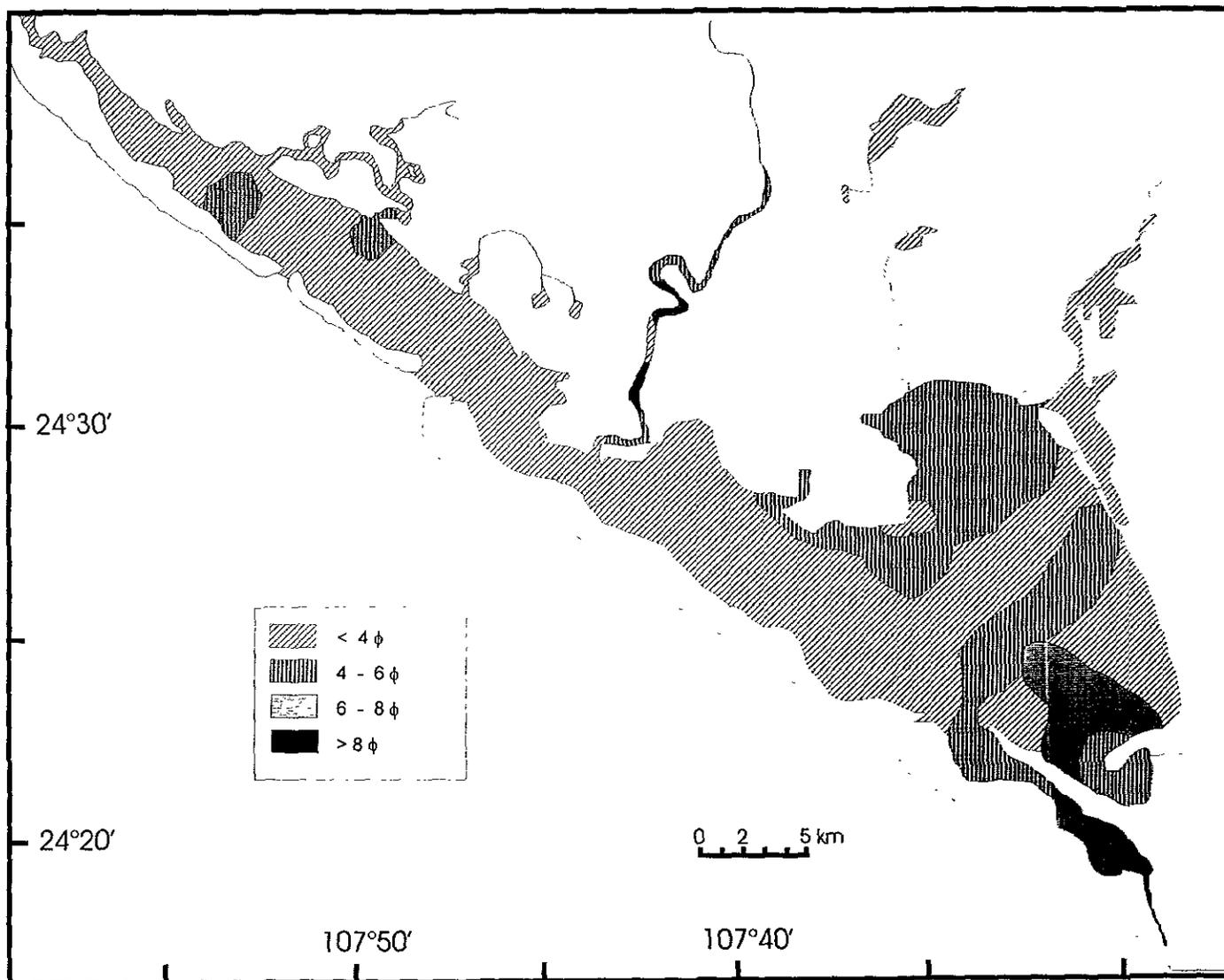


Fig. 6.1.1 Distribución del tamaño medio de grano en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón.

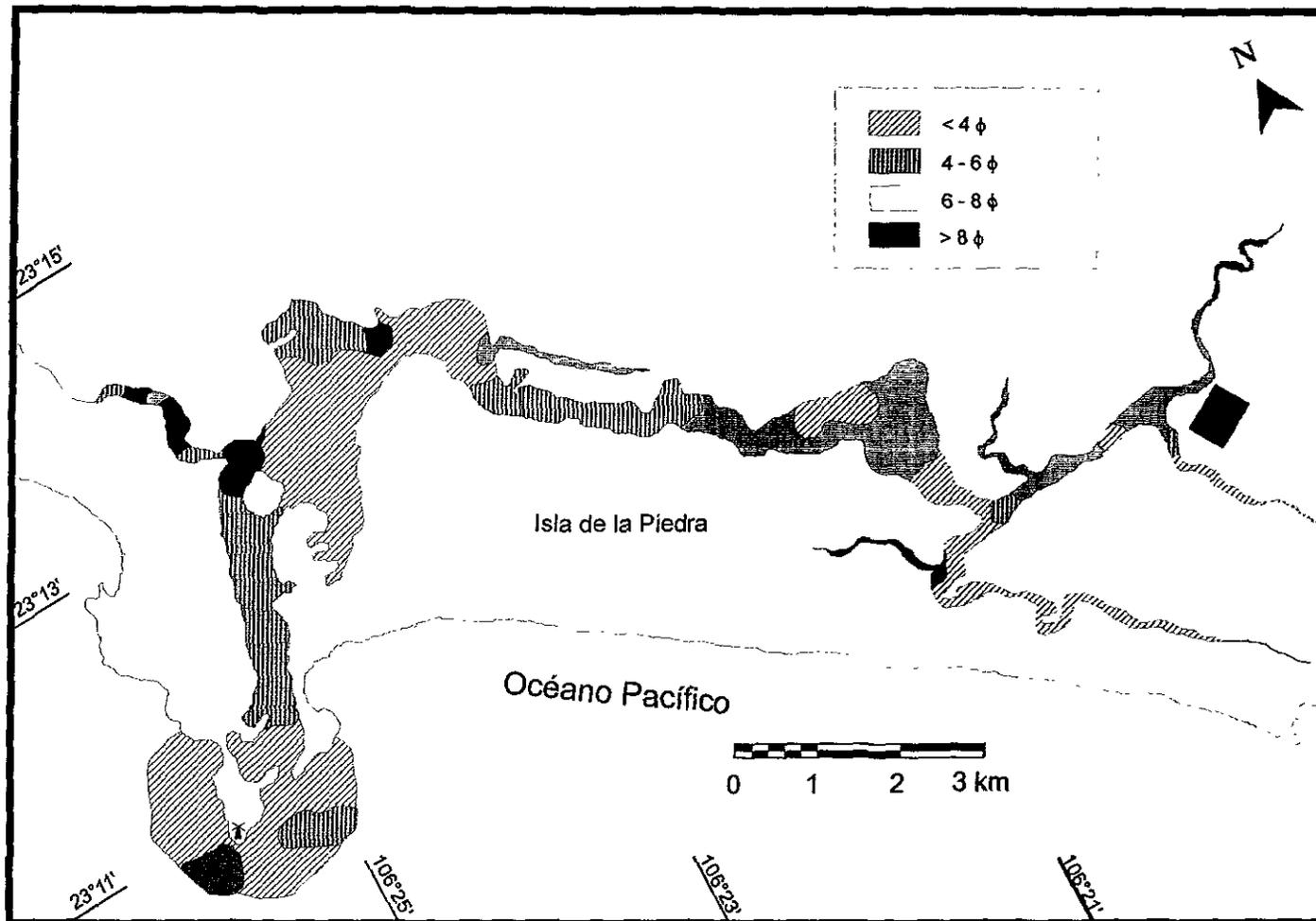


Fig. 6.1.2 Distribución del tamaño medio de grano en sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.

clasificados como arena muy fina, debido muy probablemente al nivel energético de las corrientes en cada región.

De acuerdo con la clasificación de Shepard (1954), el tipo de sedimento varió desde 100% arena en las estaciones AP-31, AP-32, AP-36, AP-37, AP-38, AP-41, AP-60, AP-67 y AP-69, (la mayoría localizadas en la región de Altata, posiblemente debido a la energía de las corrientes en esta zona que transportan el sedimento fino para depositarlo en zonas de baja energía), hasta sedimento clasificado como arcilla limosa en las estaciones L-8, L-9 y E-4, perteneciente a las regiones Ensenada del Pabellón y Río Culiacán (Anexo I).

El valor promedio para el tamaño medio de grano ($M\phi$) para la región de Altata presentó diferencias significativas al compararlo con el valor promedio de las regiones Ensenada del Pabellón, lagunas interiores y suelos agrícolas, siendo significativamente mayor el tamaño de grano para la región de Altata. Los valores promedio de $M\phi$ para las regiones Ensenada del Pabellón y lagunas interiores resultaron significativamente menores que el valor medio obtenido para la región de los suelos agrícolas. Por lo que granulométricamente, los sedimentos de la bahía de Altata son estadísticamente comparables con los sedimentos del Río Culiacán y ambos poseen un tamaño de grano significativamente mayor que el de los sedimentos del resto de las regiones estudiadas (Tabla 2).

Para el Estero de Urías se puede observar a partir de los parámetros estadísticos, un valor mínimo para el tamaño medio de grano ($M\phi$) de 1.72, con un grado de selección ($\sigma\phi$) de 2.52, clasificándose como arena media muy mal seleccionada, según nomenclatura de Folk y Ward (1957), localizándose este punto en la estación UR-EXT de la región portuaria, mientras que el tamaño medio de grano ($M\phi$) máximo fue de 8.75 ϕ , con un grado de selección ($\sigma\phi$) de 1.16, clasificándose como arcilla mal seleccionada y localizándose en la estación H-6, de la región Estero Infiernillo, (Anexo VI). El valor promedio del tamaño de grano para el complejo lagunar fue de 5.76 ϕ , correspondiente a limo medio. (Anexo II; Anexo IV).

De menor a mayor, los promedios que se obtuvieron para el tamaño de grano en las diferentes regiones fueron: 3.24 ϕ para la región portuaria, (arena muy fina); 3.94 ϕ

para la bahía, (arena muy fina); 4.93 ϕ para las aguas intermedias, (limo grueso); 6.58 ϕ para las aguas arriba, (limo fino) y 6.72 ϕ para el Estero Infiernillo, (limo fino), según la nomenclatura de Folk y Ward (1957) (Tabla 4; Anexo IV). Los más altos valores de tamaño de grano se encuentran en regiones donde los sedimentos finos son aportados mediante escurrimientos terrígenos, donde se acumulan gracias a que los bosques de manglar asentados en estas áreas actúan como trampas de material fino. Por otra parte, los valores más bajos se sitúan en zonas donde la corriente de mareas hace sentir su efecto con más fuerza, como lo son la boca del puerto y la bahía, disminuyendo el tamaño de grano conforme se avanza hacia el interior del cuerpo de agua.

Según la clasificación de Shepard (1954), se consideran arenas las muestras recolectadas en las estaciones S-7, S-8, S-16, S-19, S-22, M-1, M-3, M-4, M-5, UR-INT, UR-EXT, B-1, B-2, B-5, B-6, B-7, B-8, B-9 y B-10, las cuales se encuentran ubicadas desde la boca hacia afuera del sistema lagunar, que son zonas de alta energía. Los sedimentos más finos encontrados se clasifican como arcillas-limosas y pertenecen a la gran mayoría de las muestras del sistema lagunar, ubicadas en las regiones aguas arriba, aguas intermedias y Estero Infiernillo (Anexo II).

El valor promedio del tamaño medio de grano ($M\phi$) para las regiones aguas arriba y Estero Infiernillo presentaron diferencias significativas con la región portuaria, las aguas intermedias y la bahía. De lo anterior se puede observar que el tamaño medio de grano de las regiones aguas arriba y Estero Infiernillo son estadísticamente comparables entre sí, presentando sedimentos significativamente más finos que la región portuaria, bahía y aguas intermedias. De la misma manera, estas tres últimas regiones son estadísticamente comparables entre sí, en lo que se refiere a su tamaño medio de grano (Tabla 4).

Ahora bien, comparando los dos sistemas lagunares en su totalidad de muestras, sin subdivisiones, granulométricamente se puede concluir que son comparables en cuanto a su contenido de arenas y lodos, no siendo así para los porcentajes de limos y arcillas, para los cuales se encontraron diferencias significativas, siendo mayor el porcentaje de limos en Altata-Ensenada del Pabellón y mayor el porcentaje de arcillas en el Estero de Urías. El tamaño medio de grano ($M\phi$) también presenta diferencias, teniendo el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón sedimentos superficiales significativamente más gruesos (Tabla 1).

6.2 Carbono orgánico

En las figuras 6.2.1 y 6.2.2 se ilustra la distribución de C orgánico y los intervalos de concentración para ambos sistemas lagunares. En estas figuras se nota como se distribuye desigualmente el carbono orgánico; en el caso del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón se pueden observar los niveles más elevados en los esteros y lagunas interiores y algunos "parches" dentro de Ensenada del Pabellón y de Altata, claramente delimitados. Respecto al Estero de Urías ocurre algo similar, sobresaliendo con altas concentraciones la región Estero Infiernillo, una sección frente a los muelles fiscales y cerca de la descarga de la termoeléctrica, mientras que los niveles menores que 3% de carbono orgánico se sitúan en la región portuaria y la sección de la bahía adyacente a la boca lagunar.

La concentración de carbono orgánico en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón varió entre 0.16 y 11.15%, con un promedio de 1.57% y una desviación estándar de 1.42% (Anexo III). El valor mínimo se localizó en la estación AP-69 de la región de Altata, muy cercana a la boca, mientras que el valor mayor se encontró en la estación AP-76 (Estero El Pericón) de la región Ensenada del Pabellón, (Anexo V). Los valores promedio que se obtuvieron para el contenido de carbono orgánico en las muestras de sedimento del sistema lagunar por regiones fueron los siguientes: para la región de Altata, un valor promedio de 0.64%; para los suelos agrícolas, 1.15%; Ensenada del Pabellón, 1.46%; Río Culiacán, 2.17% y lagunas interiores, 2.33% (Tabla 3; Anexo III).

La concentración promedio de carbono orgánico en la región de Altata presentó diferencias significativas con respecto a la de las regiones Río Culiacán y lagunas interiores. Por otro lado, la concentración promedio de carbono orgánico en la región lagunas interiores presentó diferencias significativas con respecto a las regiones Ensenada del Pabellón y suelos agrícolas. Se observa que la concentración de carbono orgánico en la región lagunas interiores es estadísticamente comparable a la del Río Culiacán y significativamente mayor que las concentraciones en el resto de las regiones estudiadas (Tabla 3).

El tamaño promedio de grano tiene un coeficiente de correlación con el carbono orgánico igual a 0.42, que de acuerdo al número de muestras correlacionadas ($n = 101$)

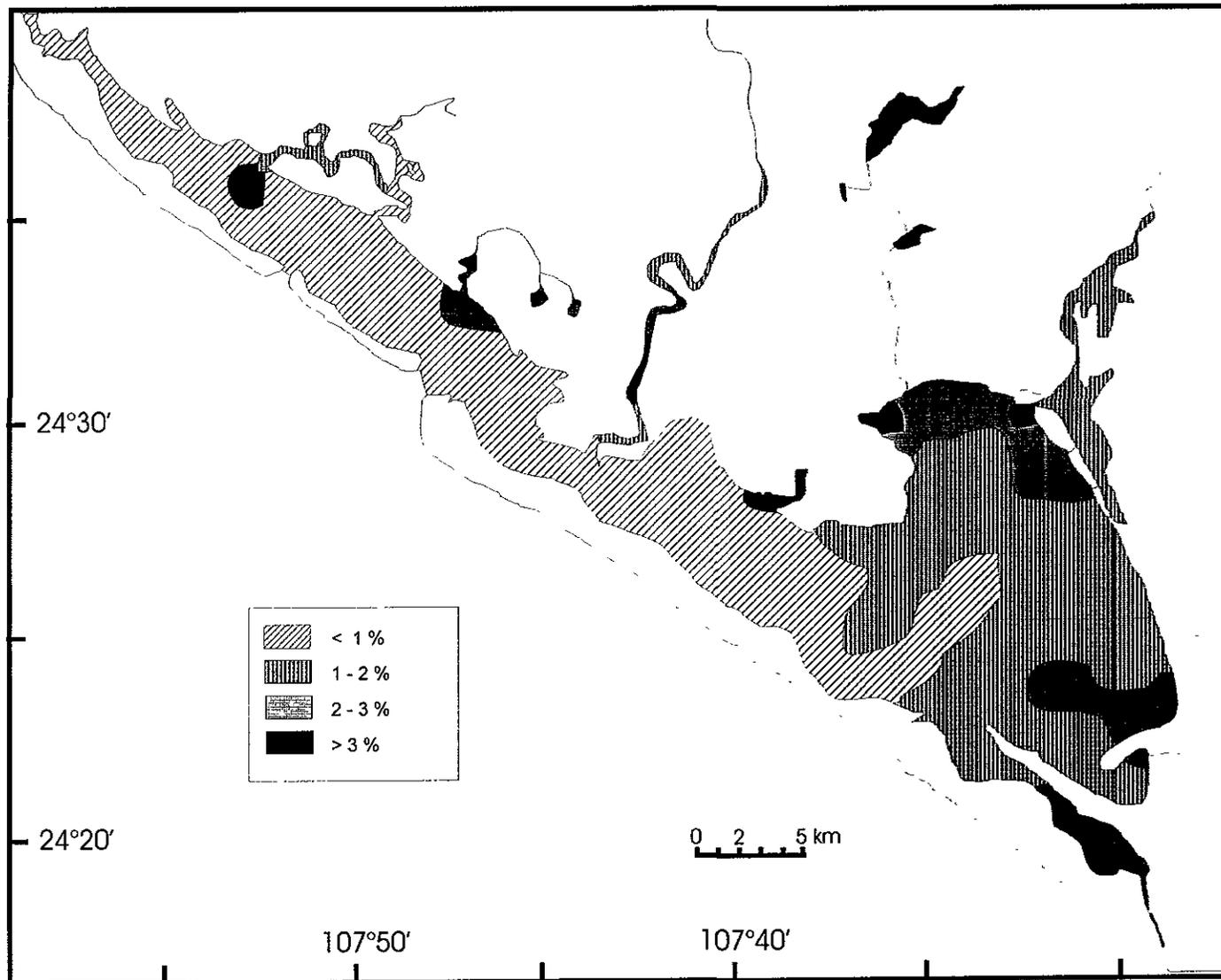


Fig. 6.2.1 Distribución de la concentración de carbono orgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

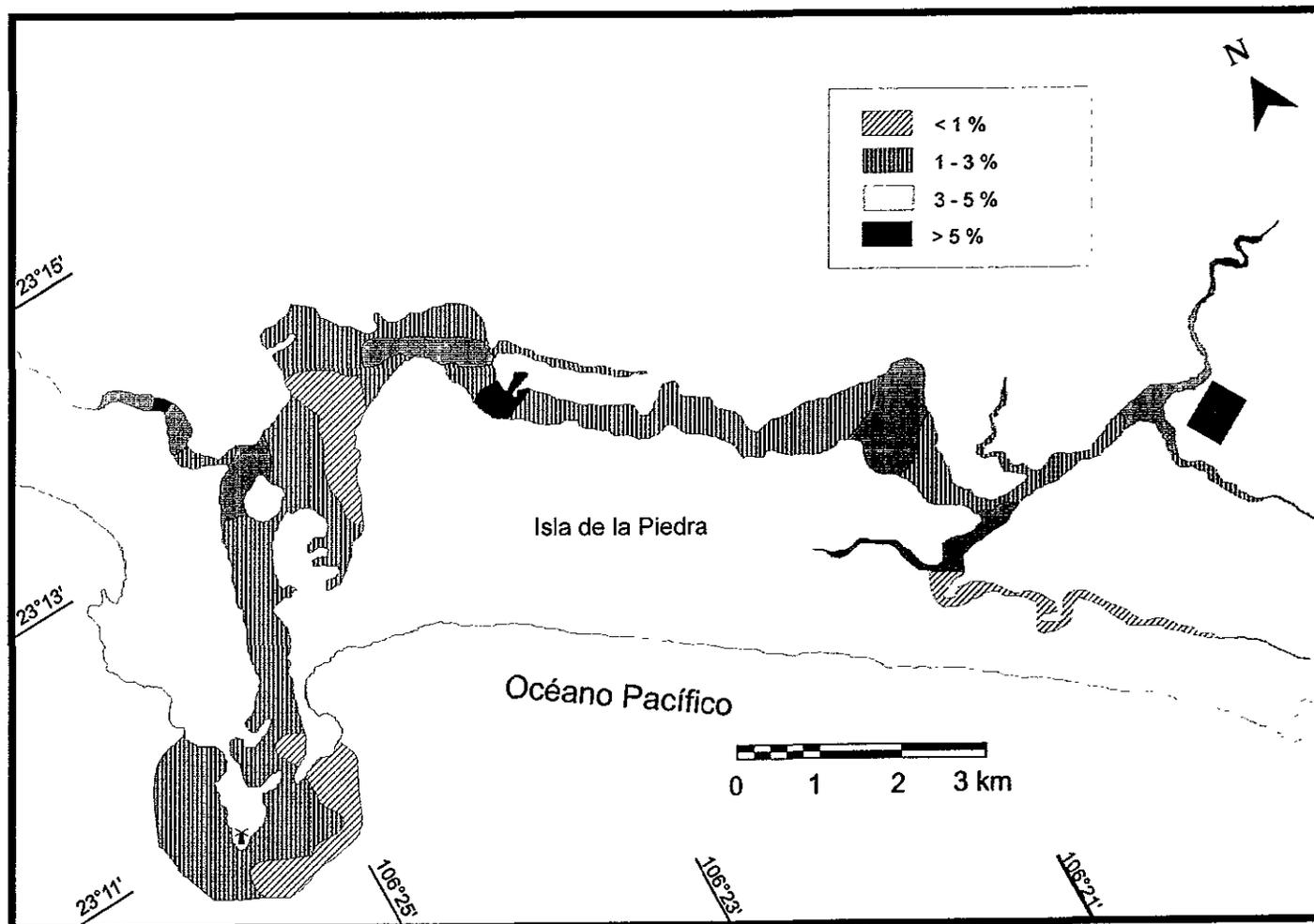


Fig. 6.2.2 Distribución de la concentración de carbono orgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.

es significativo al 95% (Fig. 6.2.3; Tabla 7). Con lo que puede evidenciarse la afinidad de la materia orgánica por las arcillas, lo que indica que a un incremento del material fino en los sedimentos corresponde un incremento de materia orgánica, atribuyéndose esto a la adsorción del carbono orgánico en la superficie de los minerales (Mayer, 1994).

Debido a la capacidad de las arcillas y la materia orgánica para asociarse, es de esperarse una relación inversa entre el porcentaje de arenas y el porcentaje de carbono orgánico, en este caso el coeficiente de correlación r es de -0.55 , mientras que la correlación entre este mismo parámetro y el porcentaje de lodos (% limos + % arcillas) arroja un coeficiente r de 0.55 , significativo al 95% (Fig. 6.2.4 y 6.2.5; Tabla 7). En ambas gráficas puede hacerse notar que los puntos que no siguen la tendencia general son en su mayoría estaciones con un alto contenido de materia orgánica y que se encuentran ubicadas en la región de lagunas interiores o en lugares muy cercanos a la orilla de la laguna, como lo son las estaciones AP-52, AP-56 y AP-76, probablemente debido a la gran cantidad de hojarasca producida por manglar en estas áreas donde por otro lado, también se presenta acumulación de sedimentos finos debido a la poca circulación de agua en esas zonas.

El carbono orgánico presentó un coeficiente de correlación positivo igual a 0.77 con respecto a las pérdidas por ignición, significativo al 95%, lo cual indica que las proporciones de arcillas que pierden agua a elevadas temperaturas y las diferencias en las proporciones de carbono y demás elementos volátiles que componen a la materia orgánica no son tan variables entre las muestras de sedimento estudiadas, por lo que en este caso, las pérdidas por ignición pueden ser utilizadas de manera aceptable como una estimación de la concentración de carbono orgánico para este cuerpo lagunar (Fig. 6.2.6; Tabla 7). En esta gráfica, los puntos que se alejan un poco de la línea de tendencia, son estaciones que tienen un bajo o nulo contenido de arenas, mientras que presentan un muy alto porcentaje de lodos, como las estaciones E-3 y AP-76. Al eliminar estos dos puntos de la gráfica se obtiene una r igual a 0.85 y una ecuación como la siguiente: $y = 3.35x + 2.76$.

Cabe mencionar que en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, sólo en las regiones Río Culiacán y suelos agrícolas no se obtuvo una correlación significativa entre el carbono orgánico y las pérdidas por ignición, tal vez debido a que en estas dos

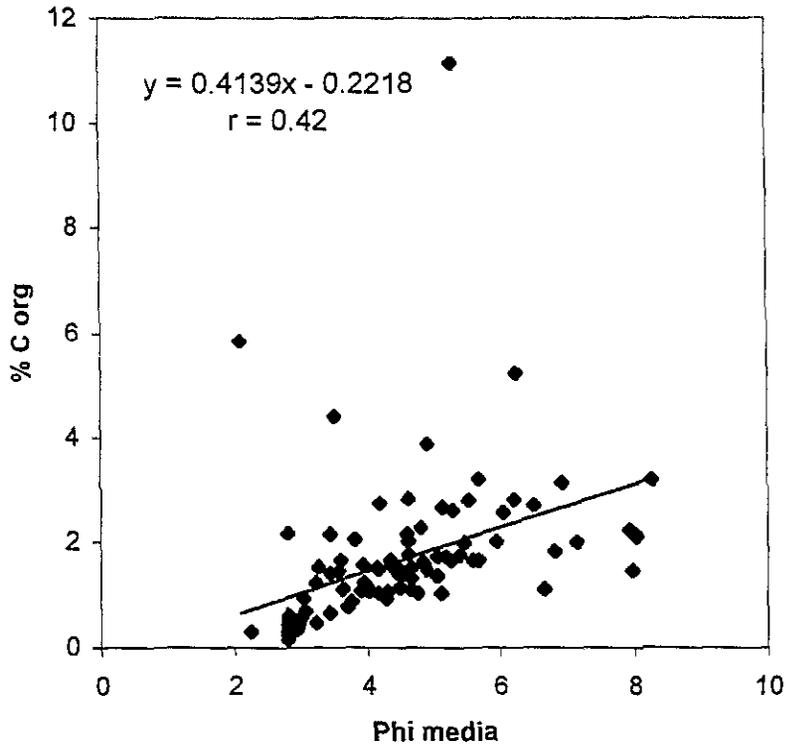


Fig. 6.2.3.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra la concentración de carbono orgánico (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

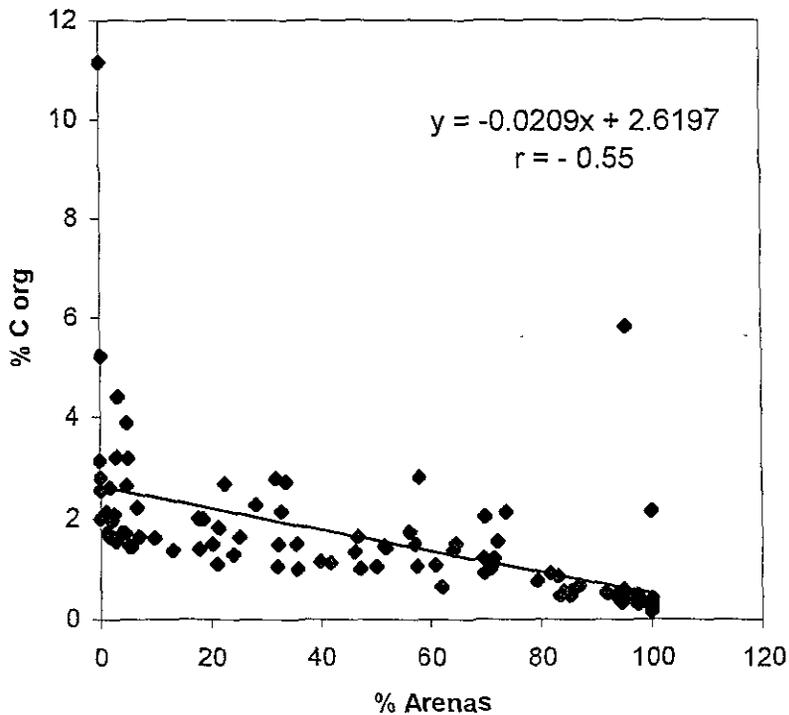


Fig. 6.2.4.- Contenido de arenas (%) contra la concentración de carbono orgánico (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

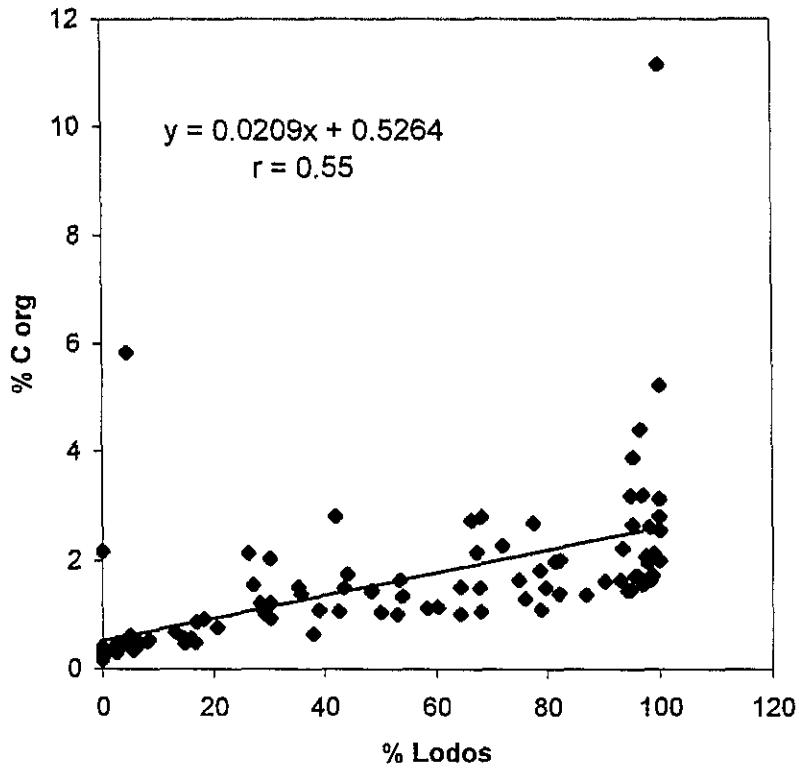


Fig. 6.2.5.- Contenido de lodos (%) contra la concentración de carbono orgánico (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

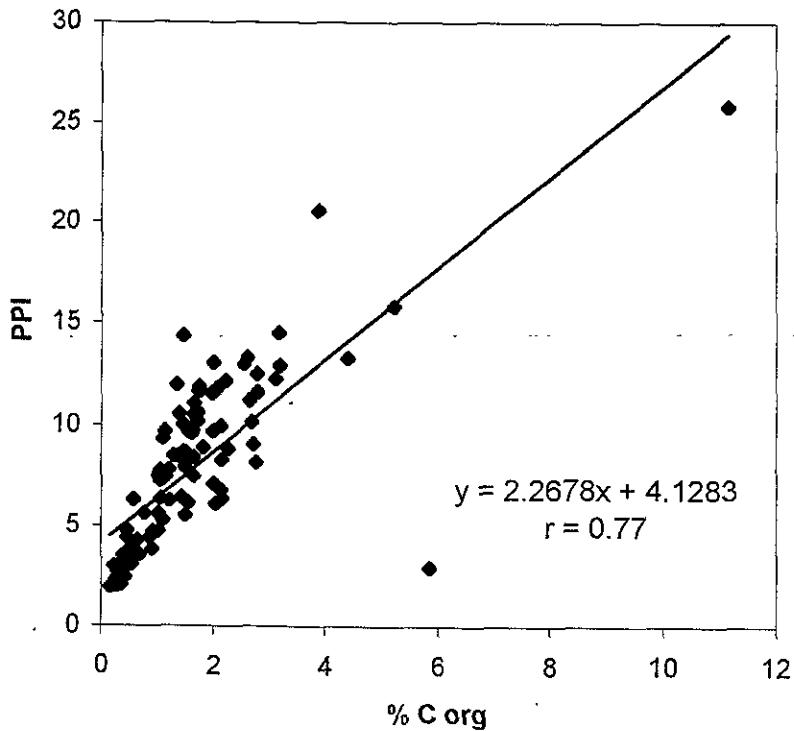


Figura 6.2.6.- Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

regiones el porcentaje de arcillas promedio es mucho mayor que en el resto de las regiones; por otro lado, los valores de los coeficientes de correlación r presentados en las regiones lagunas interiores, Ensenada del Pabellón y Altata fueron incluso mayores al obtenido para el sistema lagunar en su totalidad, teniendo para la región lagunas interiores una $r = 0.89$, Ensenada del Pabellón, $r = 0.84$ y Altata, $r = 0.99$ (Fig. 6.2.7, 6.2.8 y 6.2.9). Estos valores revelan que el coeficiente de correlación es mayor cuando se involucran sedimentos con nulo o bajo contenido de arcillas.

La concentración de carbono orgánico en los sedimentos del Estero de Urías varió entre 0.56 y 11.43%, con un promedio de 3.1% y una desviación estándar de 1.96% (Anexo IV). El valor mínimo se localizó en la estación B-1, perteneciente a la bahía, mientras que el máximo se encontró en la estación H-5, localizada en el Estero Infiernillo (Anexo VI), lo cual concuerda con el tamaño promedio de grano para cada región, puesto que a menores tamaños de grano, se encuentran mayores concentraciones de materia orgánica. Teniendo en este caso para la región de la bahía, un valor de ϕ media igual a 3.94ϕ (arena muy fina) mientras que para el Estero Infiernillo fue de 6.72ϕ (limo fino) (Tabla 4; Anexo IV). Los valores promedio que se obtuvieron para el contenido de carbono orgánico en las muestras de sedimento del sistema lagunar Estero de Urías en las diferentes regiones fueron los siguientes: para la bahía, 1.31%; región portuaria, 1.37%; aguas intermedias, 2.22%; aguas arriba, 3.76% y para el Estero Infiernillo un valor promedio de 4.47% (Tabla 5; Anexo IV). Puede observarse como gradualmente va aumentando el porcentaje de carbono orgánico conforme se avanza hacia el interior del Estero de Urías hasta llegar a la cabeza lagunar, coincidiendo lo anterior con los resultados granulométricos ya que el sedimento se va haciendo más fino en el mismo sentido; el Estero Infiernillo, región con el mayor porcentaje promedio de materia orgánica, presentó el menor tamaño promedio de grano y el mayor porcentaje de lodos (%limos + %arcillas); tal vez como consecuencia de recibir las descargas domésticas efectuadas por la población aledaña a esa área, aunado a la restringida circulación de agua en la zona.

La concentración promedio de carbono orgánico para la región aguas arriba presentó diferencias significativas con la región portuaria, las aguas intermedias y la bahía, indicando que la concentración de carbono orgánico en la región aguas arriba es significativamente mayor que aquellas de las regiones aguas intermedias, la región portuaria y la bahía, debido al mayor porcentaje de arcillas encontrado en esa región. La

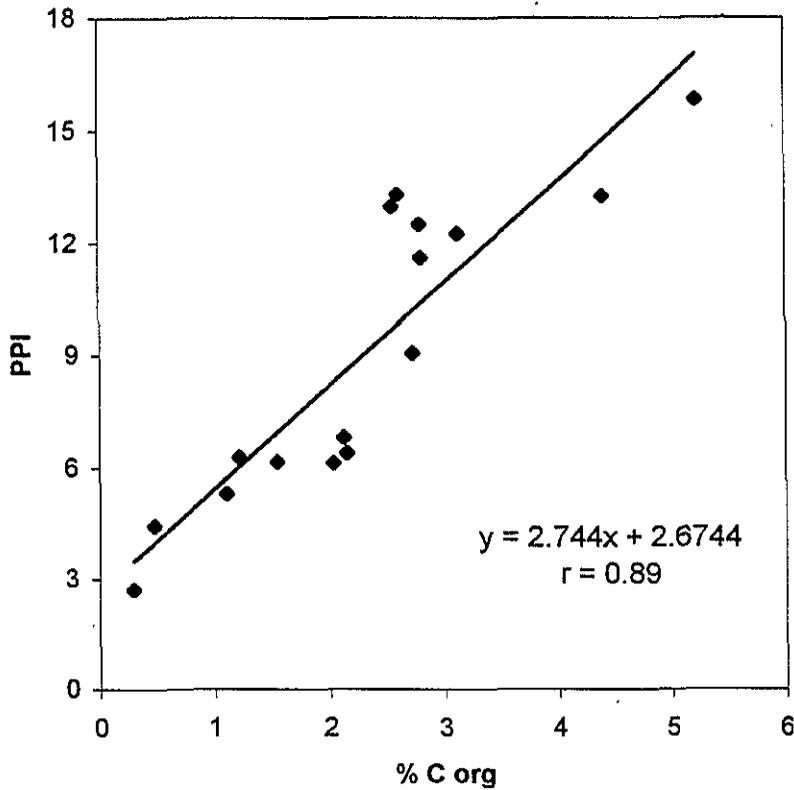


Fig. 6.2.7.- Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región lagunas interiores de Altata-Ensenada del Pabellón.

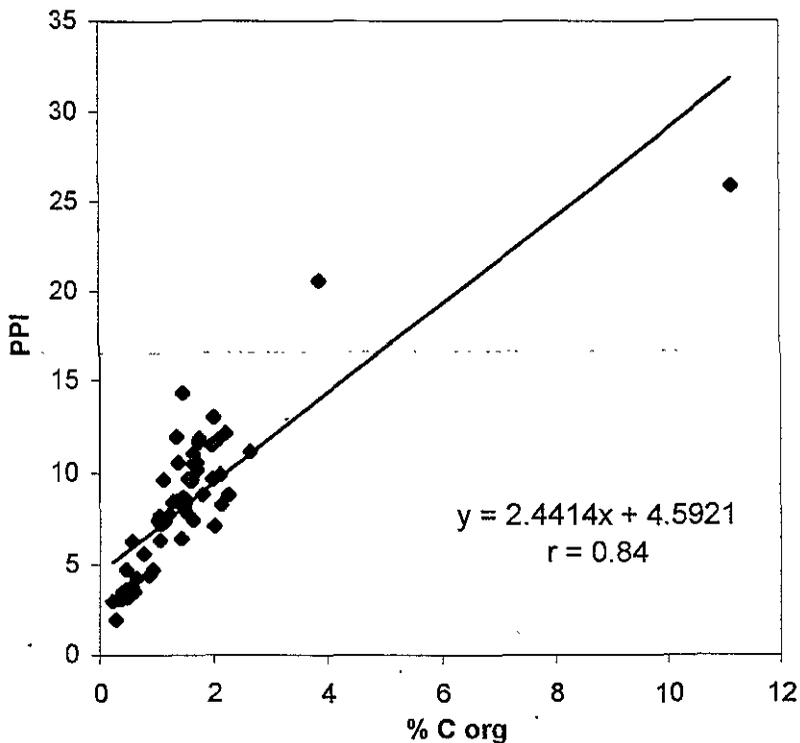


Fig. 6.2.8.- Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región Ensenada del Pabellón de Altata-Ensenada del Pabellón.

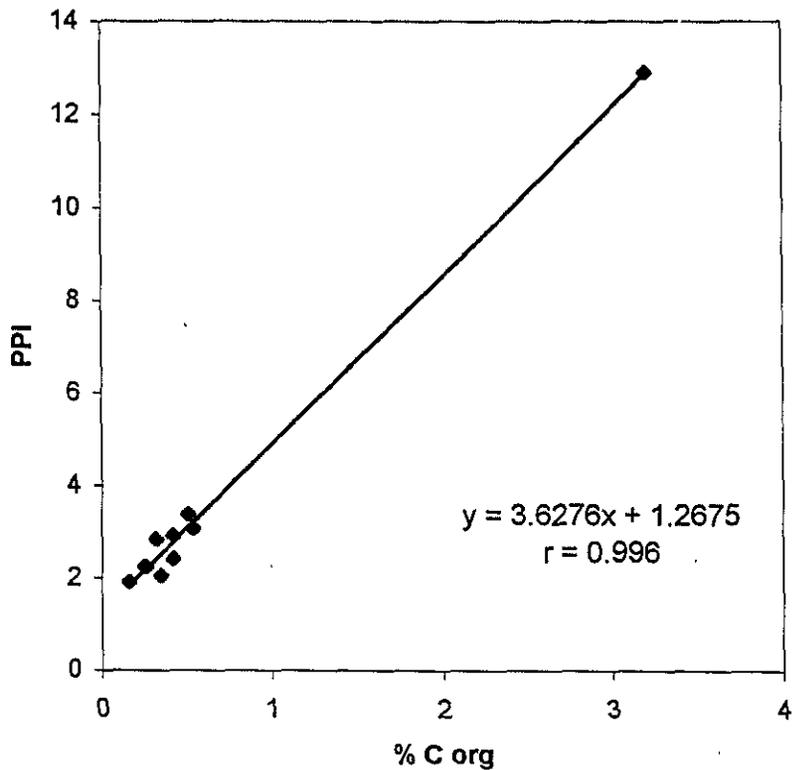


Fig. 6.2.9.- Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región Altata de Altata-Ensenada del Pabellón.

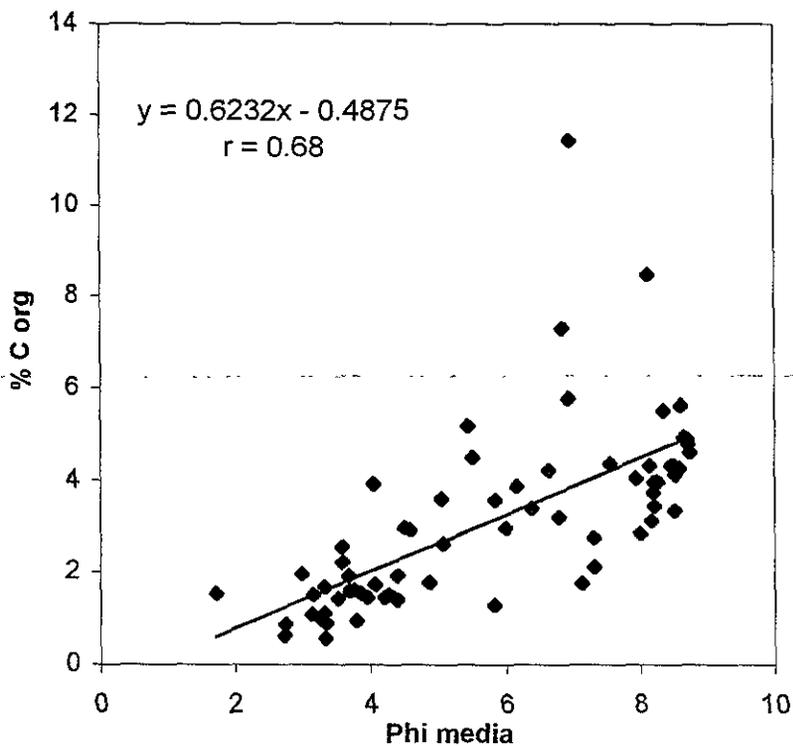


Fig. 6.2.10.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra carbono orgánico (%) en sedimentos del Estero de Urias.

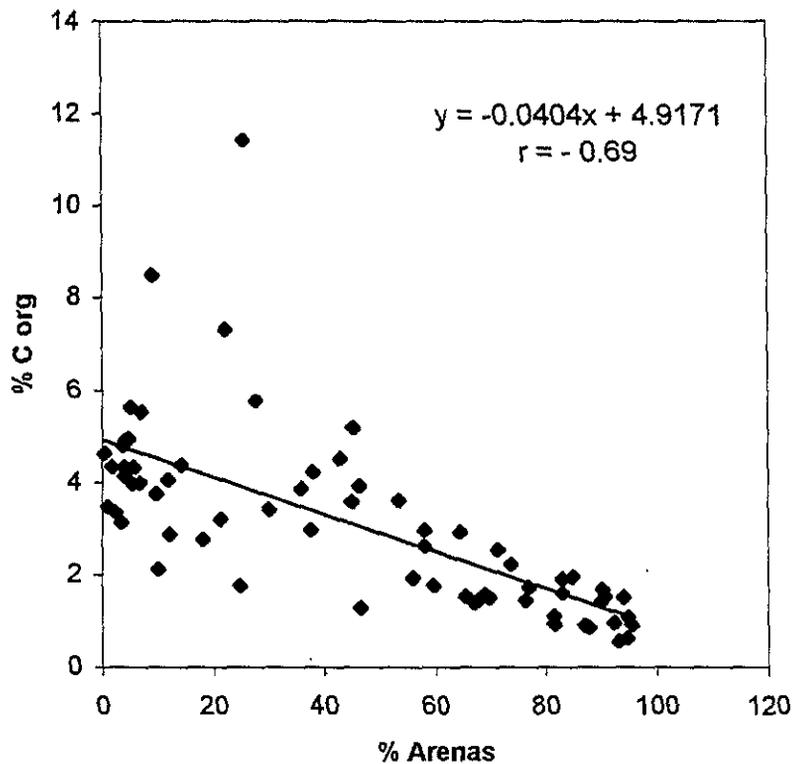


Fig. 6.2.11.- Contenido de arenas (%) contra carbono orgánico (%) en sedimentos del Estero de Urías.

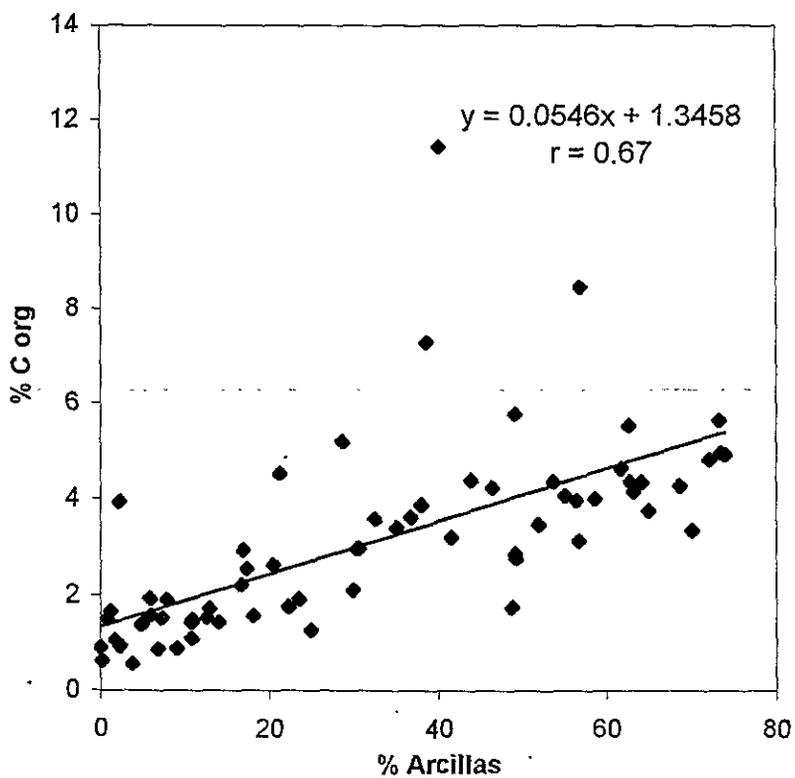


Fig. 6.2.12.- Contenido de arcillas (%) contra carbono orgánico (%) en sedimentos del Estero de Urías.

región aguas intermedias y el Estero Infiernillo presentaron diferencias significativas con la bahía, lo que muestra que la región aguas intermedias y el Estero Infiernillo contienen significativamente mayor porcentaje de materia orgánica que los sedimentos de la región de la bahía. La región aguas arriba y el Estero Infiernillo presentan concentraciones comparables de materia orgánica, ya que no presentaron diferencias significativas, de la misma manera que la región portuaria y la bahía (Tabla 5).

El tamaño promedio de grano en unidades ϕ tiene un coeficiente de correlación con el carbono orgánico de 0.68, que de acuerdo al número de muestras correlacionadas ($n = 68$) es significativo al 95%, lo que indica que a menor tamaño de grano, mayor afinidad presenta el sedimento a asociarse con la materia orgánica, debido a que posee mayor área superficial (Fig. 6.2.10; Tabla 8). En esta gráfica, los puntos que no siguen la línea de tendencia se encuentran ubicados en la región aguas arriba y Estero Infiernillo. La correlación con el porcentaje de arenas es negativa, y en este caso, ésta resultó igual a -0.69; por otro lado, el coeficiente de correlación presentado con respecto al porcentaje de arcillas es de 0.67, atribuyéndose esto a la afinidad de las arcillas por la materia orgánica (Fig. 6.2.11 y 6.2.12; Tabla 8). Al igual que en la gráfica anterior, en estas gráficas se observa que los puntos que no siguen la tendencia general pertenecen a muestras ubicadas en la región de aguas arriba y Estero Infiernillo, con altos contenidos de materia orgánica.

Evaluando los dos sistemas lagunares en su totalidad, se encontraron diferencias en el contenido de materia orgánica, siendo significativamente mayores las concentraciones de carbono orgánico en los sedimentos del Puerto de Mazatlán con respecto a los sedimentos del sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón (Tabla 1).

6.3 Pérdidas por ignición

El valor promedio obtenido para este parámetro en el complejo lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón fue de 7.69%, con una desviación estándar de 4.20% y con valores mínimo de 1.92%, ubicado en la estación AP-69 de la región de Altata, situado muy cercano a la boca y máximo de 25.88%, en la estación AP-76 situado en el Estero El Pericón perteneciente a la región Ensenada del Pabellón (Anexo III; Anexo V). Cabe

mencionar que estos valores mínimo y máximo de pérdidas por ignición coinciden con las estaciones que presentan los porcentajes mínimo y máximo de carbono orgánico. Los valores promedio más altos se registraron en las lagunas interiores y los menores en la región de Altata, de acuerdo a los siguientes promedios para las diferentes regiones: Altata, 3.6%; Río Culiacán, 6.61%; suelos agrícolas, 7.45%; Ensenada del Pabellón, 8.17% y lagunas interiores, 9.06% (Tabla 3; Anexo III).

El porcentaje promedio de las pérdidas por ignición para la región de Altata presentó diferencias significativas con los porcentajes promedios de las regiones Ensenada del Pabellón y lagunas interiores, lo que nos muestra que las pérdidas por ignición son significativamente menores en la bahía de Altata que en las regiones Ensenada del Pabellón y lagunas interiores. Exceptuando la región de Altata, el resto de las regiones del sistema lagunar resultaron estadísticamente comparables entre sí en lo que se refiere al porcentaje de materia orgánica evaluada como pérdidas por ignición (Tabla 3).

Las pérdidas por ignición presentan un coeficiente de correlación negativo con el porcentaje de arenas, igual a -0.82 y un coeficiente positivo de $r = 0.72$ con respecto al porcentaje de arcillas, lo que muestra como las pérdidas por ignición se comportan en la misma manera que el carbono orgánico con respecto al tamaño de grano, aumentando su valor conforme disminuye este último (Fig. 6.3.1 y 6.3.2; Tabla 7). En estas gráficas, los puntos que no siguen la línea de tendencia son estaciones ubicadas en lagunas interiores o en la orilla del sistema lagunar, con porcentajes elevados de pérdidas por ignición.

El tamaño medio de grano ($M\phi$) presenta un coeficiente de correlación r igual a 0.42 con respecto al contenido de materia orgánica, mientras que con las pérdidas por ignición es de $r = 0.70$, ambos significativos al 95%, lo que nos indica que en este sistema lagunar las pérdidas por ignición se correlacionan mejor con el tamaño medio de grano que la materia orgánica, tal vez debido a las proporciones variables de arcillas entre las muestras sedimentarias analizadas (Fig. 6.3.3; Tabla 7). Los puntos que no siguen la línea de tendencia en esta gráfica, son los mismos que en otras gráficas y pertenecen a la región de lagunas interiores y a las orillas de la región Ensenada del Pabellón.

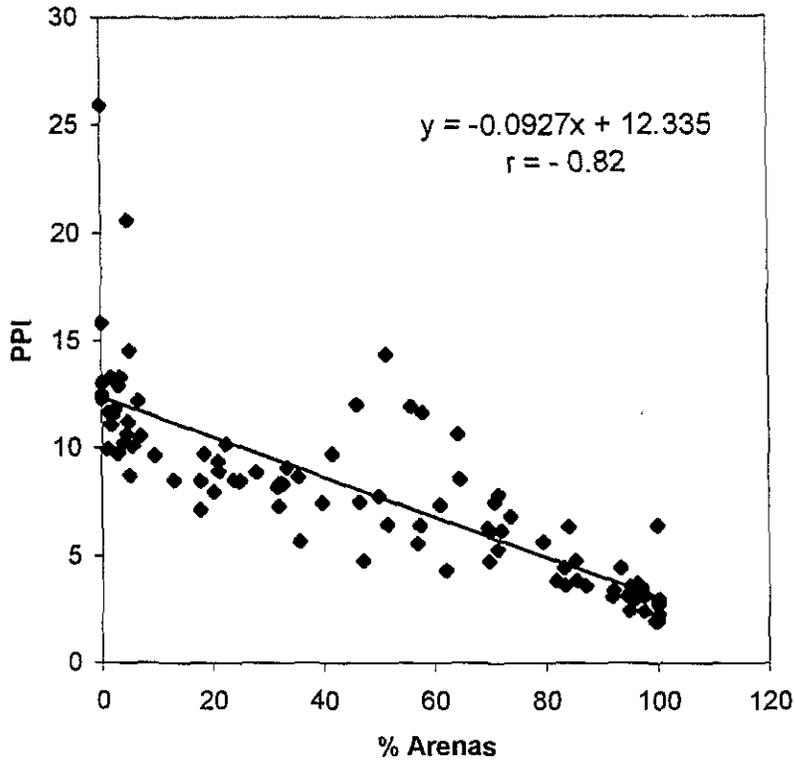


Fig. 6.3.1.- Contenido de arenas (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

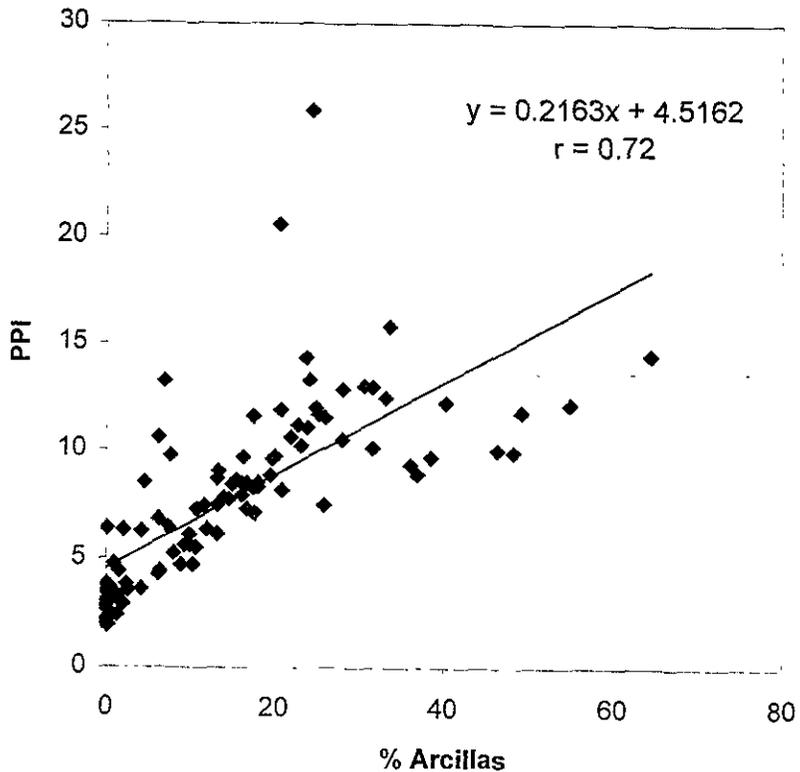


Fig. 6.3.2.- Contenido de arcillas (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

Para el Estero de Urías, el valor promedio de pérdidas por ignición obtenido fue de 11.42%, con una desviación estándar de 6.31% y con valores mínimo de 2.37%, ubicado en la estación M-5 de la región aguas intermedias y máximo de 30.06%, ubicado en la estación H-5 del Estero Infiernillo, (Anexo IV; Anexo VI). Los valores más altos se registraron en el Estero Infiernillo y los menores en la bahía, de acuerdo a los siguientes promedios para las diferentes regiones: bahía, 4.6%; aguas intermedias, 7.95%; región portuaria, 8.76%; aguas arriba, 13.51% y Estero Infiernillo, 16.56% (Tabla 5; Anexo IV). Puede observarse un comportamiento muy parecido con respecto a la distribución de carbono orgánico en este mismo cuerpo de agua, disminuyendo desde la cabeza lagunar hacia la boca del sistema.

El porcentaje promedio de pérdidas por ignición para la región aguas arriba presentó diferencias significativas con el promedio de las regiones aguas intermedias y la bahía, ésta última presentó diferencias con el Estero Infiernillo y éste con la región aguas intermedias. De acuerdo con lo anterior, las pérdidas por ignición promedio de las regiones aguas arriba y Estero Infiernillo son significativamente mayores que el porcentaje promedio de las regiones aguas intermedias y bahía y estadísticamente comparables entre sí, de la misma manera en que lo son entre sí las regiones aguas intermedias y bahía (Tabla 5).

De la misma manera que en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, en el Estero de Urías también el tamaño medio de grano ($M\phi$) presenta correlación significativa con las pérdidas por ignición con un coeficiente r igual a 0.80, mayor que el coeficiente de correlación presentado con respecto a la materia orgánica que es de 0.68, ambos significativos al 95% (Fig. 6.3.4; Tabla 8). Las pérdidas por ignición presentan un coeficiente de correlación negativo con respecto al porcentaje de arenas igual a -0.83 y un coeficiente positivo de 0.79 con respecto al porcentaje de arcillas (Fig. 6.3.5 y 6.3.6; Tabla 8). Los puntos que no siguen la línea de tendencia en estas gráficas, son en general los mismos que en gráficas anteriores y pertenecen a la región aguas arriba y Estero Infiernillo.

En el Estero de Urías las pérdidas por ignición presentaron un coeficiente de correlación positivo igual a 0.88 con respecto al porcentaje de carbono orgánico, mayor que el presentado para el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, el cual fue de

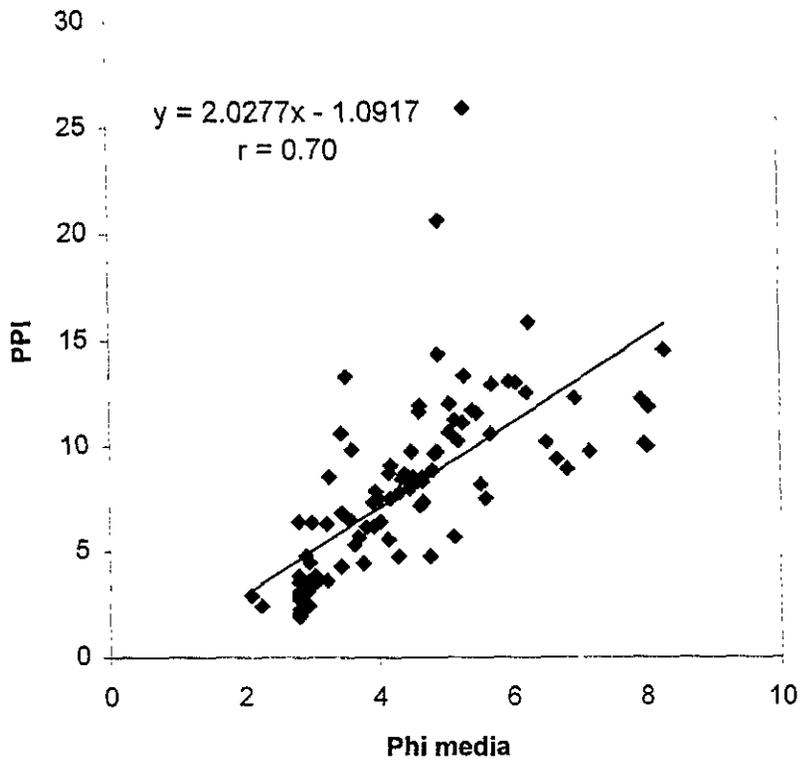


Fig.6.3.3.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

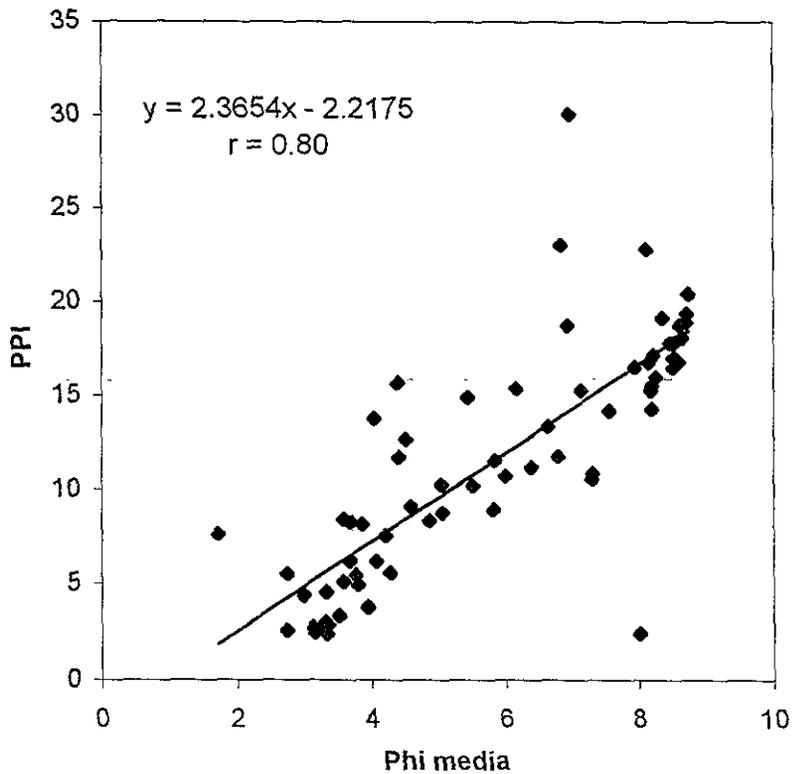


Fig. 6.3.4.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos del Estero de Urías.

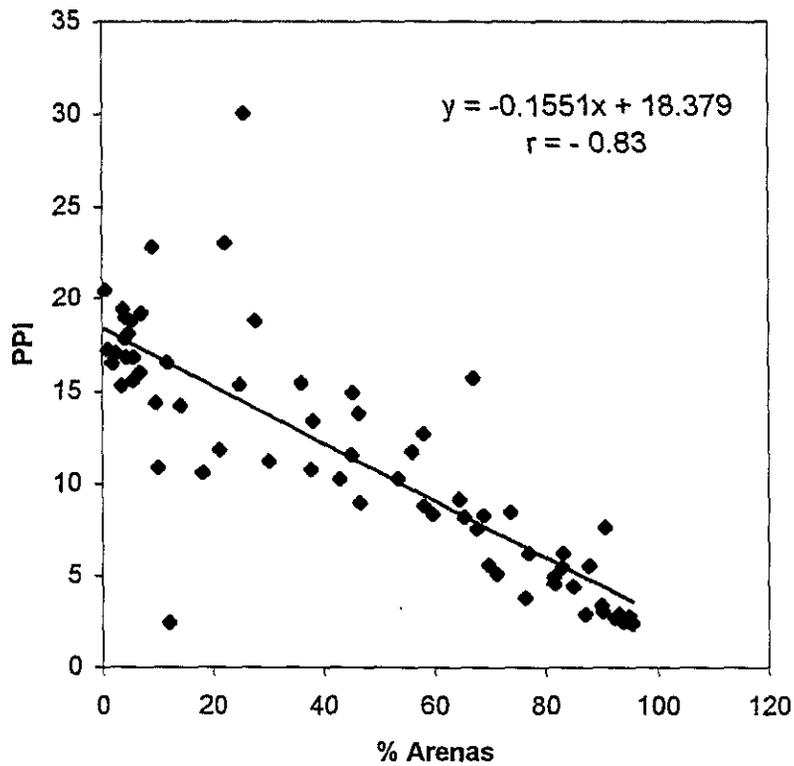


Fig. 6.3.5.- Contenido de arenas (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos del Estero de Urías.

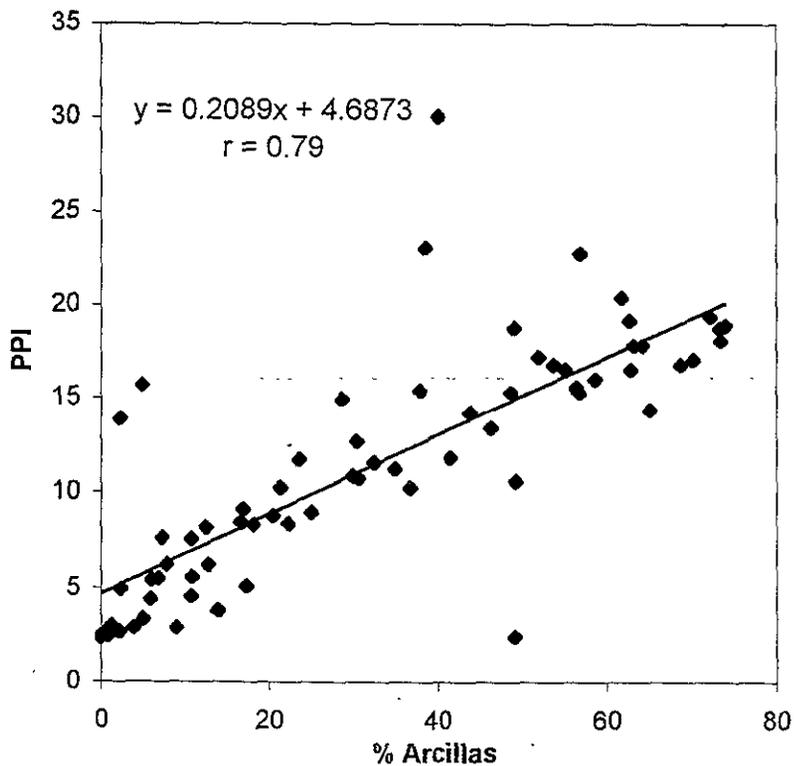


Fig. 6.3.6.- Contenido de arcillas (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos del Estero de Urías.

0.77 (Fig. 6.3.7). Cabe mencionar que de las regiones en que fue dividido el Estero de Urías, sólo en la región portuaria y la bahía no se obtuvo una correlación significativa entre estos dos parámetros, mientras que en el resto de las regiones se presentaron correlaciones significativas incluso mayores a la obtenida para el sistema lagunar en su totalidad. Los valores de los coeficientes r presentados fueron: Aguas arriba, $r = 0.82$; Aguas intermedias, $r = 0.96$ y para el Estero Infiernillo, $r = 0.93$ (Fig. 6.3.8, 6.3.9 y 6.3.10).

Las pérdidas de peso por calentamiento en arcillas han sido estudiadas desde hace tiempo (Grim, 1953), algunos tipos de arcillas al someterse a elevadas temperaturas liberan agua, la cual al ser incluida en las pérdidas por ignición originan un error en la estimación de materia orgánica por esta técnica. Los resultados de pérdidas por ignición pueden conducir a interpretaciones erróneas cuando se analiza la variación del material orgánico en muestras con una proporción variable de arcillas. Además de las proporciones variables de arcillas que pierden agua a elevadas temperaturas, las muestras de sedimento entre sí, pueden carecer de correlación entre pérdidas por ignición y carbono orgánico, debido a la diferencia de proporciones de carbono y demás elementos volátiles que componen a la materia orgánica (Páez-Osuna *et al.*, 1984), lo que podría ser el caso de las regiones Río Culiacán y suelos agrícolas en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, y de la región portuaria y la bahía en el Estero de Urías, regiones donde no se presentó correlación significativa entre estos parámetros.

Evaluando ambos sistemas lagunares en su totalidad se observa que la concentración promedio de la materia orgánica evaluada como pérdidas por ignición de los sedimentos del Estero de Urías presenta valores significativamente mayores que el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, lo cual coincide con la comparación del contenido de carbono orgánico por titulación entre ambos cuerpos de agua (Tabla 1).

Con el objetivo de establecer si se trata de sedimentos contaminados, el Departamento Pesquero de Canadá (Thomas y Mudroch, 1979) ha adoptado criterios de aceptabilidad para el desecho de materiales de dragado en el mar y entre los parámetros que enlistan están las pérdidas por ignición; de manera que todo material cuya concentración sea menor a 5% de pérdidas por ignición se considera libre de polución, con 5-8% de pérdidas por ignición se considera moderadamente contaminado, mientras que con porcentajes superiores a 8% de pérdidas por ignición en sedimentos, éstos se

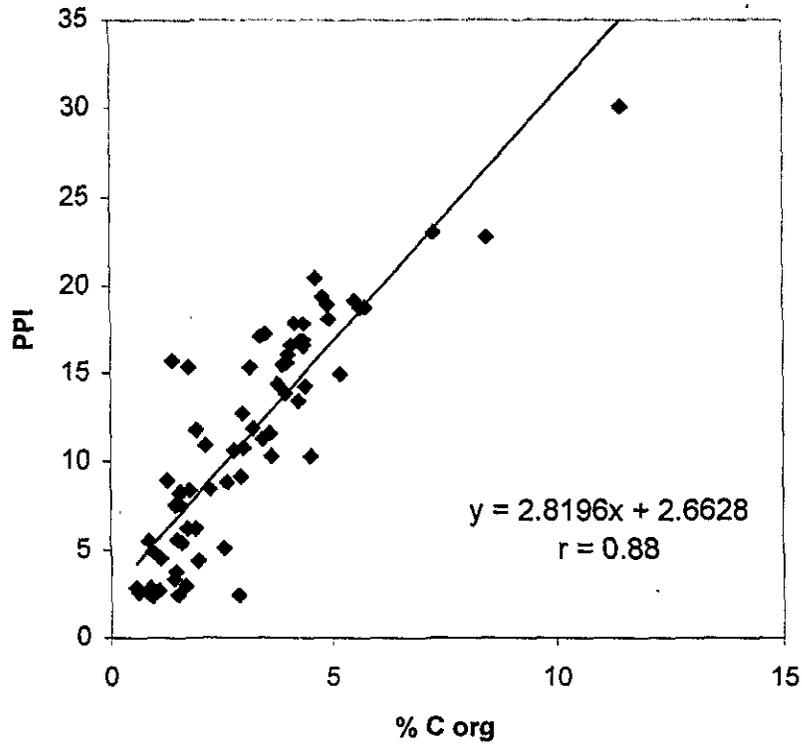


Fig. 6.3.7.- Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos del Estero de Urías.

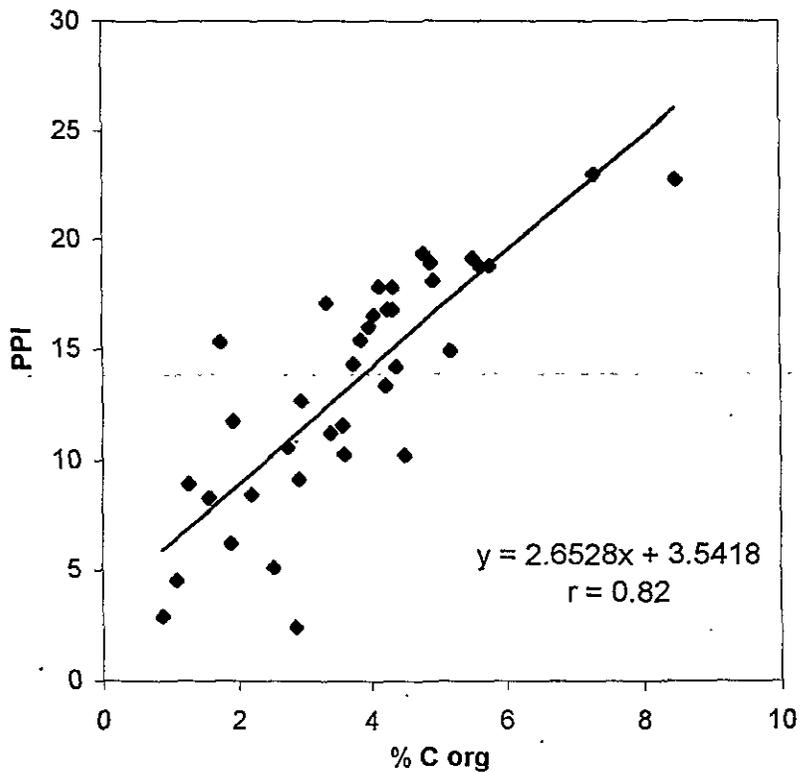


Fig. 6.3.8.- Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región aguas arriba del Estero de Urías.

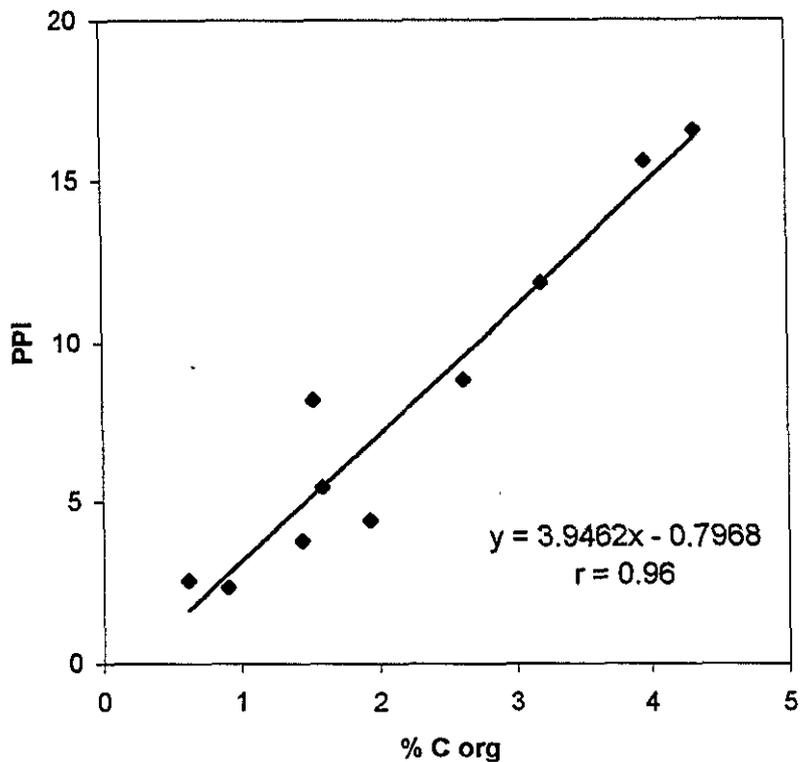


Fig. 6.3.9.- Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región aguas intermedias del Estero de Urías.

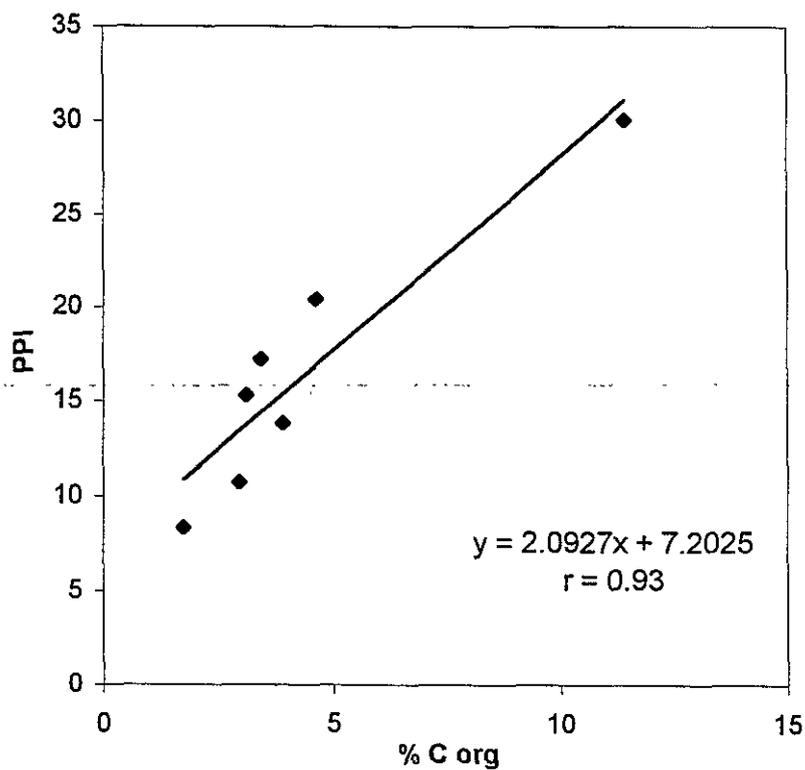


Fig. 6.3.10.- Contenido de carbono orgánico (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de la región Estero Infiernillo del Estero de Urías.

clasifican como fuertemente contaminados. Aplicando la clasificación anterior a los resultados obtenidos en este estudio para las pérdidas por ignición, se tiene que se consideran sedimentos fuertemente contaminados una gran extensión del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, abarcando casi la totalidad de la región de Ensenada del Pabellón, la boca de la laguna de Chiricahueto y la zona estuarina del Río Culiacán, mientras que los sedimentos clasificados como libres de polución se distribuyeron en la bahía de Altata, en ambas bocas del sistema y a lo largo de la península Lucernilla, zonas donde se presentan los sedimentos más gruesos. Por otro lado, en el Estero de Urías, una amplia zona que incluye el Estero Infiernillo, parte de la región de aguas intermedias y casi la totalidad de la región aguas arriba es considerada como fuertemente contaminada, mientras que se consideran libres de polución los sedimentos de una parte de la región aguas intermedias y la zona conocida como Estero El Caimán.

6.4 Carbonatos

En las figuras 6.4.1 y 6.4.2 se ilustra la distribución de la concentración de carbonatos (como carbonato de calcio) en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón y el Estero de Urías, respectivamente. Se observa para Altata-Ensenada del Pabellón que la mayor parte de la laguna presenta concentraciones menores que 7%, con concentraciones entre 7 y 11% en la sección central de la región Ensenada del Pabellón. Por otra parte, el Estero de Urías presenta concentraciones mayores que 11% en la zona de la bahía y frente a la termoeléctrica, presentando el resto del sistema lagunar concentraciones que van de 3 a 7 %.

Para el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, el valor promedio del contenido de carbonato de calcio en los sedimentos fue de 7.63%, con una desviación estándar de 8.51%, siendo el valor mínimo de 1.35% perteneciente a la estación E-4, del Río Culiacán, en tanto que el valor máximo fue de 48.9% localizado en la estación AP-61 de la región Ensenada del Pabellón, situado cerca de Punta Coyotes (Anexo V). Precisamente Ensenada del Pabellón viene a ser la sección que presenta varios "parches" con elevadas concentraciones en este cuerpo lagunar. Las concentraciones promedio para las distintas regiones, de menor a mayor fueron las siguientes: Río

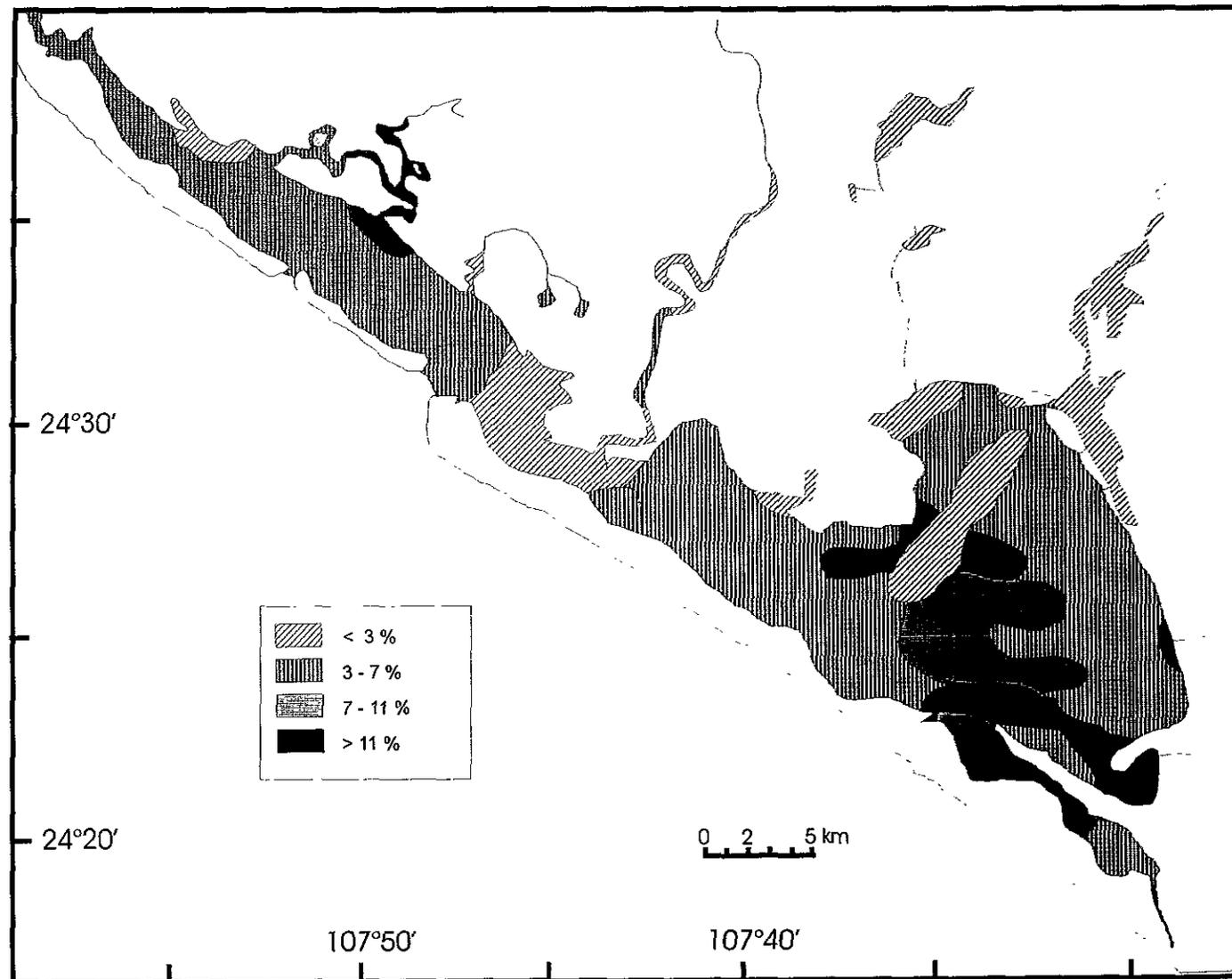


Fig. 6.4.1 Distribución de la concentración de carbonatos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

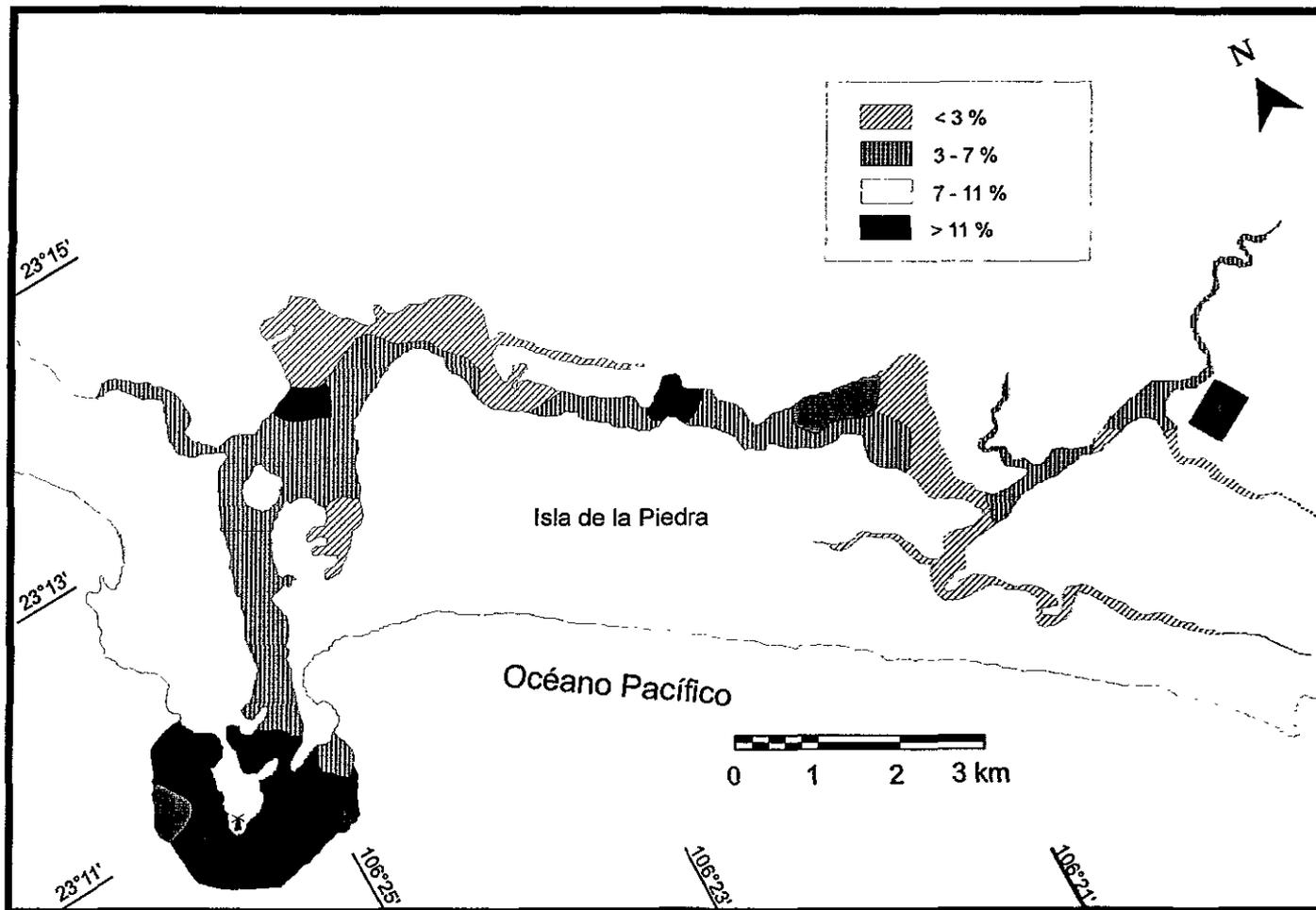


Fig. 6.4.2 Distribución de la concentración de carbonato de calcio en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.

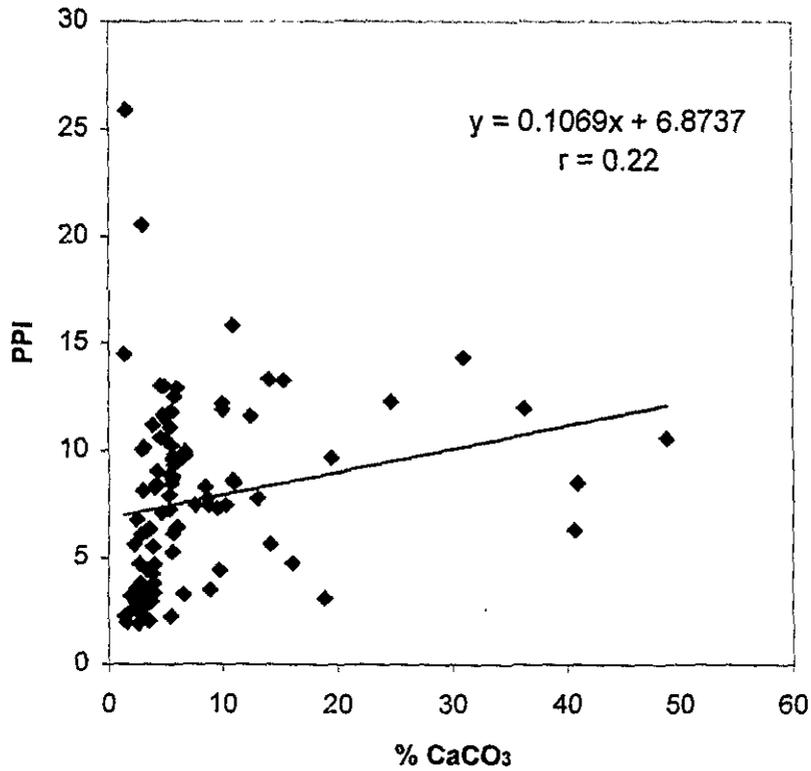
Culiacán, 2.86%; suelos agrícolas, 3.42%; Altata, 3.55%; lagunas interiores, 8.16% y Ensenada del Pabellón, 9.12% (Tabla 3; Anexo III).

Se encontró diferencia significativa entre los valores promedio de carbonato de calcio en los sedimentos de la región lagunas interiores y las regiones Río Culiacán y Altata, mostrando que los porcentajes de carbonato de calcio en las lagunas interiores son significativamente mayores que los obtenidos en el Río Culiacán y la bahía de Altata. Por otro lado, el ejercicio estadístico muestra que las concentraciones promedio de carbonato de calcio en los sedimentos de las regiones Ensenada del Pabellón y las lagunas interiores son significativamente comparables entre sí al igual que las concentraciones promedio de carbonato de calcio en los sedimentos de las regiones de Altata, Río Culiacán y suelos agrícolas, lo que quiere decir que estas regiones presentan niveles muy parecidos (Tabla 3).

En este sistema lagunar llama la atención el hecho de que el contenido de carbonatos no presente ningún tipo de correlación significativa con ninguno de los parámetros evaluados, a excepción de las pérdidas por ignición, con las cuales presenta una correlación baja aunque significativa al 95%, de $r = 0.22$ (Fig. 6.4.3; Tabla 7).

Para el Estero de Urías, el valor promedio del contenido de carbonato de calcio fue de 6.55%, con una desviación estándar de 6.59%, siendo el valor mínimo de 0.95% perteneciente a la estación S-8 ubicado en el estero El Caimán de la región aguas arriba, en tanto que el valor máximo fue de 39.04% localizado en la estación UR-EXT de la región portuaria, (Anexo IV; Anexo VI). Las concentraciones promedio para las distintas regiones, de menor a mayor fueron las siguientes: aguas intermedias, 3.87%; aguas arriba, 4.27%; Estero Infiernillo, 4.51%; bahía, 15.04% y región portuaria, 16.65% (Tabla 5; Anexo IV). Se puede observar que los porcentajes menores de carbonato de calcio se encuentran en las regiones que presentaron los tamaños de grano más pequeños, mientras que las regiones con mayor porcentaje de carbonatos se caracterizan por poseer sedimentos más gruesos.

El valor promedio de carbonato de calcio en los sedimentos de la región aguas arriba presentó diferencias significativas con la región portuaria y la bahía, mientras que esta última región presentó diferencias con el Estero Infiernillo y las aguas intermedias,



6.4.3.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra pérdidas por ignición (%) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

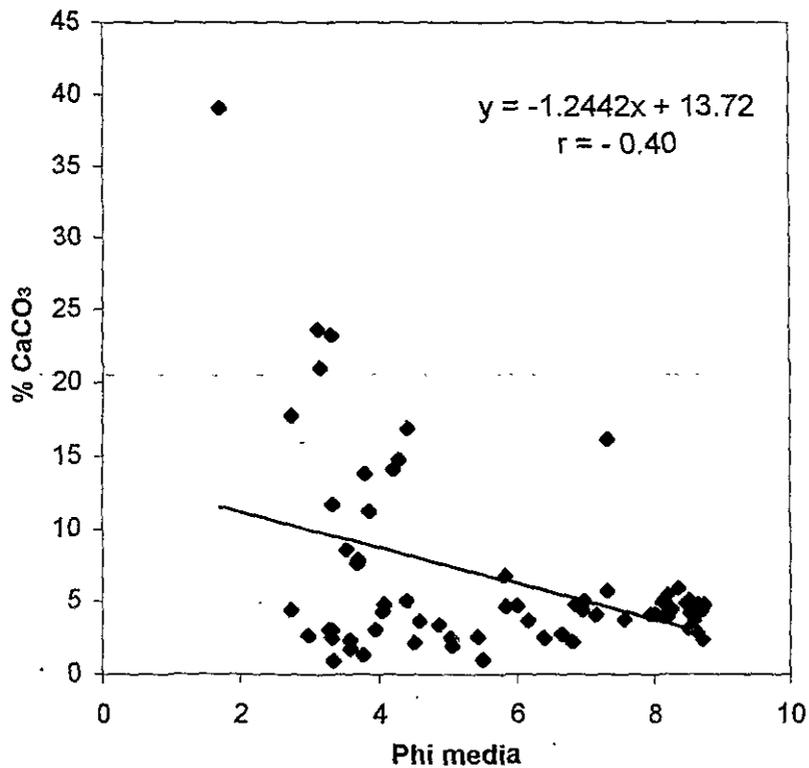


Fig. 6.4.4.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra carbonato de calcio (%) en sedimentos del Estero de Urías.

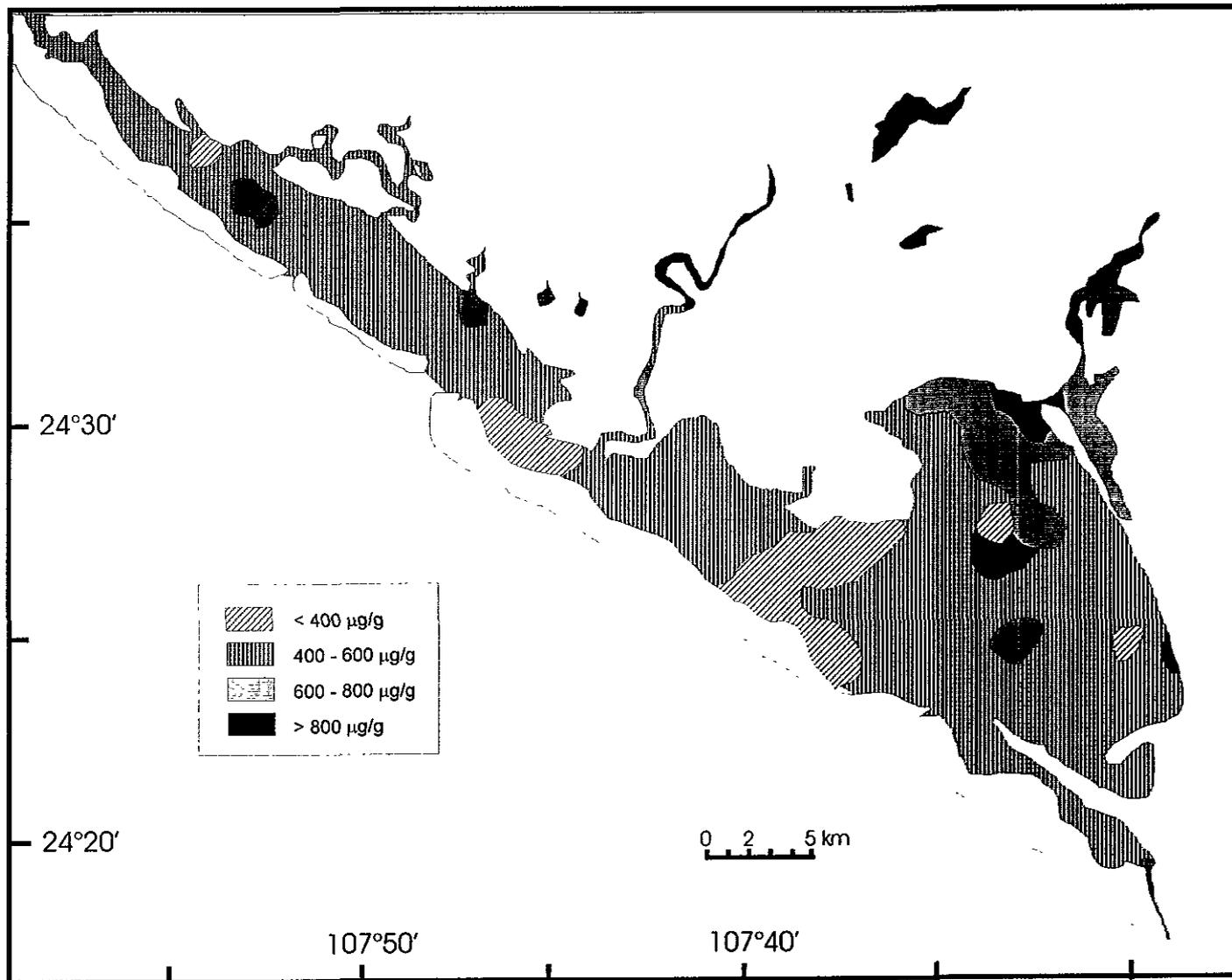


Fig. 6.5.1 Distribución de la concentración de fósforo total en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

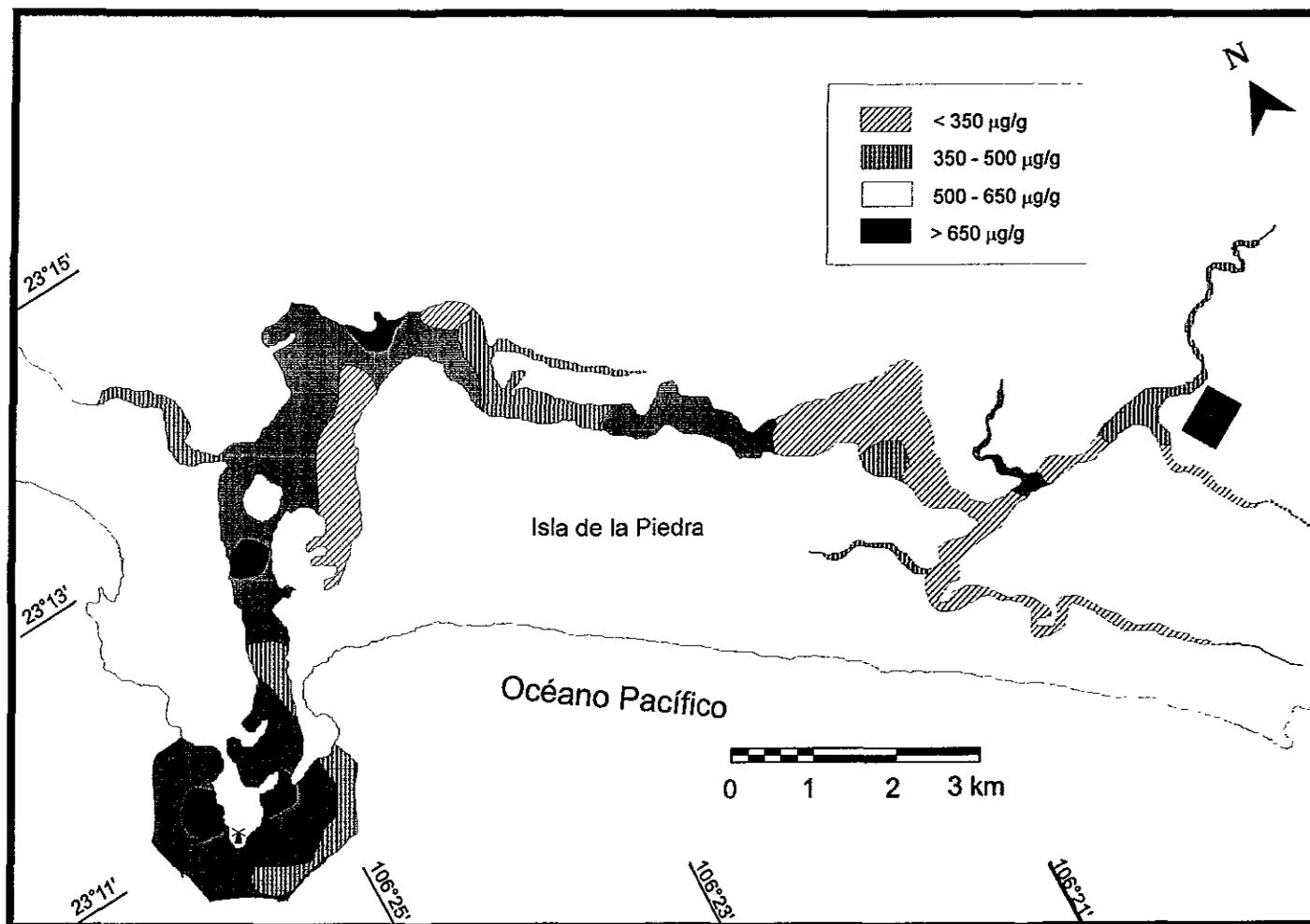


Fig. 6.5.2 Distribución de la concentración de fósforo total en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.

más elevadas. Mientras que en el Estero de Urías la concentración de fósforo total va aumentando desde el interior hacia la boca, donde se encuentran concentraciones mayores que 500 µg/g.

La concentración de fósforo total en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón osciló entre 268 y 1389 µg/g de sedimento, con una concentración promedio de 542 µg/g de sedimento y una desviación estándar de 180 (Anexo III). La concentración menor se encontró en la estación AP-50, perteneciente a la región Ensenada del Pabellón y la concentración mayor en la estación AP-1, situada en la boca de la laguna de Chiricahueto perteneciente a la región lagunas interiores (Anexo V). La concentración promedio de fósforo total en los sedimentos superficiales para las diferentes regiones fue como sigue: Ensenada del Pabellón, 491 µg/g; Altata, 508 µg/g; suelos agrícolas, 646 µg/g; Río Culiacán, 647 µg/g y lagunas interiores, 678 µg/g (Tabla 3; Anexo III). Como puede observarse, la región de las lagunas interiores presenta la mayor concentración de fósforo total en el sistema lagunar, lo que puede explicarse mediante el hecho de que en estas lagunas (Bataoto, Caimanero, Chiricahueto) se reciben las aguas de los drenes agrícolas, además de los efluentes residuales de los dos ingenios azucareros de la zona, y estas mismas lagunas parecen ser responsables de los altos valores de fósforo total encontrados en su desembocadura hacia la región de Ensenada del Pabellón, ya que su patrón de distribución así lo indica.

La concentración promedio de fósforo total para los sedimentos de la región de Altata presentó niveles significativamente menores con respecto a la concentración promedio para la región lagunas interiores; así como también se observó una diferencia significativa entre la región Ensenada del Pabellón y las regiones lagunas interiores, Río Culiacán y suelos agrícolas, por lo que se puede observar que las concentraciones promedio de fósforo total en los sedimentos de estas últimas tres regiones son estadísticamente comparables entre sí, es decir, poseen concentraciones comparables de fósforo total y significativamente mayores que la concentración promedio en los sedimentos de la región Ensenada del Pabellón. Las concentraciones de fósforo total en los sedimentos de las regiones de Altata y Ensenada del Pabellón no presentaron diferencias significativas entre sí (Tabla 3).

El fósforo total presenta una correlación significativa con el porcentaje de arcillas igual a 0.30 y con el tamaño medio de grano de 0.34, lo que sugiere que el fósforo en su totalidad tiene afinidad por las partículas finas (Fox, 1986 en Fox *et al.*, 1989). Con el porcentaje de carbono orgánico y con las pérdidas por ignición presenta una correlación igual a 0.24, significativa al 95% (Fig. 6.5.3, 6.5.4, 6.5.5 y 6.5.6; Tabla 7). Los puntos más alejados de la línea de tendencia en estas gráficas, pertenecen a las estaciones ubicadas en la boca de la laguna de Chiricahueto y algunas del Río Culiacán y suelos agrícolas.

Con respecto a las regiones en las cuales fue dividido el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, el fósforo total presentó correlación significativa positiva con respecto al carbonato de calcio en la región lagunas interiores, con una $r = 0.70$ y en la región de Altata con una $r = 0.73$. En la región Ensenada del Pabellón, el fósforo total se correlacionó positivamente con el porcentaje de arcillas y con el tamaño medio de grano ($M\phi$), ambos con una $r = 0.35$ (Fig. 6.5.7, 6.5.8, 6.5.9 y 6.5.10).

La concentración de fósforo total en los sedimentos superficiales del Estero de Urías osciló entre 177 y 2774 $\mu\text{g/g}$ de sedimento, con una concentración promedio de 492 $\mu\text{g/g}$ de sedimento y una desviación estándar de 336 (Anexo IV). La concentración menor se encontró en la estación S-1, situada muy cercana a la granja camaronícola "La Clementina", perteneciente a la región denominada aguas arriba del Estero de Urías y la concentración mayor en la estación S-22, localizándose ésta en la región portuaria (Anexo VI). Las concentraciones promedio para las diferentes regiones fueron las siguientes: aguas arriba, 397 $\mu\text{g/g}$; Estero Infiernillo, 421 $\mu\text{g/g}$; aguas intermedias, 465 $\mu\text{g/g}$; bahía, 589 $\mu\text{g/g}$ y región portuaria, 1329 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 5; Anexo IV).

Las regiones que presentaron diferencias significativas entre las concentraciones medias de fósforo total fueron: la región aguas arriba presentó niveles significativamente menores con respecto a las concentraciones promedio de la región portuaria y la bahía. Mientras que la región portuaria presentó diferencias significativas con las regiones aguas intermedias, aguas arriba, Estero Infiernillo y bahía. Estas dos últimas regiones también presentaron diferencias significativas entre sí, resultando significativamente mayores las concentraciones promedio de fósforo total para la región de la bahía. De lo anterior puede observarse que la concentración promedio de fósforo total en la región portuaria es significativamente mayor que la del resto de las regiones, mientras que las regiones

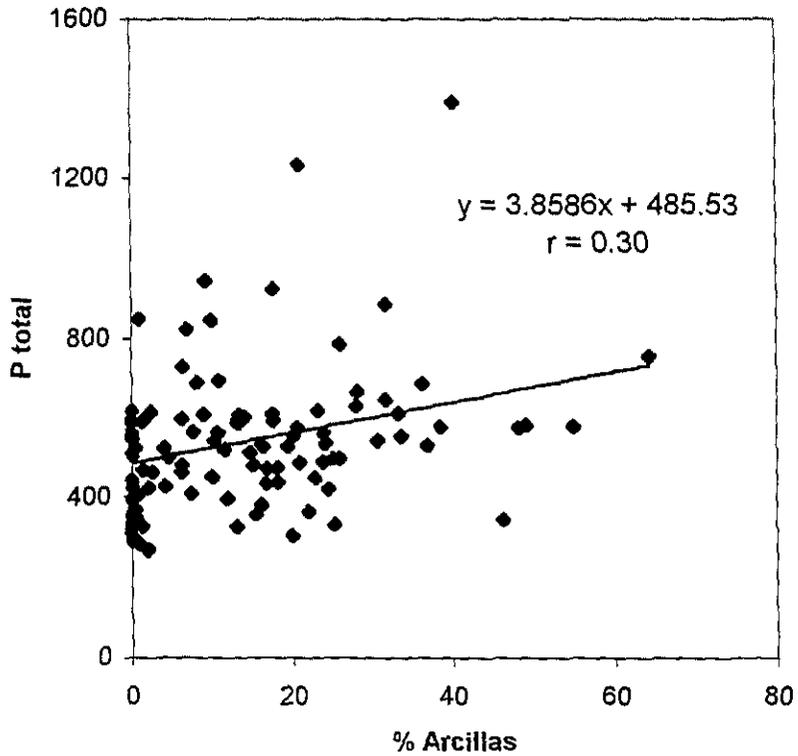


Fig. 6.5.3.- Contenido de arcillas (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

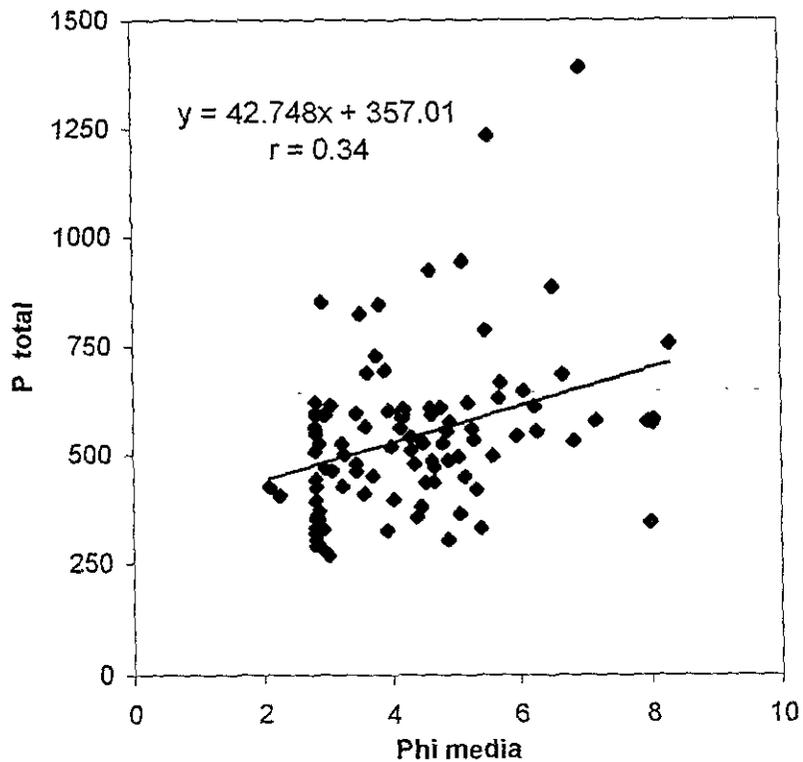


Fig. 6.5.4.- Tamaño promedio de grano (ϕ) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

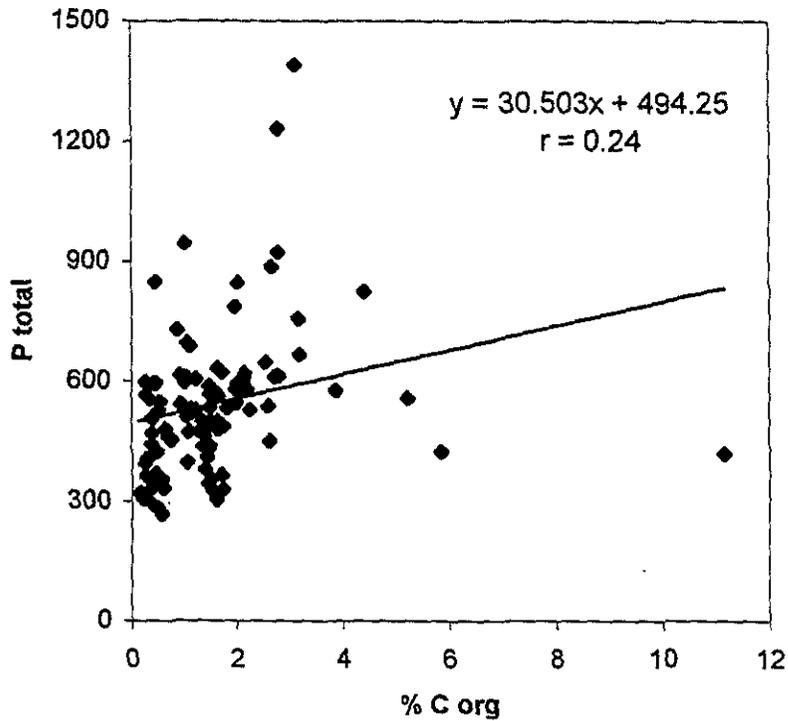


Fig. 6.5.5.- Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

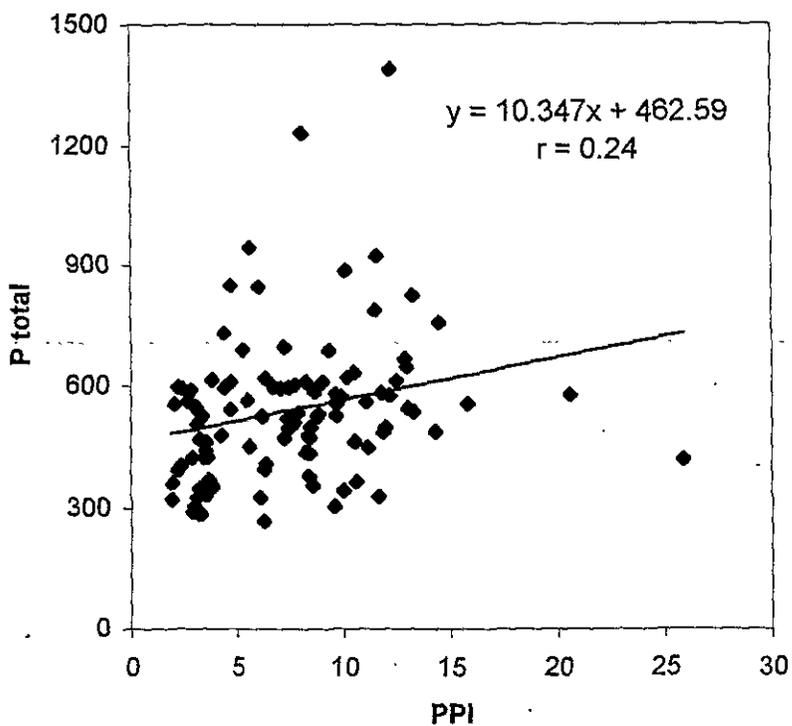


Fig. 6.5.6.- Pérdidas por ignición (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

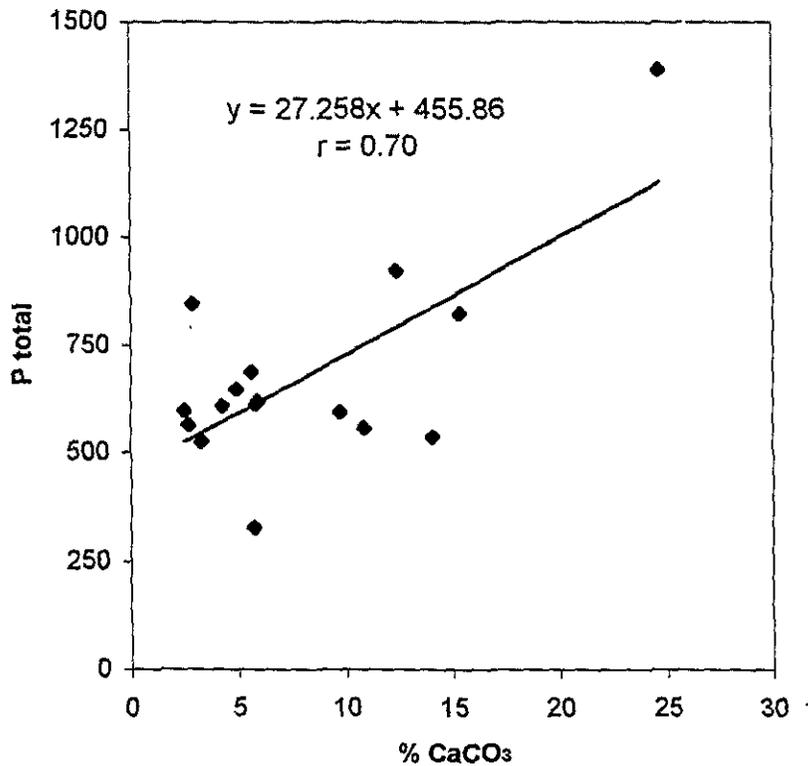


Fig. 6.5.7.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total (μg/g) en sedimentos de la región lagunas interiores de Altata-Ensenada del Pabellón.

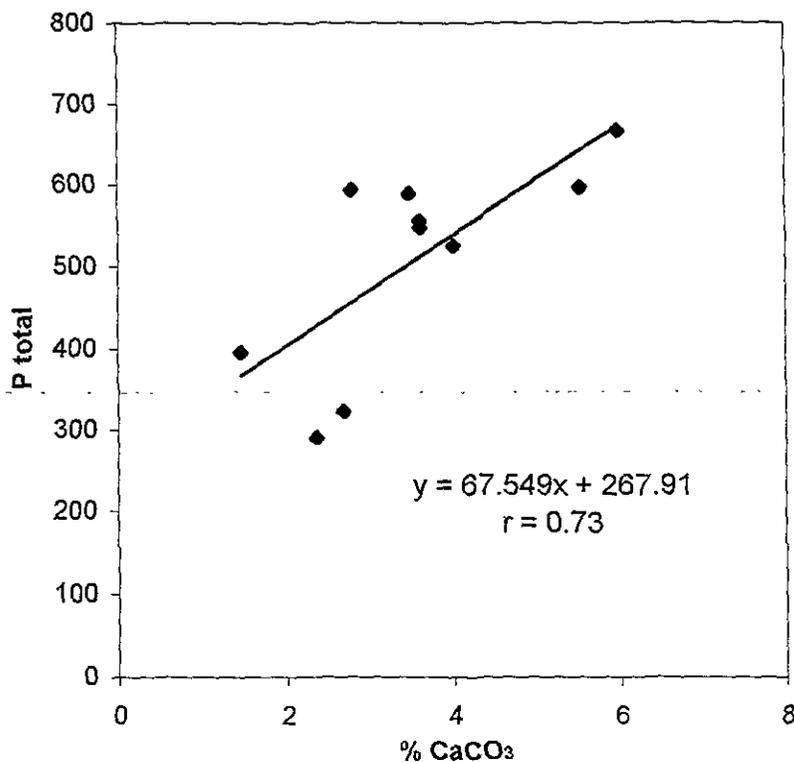


Fig. 6.5.8.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total (μg/g) en sedimentos de la región Altata de Altata-Ensenada del Pabellón.

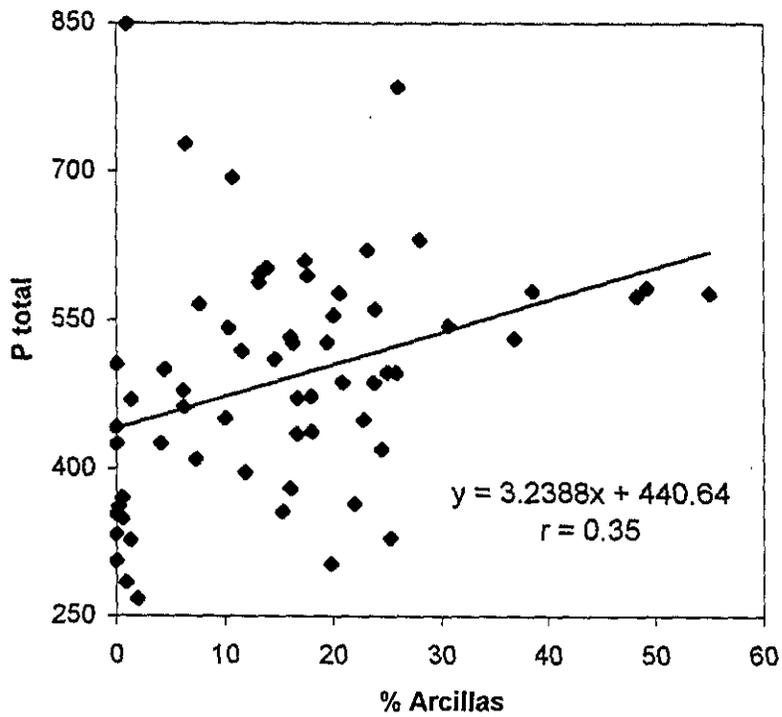


Fig. 6.5.9.- Contenido de arcillas (%) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Ensenada del Pabellón de Altata-Ensenada del Pabellón.

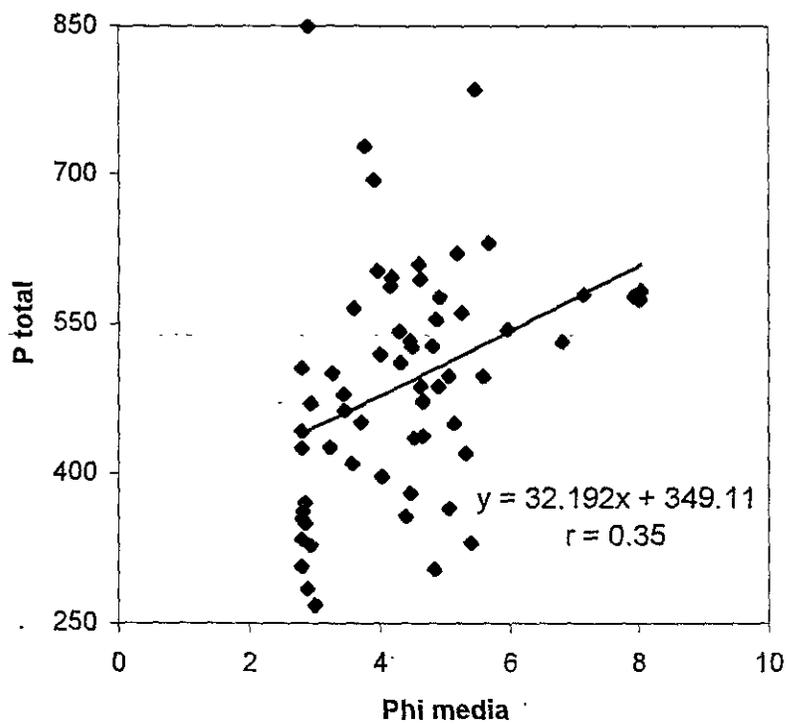


Fig. 6.5.10.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo total ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Ensenada del Pabellón de Altata-Ensenada del Pabellón.

aguas arriba, aguas intermedias y Estero Infiernillo son estadísticamente comparables entre sí en cuanto a su concentración promedio de fósforo total (Tabla 5).

La concentración de fósforo total en los sedimentos del sistema lagunar de Urías presenta una correlación significativa de 0.39 con el porcentaje de carbonato de calcio, lo cual sugiere que el fósforo está siendo controlado de manera importante por las formas carbonatadas. Esto también indica la presencia de restos de organismos con esqueletos calcáreos carbonatados (Fig. 6.5.11; Tabla 8). En esta gráfica hay un punto muy alejado de la línea de tendencia, pertenece a la Estación S-22, ubicada en la región portuaria y para el cual se obtuvieron valores exageradamente altos de fósforo total e inorgánico. Con respecto a las regiones en que fue dividido el sistema lagunar para su estudio, se observa que para las regiones aguas arriba y bahía, el fósforo total también presenta correlaciones significativas con respecto al carbonato de calcio, para las cuales se obtuvieron $r = 0.36$ y $r = 0.80$, respectivamente. (Fig. 6.5.12 y 6.5.13). Mientras que en la región aguas intermedias, el fósforo total presenta un coeficiente de correlación positivo de $r = 0.76$ con respecto al porcentaje de limos (Fig. 6.5.14). En estas gráficas, los puntos que no siguen la línea de tendencia, se encuentran asociados a la termoeléctrica, mientras que otros se ubican frente a las aguas de descarga de la misma.

Comparando ambos sistemas lagunares en su totalidad se encontró diferencia significativa entre sus concentraciones promedio de fósforo total, por lo que puede decirse que los sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón presentan niveles significativamente mayores con relación a la concentración promedio de fósforo total en los sedimentos superficiales del Estero de Urías. (Tabla 1). Lo anterior podría indicar que el aporte de fósforo a través de la agricultura supera al aporte por las descargas domésticas e industriales que predominan en el sistema del Estero de Urías.

De acuerdo a los criterios de aceptabilidad para el desecho de materiales de dragado en el mar, adoptados por el Departamento Pesquero de Canadá (Thomas y Mudroch, 1979) con el fin de establecer si se trata de sedimentos contaminados, entre los parámetros que incluyen se encuentra el fósforo total, de manera tal que se considera que todo material cuya concentración sea menor a 420 ppm de fósforo se encuentra libre de contaminación, con 650 ppm de fósforo se encuentra moderadamente contaminado, mientras que con valores superiores a 650 ppm de fósforo total se clasifica como fuertemente

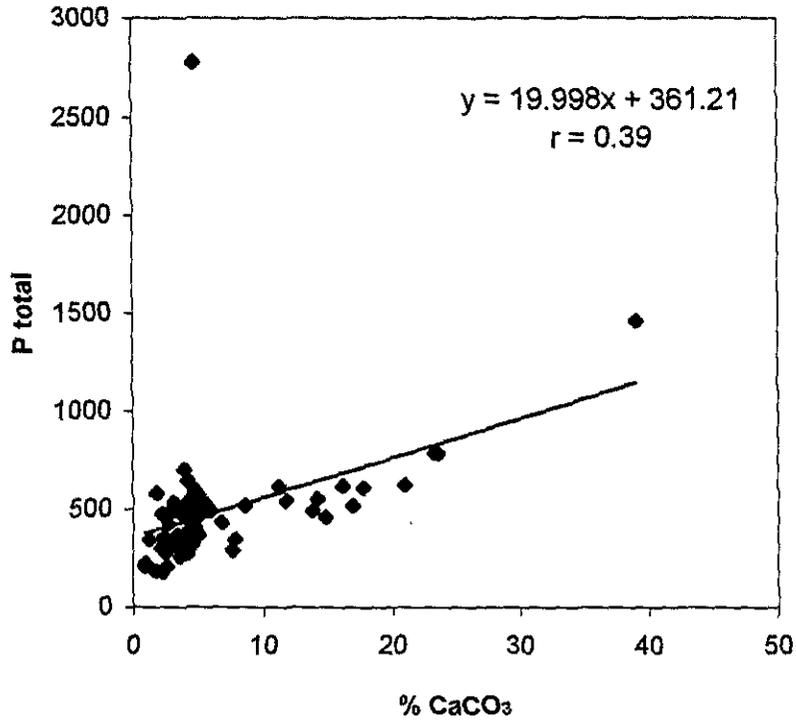


Fig. 6.5.11.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total (µg/g) en sedimentos del Estero de Urías.

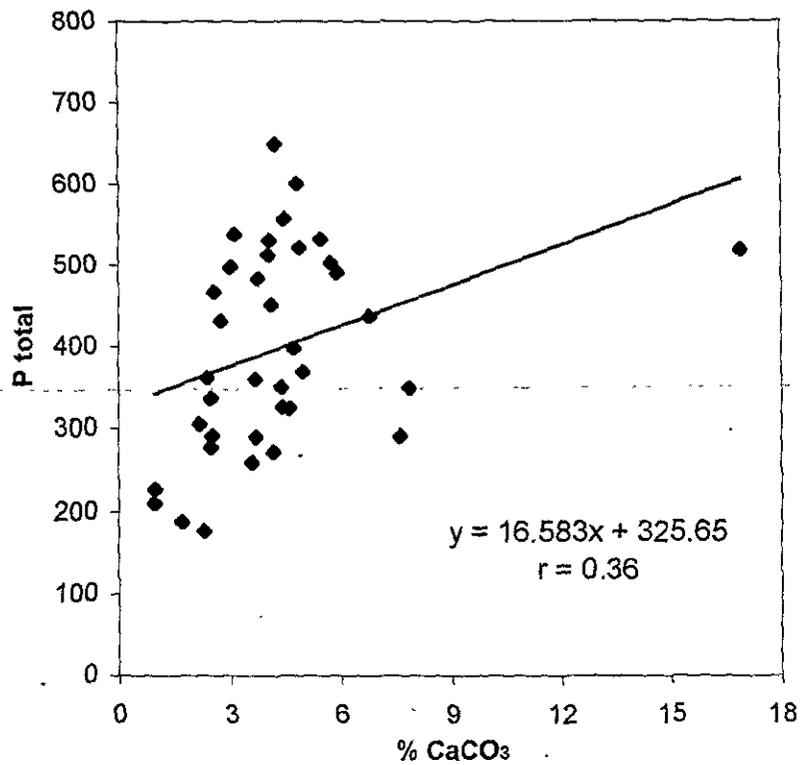


Fig. 6.5.12.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total (µg/g) en sedimentos de la región aguas arriba del Estero de Urías.

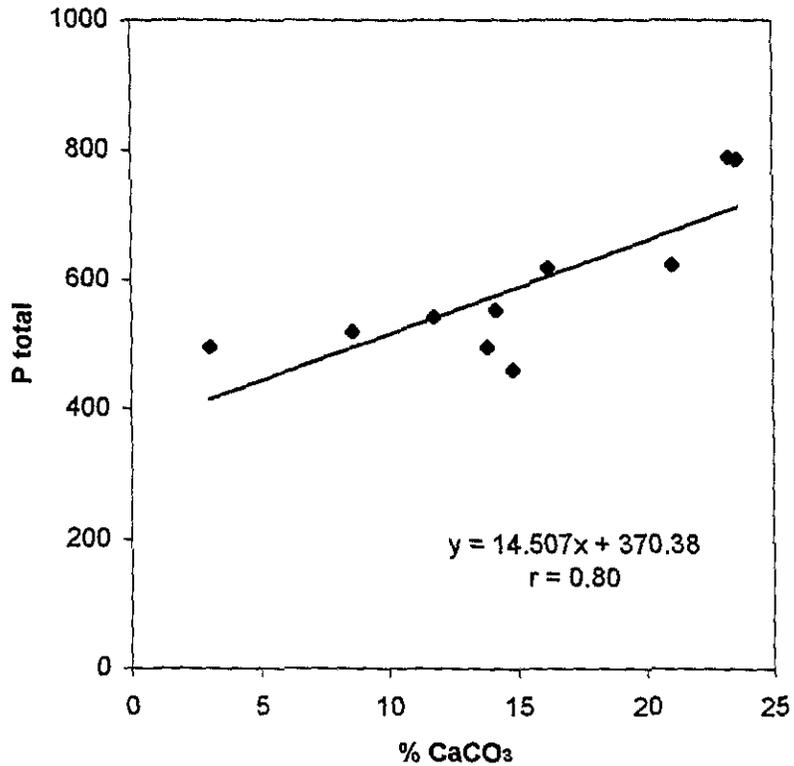


Fig. 6.5.13.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo total (µg/g) en sedimentos de la bahía del Estero de Urías.

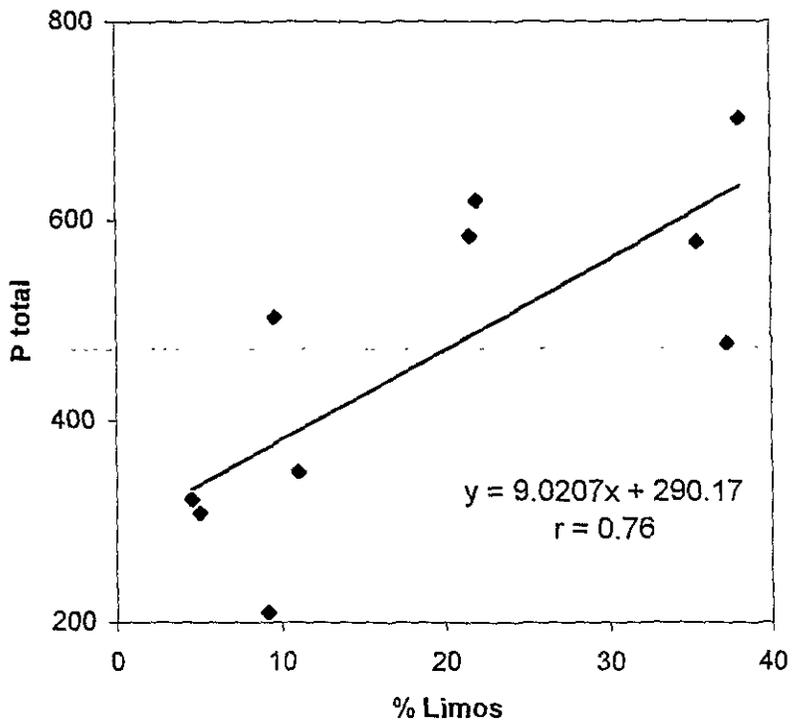


Fig. 6.5.14.- Contenido de limos (%) contra fósforo total (µg/g) en sedimentos de la región aguas intermedias del Estero de Urías.

contaminado. De acuerdo a lo anterior y tomando en cuenta las concentraciones de fósforo total obtenidas en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, pueden considerarse libres de polución los sedimentos de una parte de Ensenada del Pabellón y una región cercana a la boca Tonina. Mientras que están clasificados como fuertemente contaminados los sedimentos de algunas zonas del estuario del Río Culiacán y de las lagunas de Caimanero, Bataoto y Chiricahueto y sus proximidades, lugares donde se reciben aguas de los drenes agrícolas, (éstas últimas dos lagunas también reciben los efluentes residuales de los dos ingenios azucareros de la zona), así como también el estero El Tigre, algunos puntos localizados en la parte central de la región Ensenada del Pabellón y una estación cercana a la boca Gavilán. El resto del sistema lagunar cae en la clasificación de moderadamente contaminado. Por otro lado, en el Estero de Urías se presentan sedimentos libres de polución en gran parte de la cabeza lagunar y en una amplia zona de las aguas intermedias, presentando sedimentos moderadamente inficionados en el resto del sistema, con zonas muy localizadas clasificadas como fuertemente contaminadas como lo son las estaciones asociadas al emisor de aguas negras, dos estaciones de la región portuaria (S-22 y UR-EXT) que presentaron valores anómalos para algunos parámetros y la estación S-15, asociada a una planta productora de harina de pescado.

6.6 Inventario de fósforo

Para tener una visión más amplia de las cantidades de fósforo encontradas en ambos sistemas lagunares se elaboró un inventario del fósforo total en cada una de las regiones en que fueron divididas ambas lagunas, tomando en cuenta la concentración promedio de fósforo total y el área aproximada de cada región, como se muestra de manera resumida en las Tablas 10 y 11.

De esta manera se tiene que en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, en la región Ensenada del Pabellón es donde se encuentra el mayor porcentaje de fósforo depositado con respecto al total, ello es debido a la extensión de la zona. Aunque por otro lado, es la región con menor cantidad de fósforo por unidad de área. Por el contrario, el Río Culiacán es la región que presenta la mayor cantidad de fósforo por unidad de área (18.7 ton P/km²), y ello se debe seguramente a que el río recibe las aguas de desecho de

la ciudad de Culiacán. Dichas aguas son descargadas sin recibir tratamiento alguno y resultan de una población alrededor de los 650 mil habitantes, además de las descargas industriales diversas que se suman. Las lagunas interiores que captan las aguas de los drenes agrícolas presentan un valor comparable (18.4 ton P/km²). Por su parte, los suelos agrícolas presentan una alta cantidad de fósforo por unidad de área, 26.9 ton P/km², seguramente debido al empleo continuo de fertilizantes.

En el Estero de Urías, la región en la que se acumuló la mayor parte del fósforo fue la región portuaria, tal vez debido a que una de las muestras resultó con valores muy elevados (un orden de magnitud por encima de la concentración más alta de fósforo total en todo el sistema lagunar). Aún omitiendo esa estación (los nuevos valores se muestran entre paréntesis en la Tabla 11), la región portuaria sigue siendo la que presenta la mayor cantidad de fósforo total por unidad de área. La región que le sigue en magnitud es la bahía, debido muy probablemente a que estas muestras se encuentran influenciadas por el emisor de aguas negras ubicado en esta área adyacente a la boca del sistema lagunar. La región denominada aguas arriba presentó el valor menor de fósforo por unidad de área, no obstante recibir las descargas de la granja camaronícola “La Clementina” que se encuentra en esa zona, siendo menor que el valor calculado para la región Estero Infiernillo, que recibe aguas de desecho de un sector de la ciudad de Mazatlán.

6.7 Fósforo inorgánico

La distribución de las concentraciones de fósforo inorgánico y sus intervalos de concentración para el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón y el Estero de Urías se muestra en las figuras 6.7.1 y 6.7.2. En el sistema de Altata-Ensenada del Pabellón, en la sección de Altata predominan las bajas concentraciones, mientras que en la región Ensenada del Pabellón presenta concentraciones un poco mayores. Las más altas concentraciones de fósforo inorgánico se presentan en las regiones lagunas interiores y Río Culiacán, coincidiendo con los resultados obtenidos para fósforo total. De la misma manera, el Estero de Urías presenta una distribución muy similar a la presentada para el fósforo total, aumentando las concentraciones desde la región aguas arriba hacia la boca del sistema lagunar, presentando en la zona de la bahía concentraciones mayores que 500 µg/g.

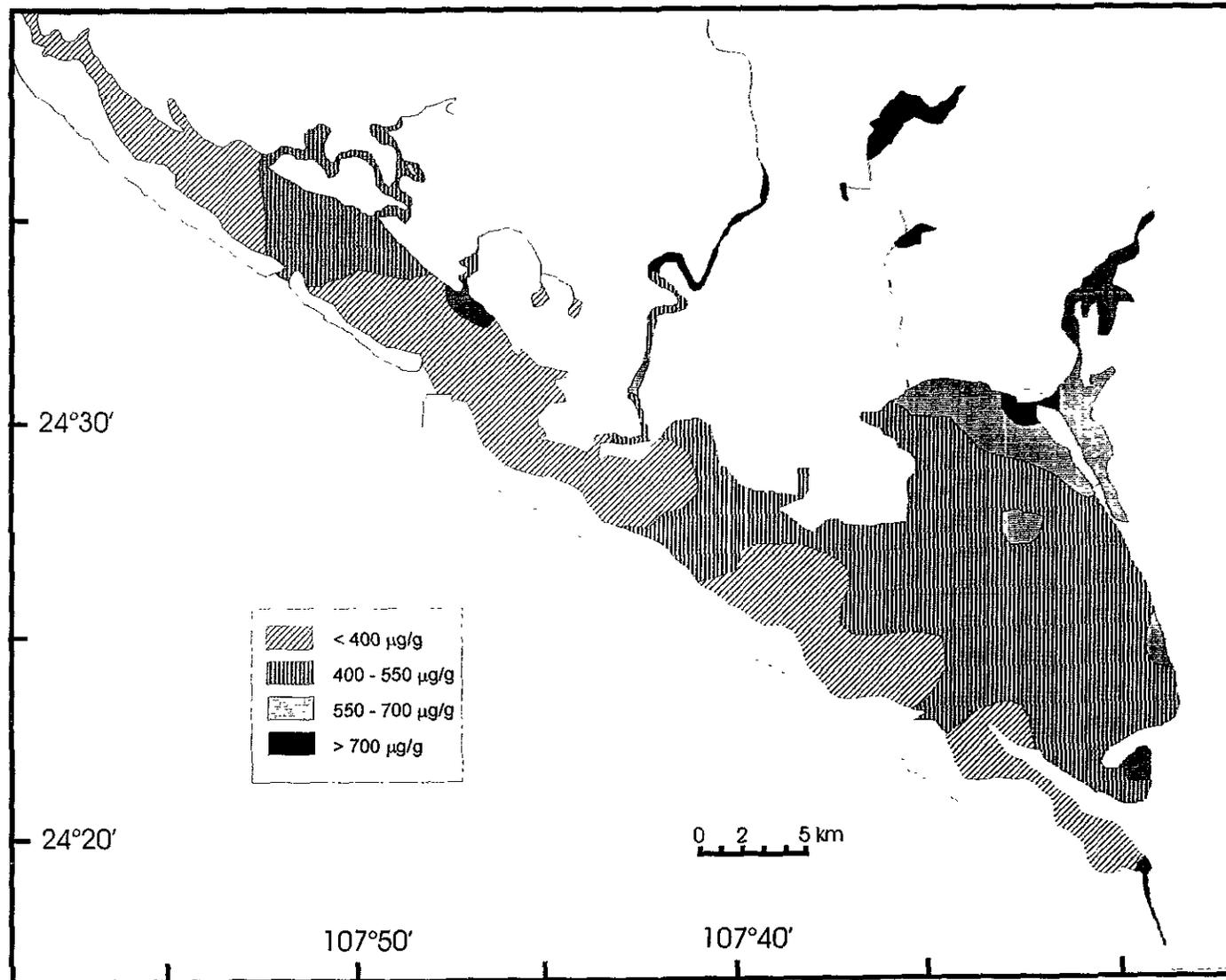


Fig. 6.7.1 Distribución de la concentración de fósforo inorgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

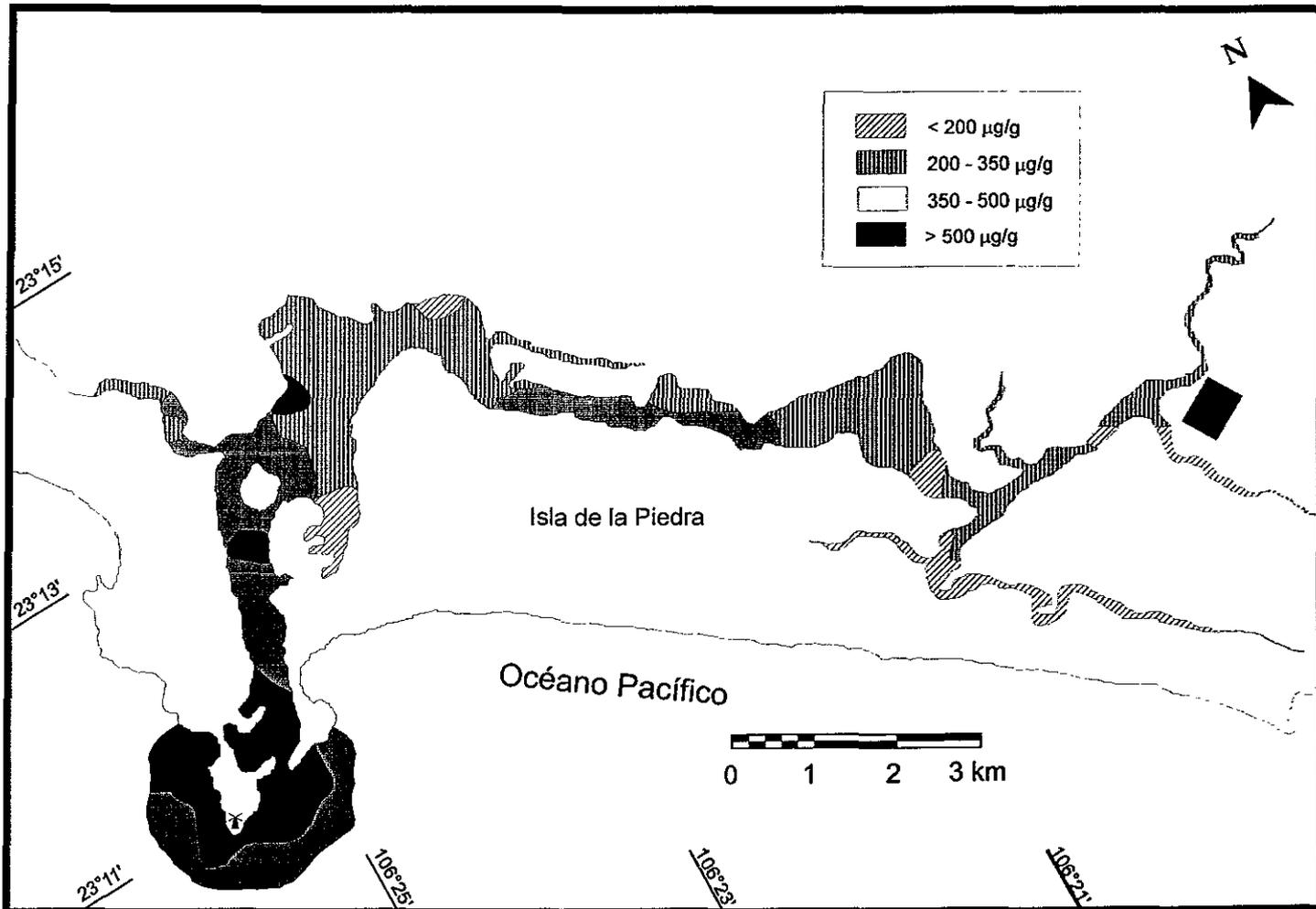


Fig. 6.7.2 Distribución de la concentración de fósforo inorgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.

Para el fósforo inorgánico en Altata-Ensenada del Pabellón se obtuvo una concentración promedio de 456 $\mu\text{g/g}$ de sedimento, con una desviación estándar de 152. Las concentraciones mínima y máxima fueron de 208 y 1253 $\mu\text{g/g}$, respectivamente (Anexo III). La mínima ubicada en El Tetuán Nuevo en la estación AP-60 de la región de Altata y la máxima en la estación AP-1 de la región lagunas interiores, ubicada en la boca de la laguna de Chiricahueto, estación donde también se presenta la concentración máxima de fósforo total (Anexo V).

Las concentraciones mayores se encontraron en la región lagunas interiores, mientras que las menores se localizaron en la región de Altata. Las concentraciones promedio para las diferentes regiones fueron como sigue: para la región de Altata, 315 $\mu\text{g/g}$; Ensenada del Pabellón, 434 $\mu\text{g/g}$; suelos agrícolas, 501 $\mu\text{g/g}$; Río Culiacán, 536 $\mu\text{g/g}$ y lagunas interiores, 574 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 3; Anexo III). Puede observarse que el fósforo inorgánico presenta mayores concentraciones en zonas que pudieran estar influenciadas por la actividad agrícola (uso de fertilizantes fosforados) y ésta va decreciendo conforme se va acercando a la boca del sistema lagunar.

La concentración promedio de fósforo inorgánico para la región de Altata resultó significativamente menor con respecto a la concentración promedio de las regiones lagunas interiores, Ensenada del Pabellón, Río Culiacán y suelos agrícolas. Mientras que la concentración promedio de fósforo inorgánico en la región Ensenada del Pabellón resultó significativamente menor que las concentraciones promedio en los sedimentos de las regiones Río Culiacán y lagunas interiores. De lo anterior se puede generalizar que la concentración de fósforo inorgánico en los sedimentos de las regiones Ensenada del Pabellón y suelos agrícolas son estadísticamente comparables, es decir, presentan niveles de concentración equiparables, de la misma manera en que lo son los sedimentos de las regiones lagunas interiores, Río Culiacán y suelos agrícolas en cuanto a su concentración promedio de fósforo inorgánico (Tabla 3).

La concentración de fósforo inorgánico presenta correlación significativa con el tamaño medio de grano ($M\phi$) con un coeficiente r igual a 0.40, mientras que con el porcentaje de arenas se correlaciona significativamente con un coeficiente de correlación r igual a -0.49 y con el porcentaje de lodos (% limos + % arcillas) presenta un coeficiente r igual a 0.49. Con respecto al porcentaje de carbono orgánico y las pérdidas por ignición,

el fósforo inorgánico también presenta correlación significativa, con valores de 0.34 y 0.40 respectivamente. Todo lo anterior nos indica que el fósforo inorgánico está asociado a los sedimentos finos en este sistema lagunar (Fig. 6.7.3, 6.7.4, 6.7.5 y 6.7.6; Tabla 7). Cabe mencionar que los puntos que en estas gráficas se salen de la tendencia general, pertenecen a las estaciones ubicadas en la boca de la laguna de Chiricahueto y a una estación del Río Culiacán.

El fósforo inorgánico presenta un coeficiente de correlación positivo con respecto a la concentración de fósforo total igual a 0.79, significativo al 95%; lo que pudiera indicar que en este sistema lagunar predomina la fracción inorgánica del fósforo y que las variaciones de concentración de ambos se dan de manera relacionada (Fig. 6.7.7; Tabla 7).

Con respecto a las regiones en que fue dividido el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, en la región de lagunas interiores, el fósforo inorgánico presentó una correlación positiva con el porcentaje de carbonato de calcio con una $r = 0.72$ significativa al 95%, lo que puede indicar que el fósforo inorgánico está siendo dominado por las formas carbonatadas. Mientras que en la región Ensenada del Pabellón correlacionó positivamente con respecto al porcentaje de lodos, con una $r = 0.66$. En la región del Río Culiacán, la concentración de fósforo inorgánico contra el porcentaje de limos presentó una $r = 0.70$, significativa al 95% (Fig. 6.7.8, 6.7.9 y 6.7.10). En estas dos últimas regiones, Ensenada del Pabellón y Río Culiacán, no se tuvo una correlación significativa entre el fósforo inorgánico y el contenido de carbonatos; así como tampoco en la totalidad del sistema lagunar.

En el Estero de Urías, para el fósforo inorgánico se obtuvo una concentración promedio de 357 μg por gramo de sedimento, con una desviación estándar de 326. Las concentraciones mínima y máxima fueron de 55 y 2517 $\mu\text{g/g}$, respectivamente (Anexo IV). El mínimo ubicado en la estación S-11, ubicado en el estero Barrón perteneciente a la región aguas arriba, mientras que el máximo se encuentra ubicado en la estación S-22 de la región portuaria (Anexo VI). Las concentraciones mayores se encontraron en la región portuaria, mientras que las menores se localizaron en la región aguas arriba del Estero de Urías, lo que pudiera indicar que el fósforo inorgánico se encuentra asociado a sedimentos más gruesos en este sistema lagunar. Las concentraciones promedio para las

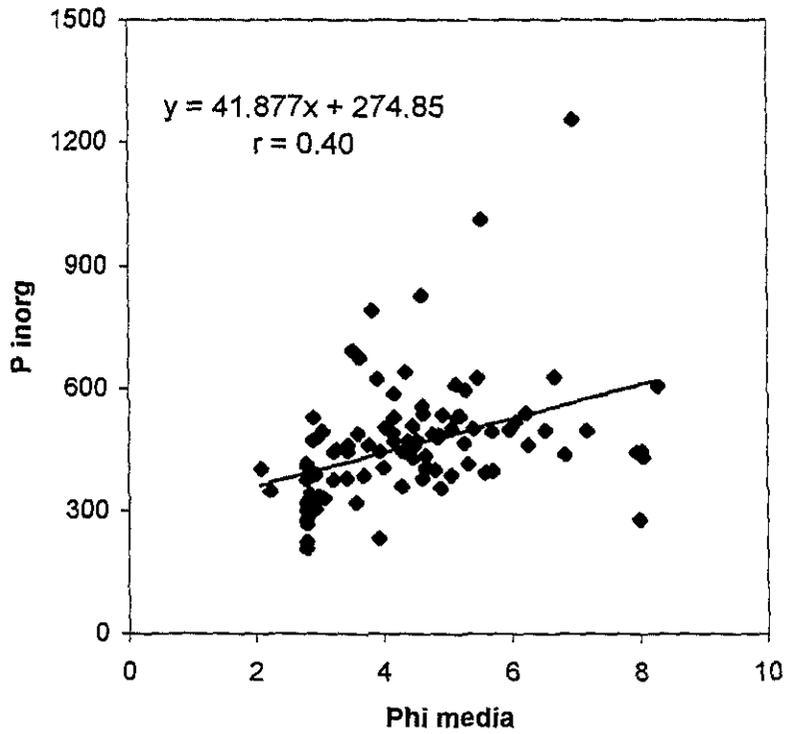


Fig. 6.7.3.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

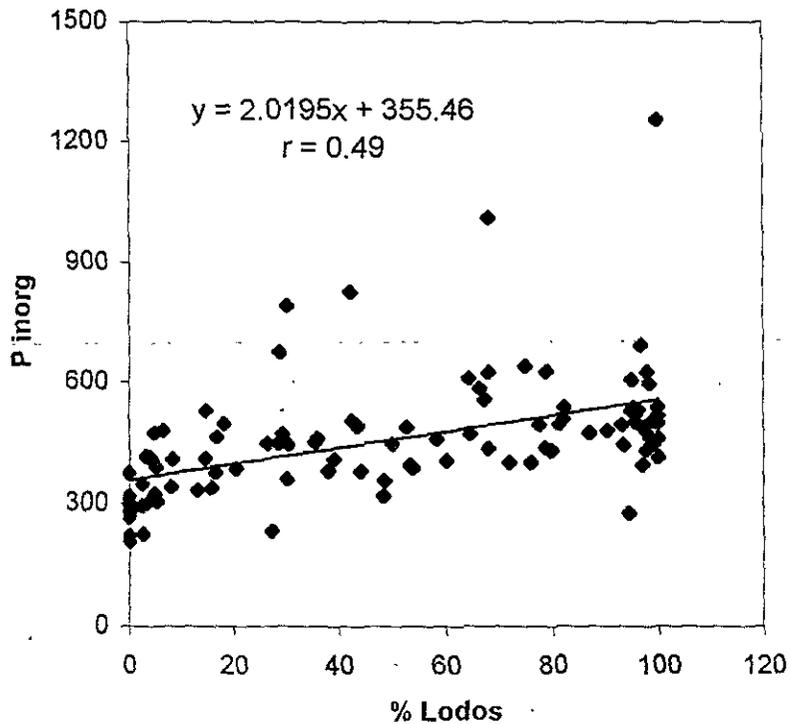


Fig. 6.7.4.- Contenido de lodos (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

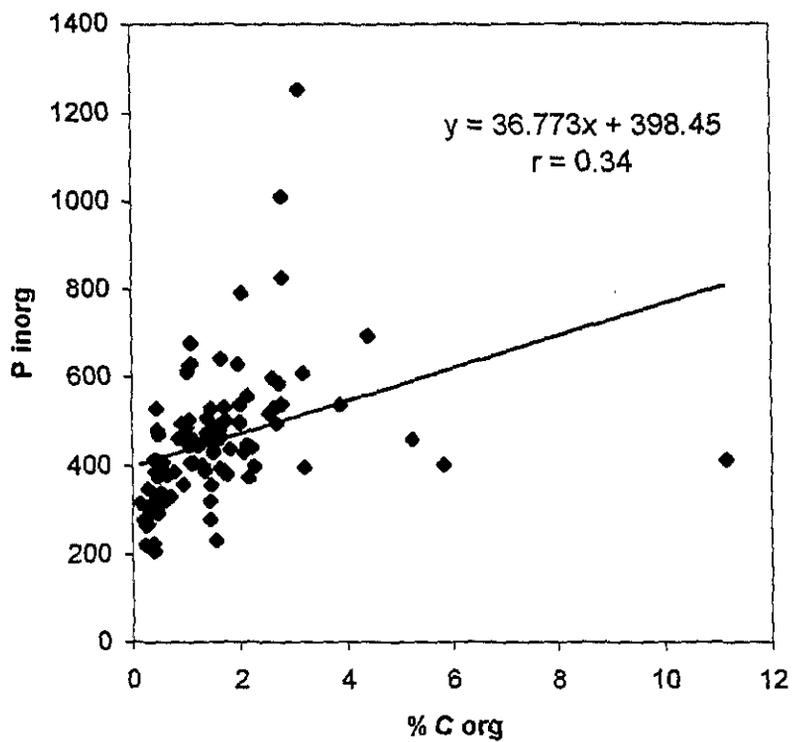


Fig. 6.7.5.- Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

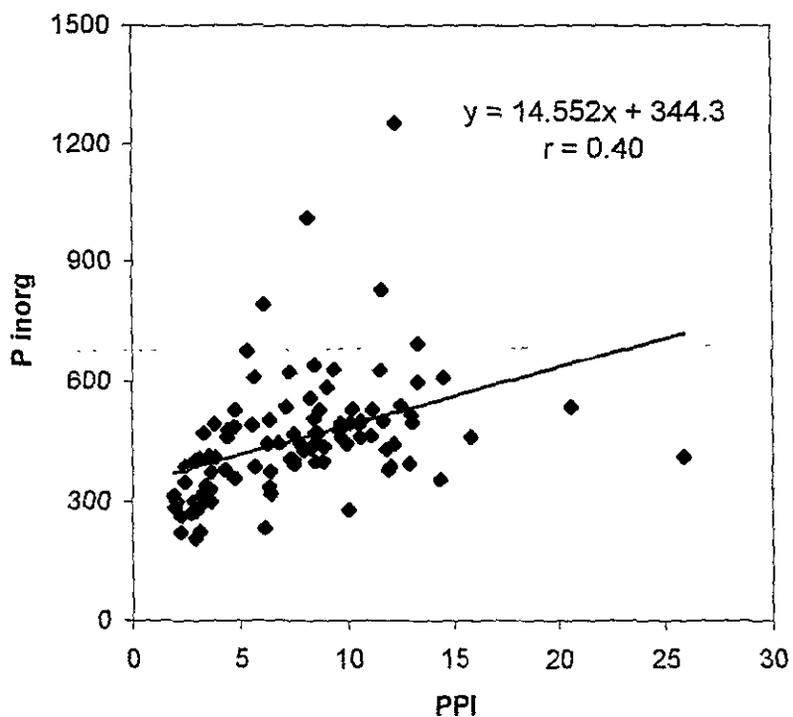


Fig. 6.7.6.- Pérdidas por ignición (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

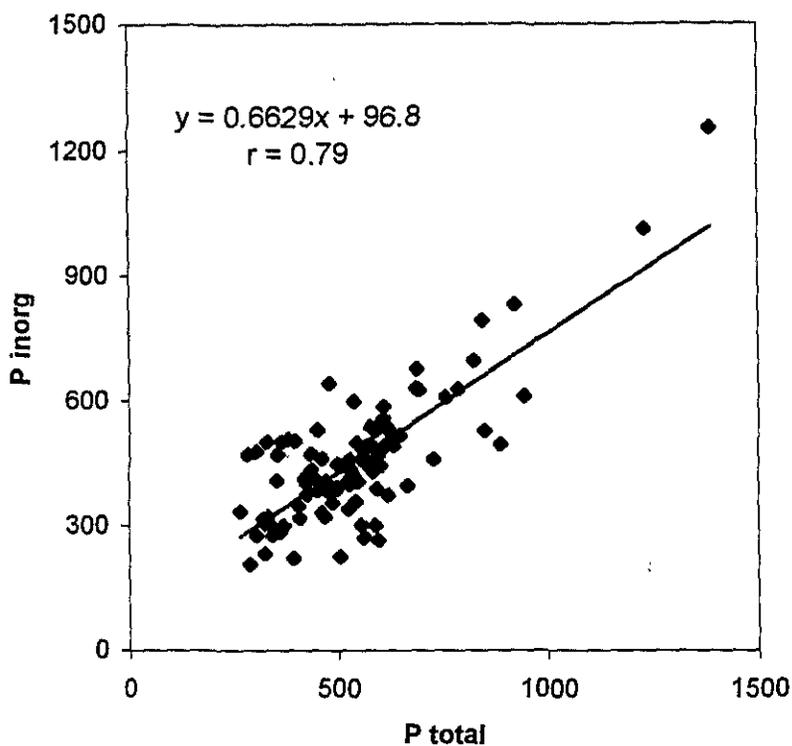


Fig. 6.7.7.- Contenido de fósforo total ($\mu\text{g/g}$) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

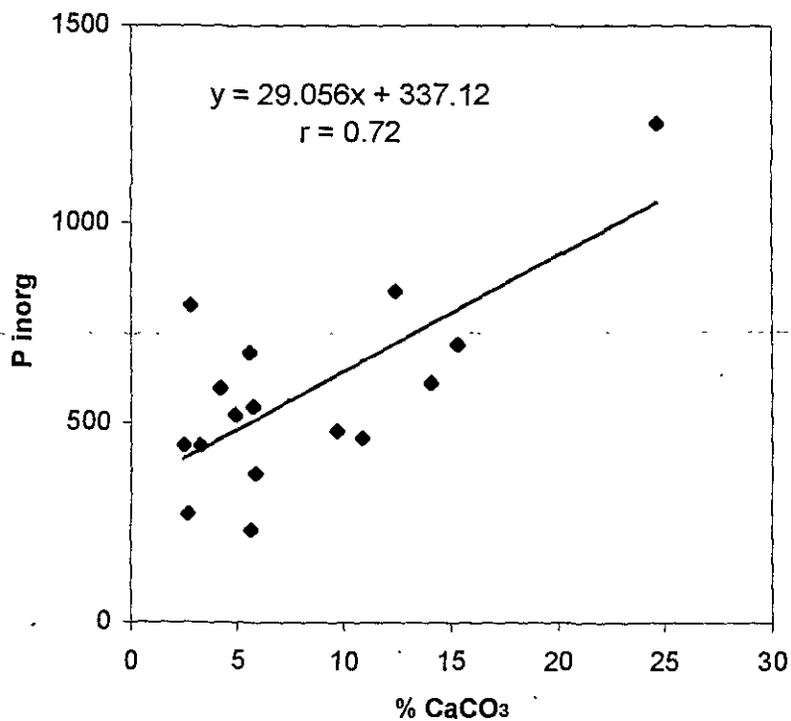


Figura 6.7.8.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región lagunas interiores de Altata-Ensenada del Pabellón.

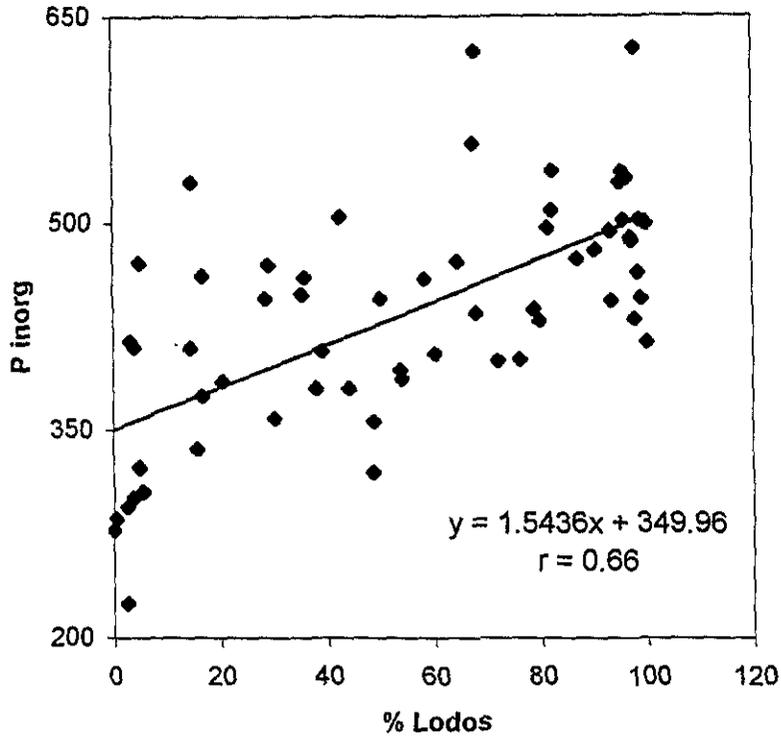


Fig. 6.7.9.- Contenido de lodos (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Ensenada del Pabellón de Altata-Ensenada del Pabellón.

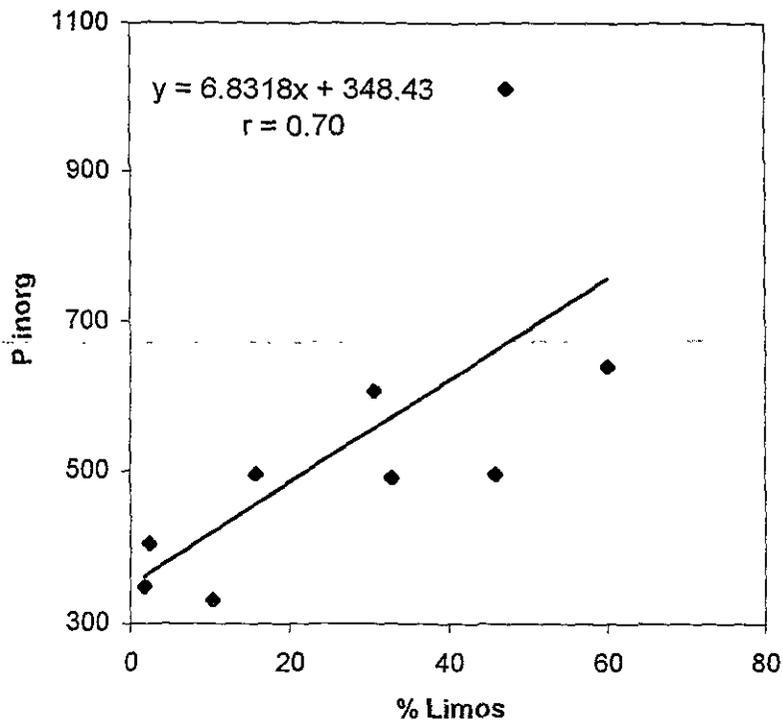


Fig. 6.7.10.- Contenido de limos (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de la región Río Culiacán de Altata-Ensenada del Pabellón.

diferentes regiones fueron las siguientes: aguas arriba, 235 $\mu\text{g/g}$; aguas intermedias, 298 $\mu\text{g/g}$; Estero Infiernillo, 343 $\mu\text{g/g}$; bahía, 537 $\mu\text{g/g}$ y la región portuaria, 1201 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 5; Anexo IV). Por lo que se puede observar, la concentración de fósforo inorgánico va decreciendo conforme se va adentrando hacia la cabeza lagunar, de manera contraria al comportamiento presentado en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón.

La concentración promedio de fósforo inorgánico en los sedimentos de la región aguas arriba presentó niveles significativamente menores con respecto al Estero Infiernillo, la región portuaria y la bahía, tal vez debido a que esa región presenta un mayor contenido de arcillas y el fósforo inorgánico se asocia preferentemente con sedimentos gruesos. La concentración promedio de fósforo inorgánico de la región de la bahía presentó concentraciones significativamente mayores que las concentraciones promedio de las regiones aguas intermedias y Estero Infiernillo, mientras que la región portuaria presentó niveles significativamente mayores que el resto de las regiones. La concentración promedio de fósforo inorgánico del Estero Infiernillo resultó significativamente mayor que la concentración promedio en los sedimentos de la región aguas intermedias. De lo anterior se muestra que las regiones aguas arriba y aguas intermedias son estadísticamente comparables entre sí en cuanto a sus concentraciones promedio de fósforo inorgánico (Tabla 5).

La concentración de fósforo inorgánico presentó un coeficiente de correlación negativo con el carbono orgánico igual a -0.26 . Con el porcentaje de arenas presentó un coeficiente r igual a 0.25 , mientras que con el porcentaje de lodos fue de -0.25 . Con el tamaño medio de grano ($M\phi$) también presentó un coeficiente significativo negativo igual a -0.24 , esta relación inversa puede indicar que el fósforo inorgánico se asocia preferentemente a sedimento grueso. La concentración de fósforo inorgánico presentó un coeficiente de correlación positivo igual a 0.47 con respecto a la concentración de CaCO_3 (significativo al 95%), lo cual indica que el fósforo inorgánico está constituido y controlado por la presencia de los carbonatos, lo que permite inferir que éstos tienen una función determinante en la concentración de fósforo inorgánico en los sedimentos de este sistema lagunar (Fig. 6.7.11, 6.7.12, 6.7.13, 6.7.14 y 6.7.15; Tabla 8). Cabe hacer notar que en estas gráficas, aparecen dos puntos muy alejados de la línea de tendencia, que son las estaciones S-22 y UR-EXT, ubicadas en la región portuaria y para las cuales se obtuvieron valores muy elevados de fósforo total e inorgánico.

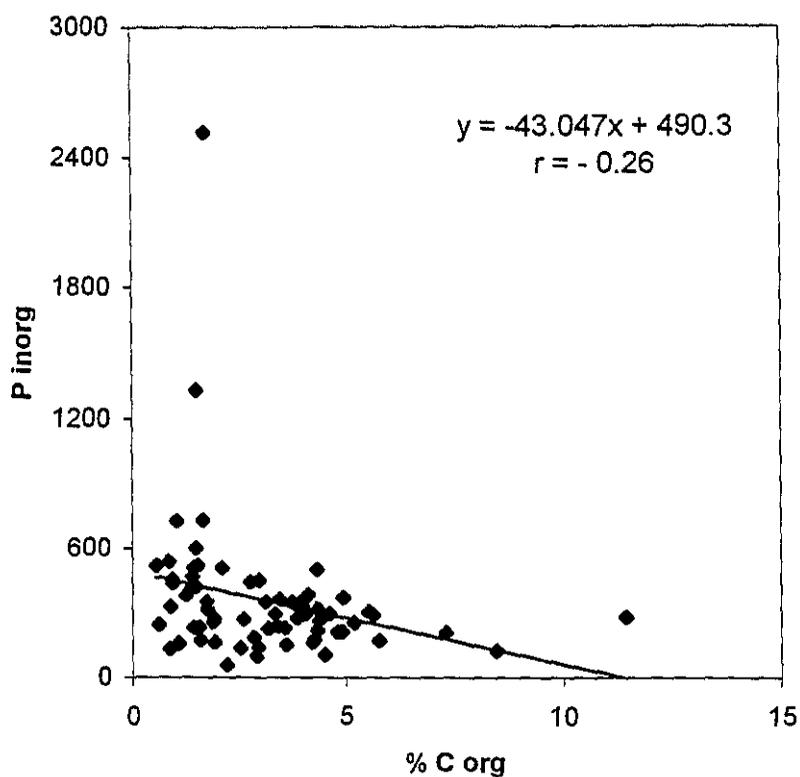


Fig. 6.7.11.- Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

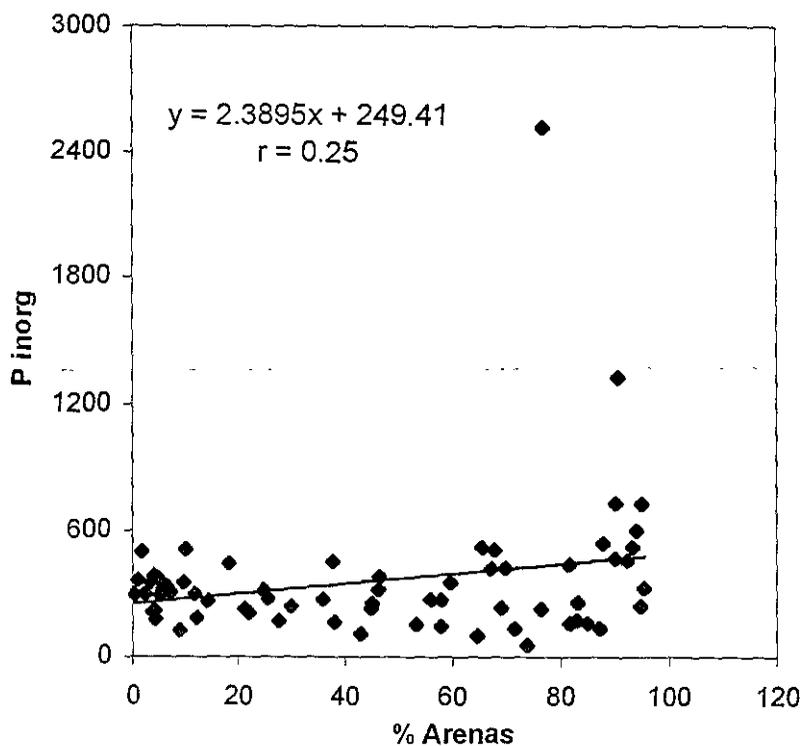


Fig. 6.7.12.- Contenido de arenas (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

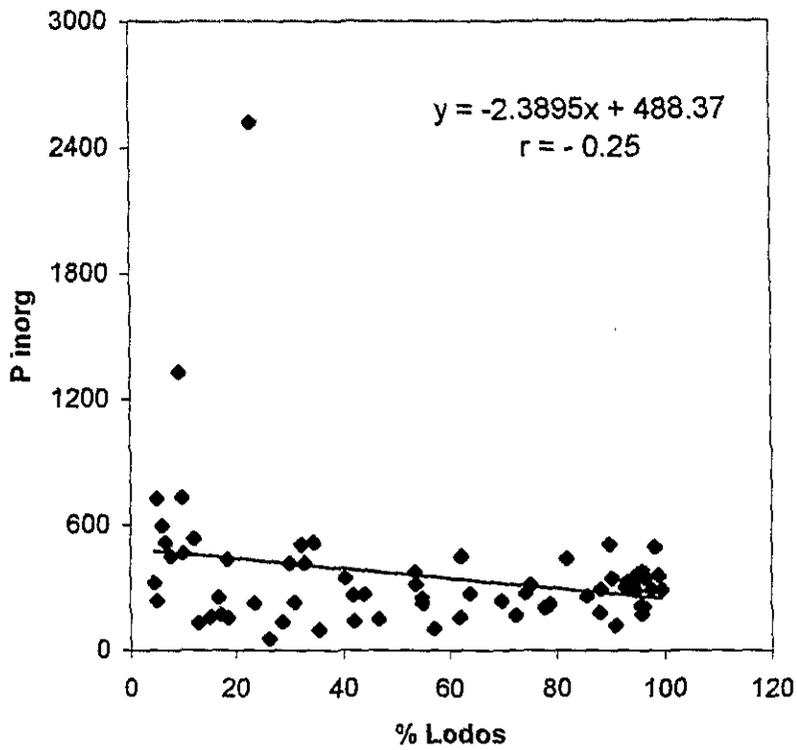


Fig. 6.7.13.- Contenido de lodos (%) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

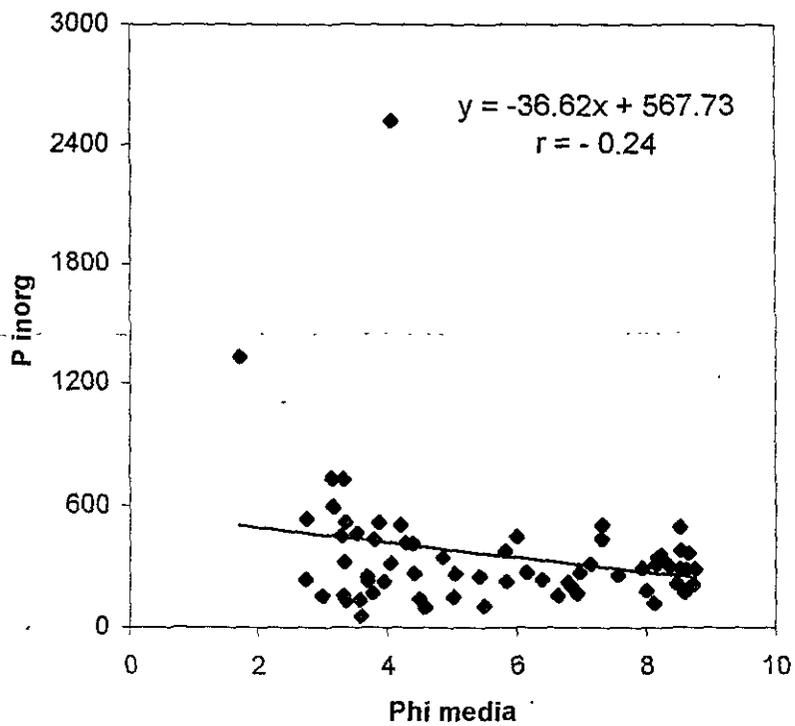


Fig. 6.7.14.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

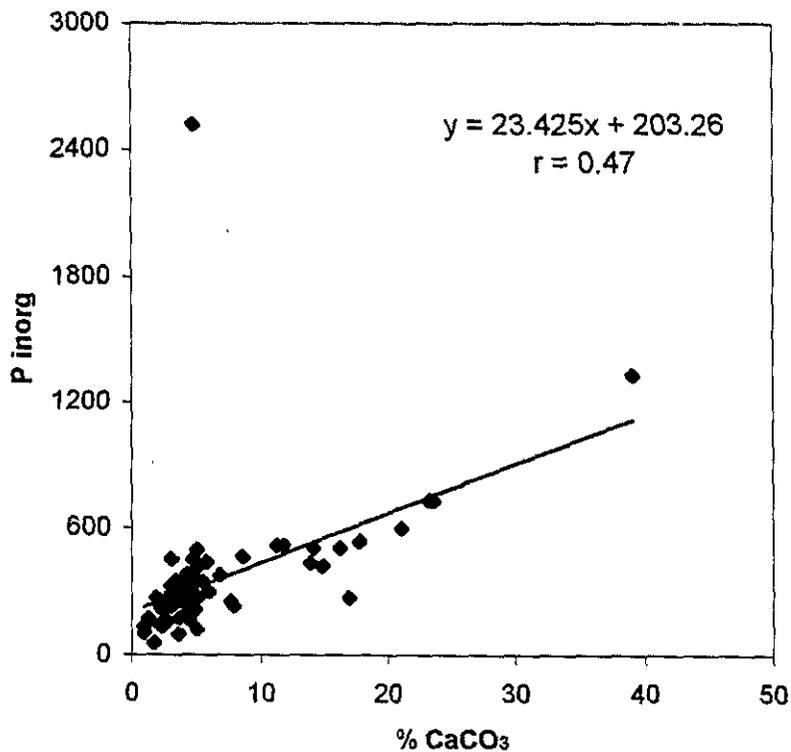


Fig. 6.7.15.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico (µg/g) en sedimentos del Estero de Urías.

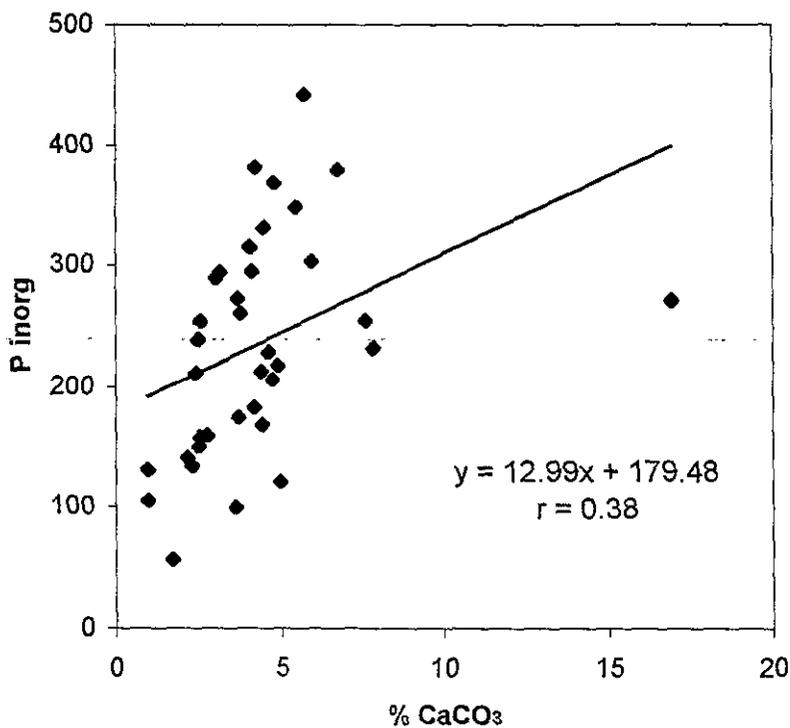


Figura 6.7.16.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fosforo inorgánico (µg/g) en sedimentos de la región aguas arriba del Estero de Urías. 81

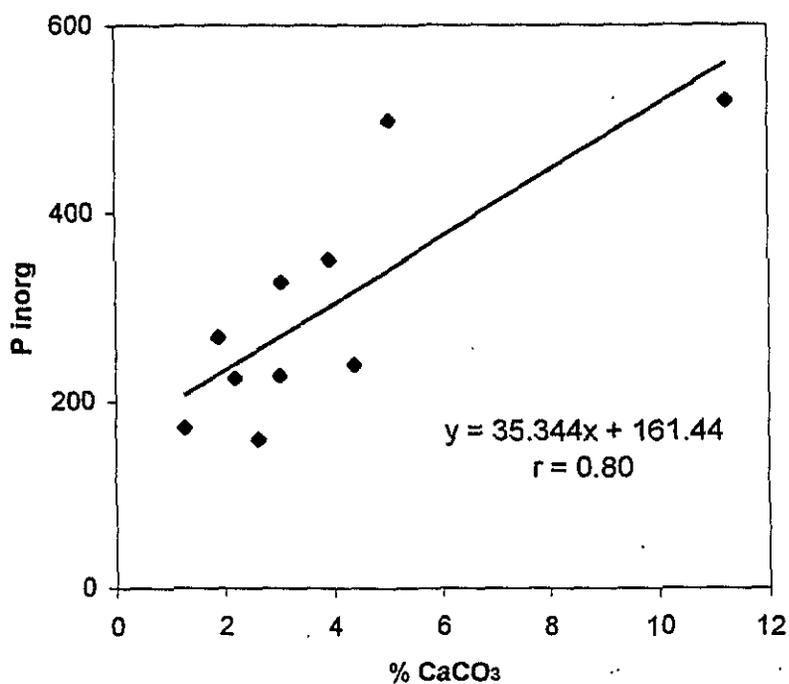


Figura 6.7.17.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico (μg/g) en sedimentos de la región aguas intermedias del Estero de Urías.

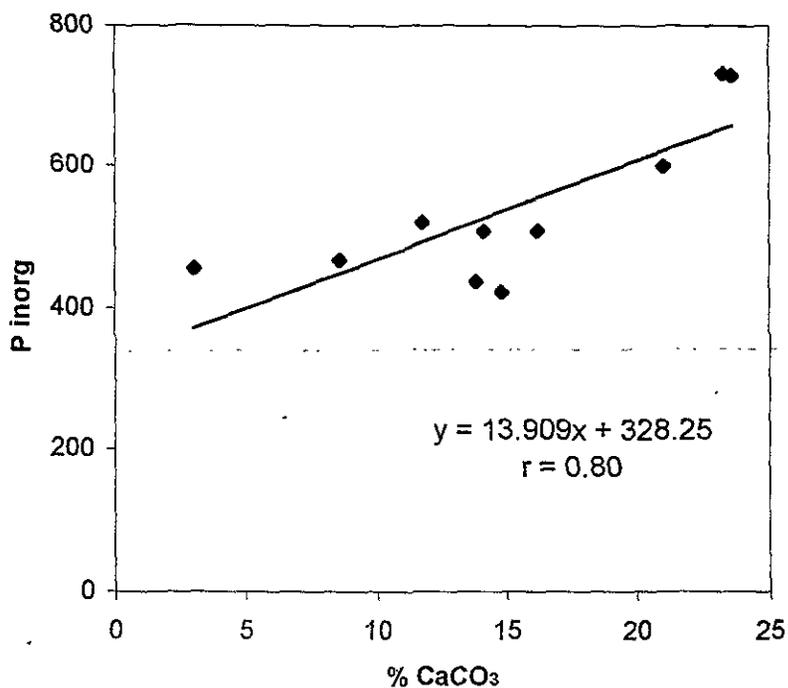


Figura 6.7.18.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo inorgánico (μg/g) en sedimentos de la región de la bahía del Estero de Urías.

Con respecto a las regiones en que fue dividido el Estero de Urías, la concentración de fósforo inorgánico presentó correlación significativa al 95% con respecto al porcentaje de carbonato de calcio en tres de las cinco regiones, con los siguientes coeficientes: Aguas arriba, $r = 0.38$, Aguas intermedias y bahía, $r = 0.80$. (Fig. 6.7.16, 6.7.17 y 6.7.18). En la Fig. 6.7.16 se observa que los puntos que no siguen la línea de tendencia son muestras con alto contenido de carbonatos y se encuentran asociadas a la termoeléctrica, especialmente la estación S-13, que es el punto más alejado del resto, de manera que si se elimina se obtiene una ecuación $y = 30.78x + 113.25$, con una $r = 0.55$.

Al comparar ambos sistemas lagunares en su totalidad, se encontró que la concentración promedio de fósforo inorgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón presenta niveles significativamente mayores con relación a la concentración promedio en los sedimentos superficiales del Estero de Urías, lo que pudiera atribuirse a sus diferencias en el tamaño medio de grano, ya que Altata-Ensenada del Pabellón posee sedimentos superficiales significativamente más gruesos que los del Estero de Urías (Tabla 1).

6.8 Fósforo orgánico

La distribución de fósforo orgánico y sus intervalos de concentración para el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón y el Estero de Urías se ilustra en las figuras 6.8.1 y 6.8.2. En Altata-Ensenada del Pabellón se puede ver como las concentraciones más altas se encuentran en la región de Altata y como "parches" aislados en la región Ensenada del Pabellón que en general presenta concentraciones menores de fósforo orgánico. Con respecto al Estero de Urías, este presenta una distribución más o menos uniforme a lo largo del sistema, con concentraciones que van de 50 a 150 $\mu\text{g/g}$ de fósforo orgánico, presentando concentraciones mayores que 250 $\mu\text{g/g}$ en la zona de descarga de aguas de la termoeléctrica y aledaños.

La concentración de fósforo orgánico en los sedimentos superficiales del complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón osciló desde el límite de detección (0.75 μg de fósforo por gramo de sedimento) el cual se presentó en casi todas las estaciones de la región Ensenada del Pabellón, hasta una concentración máxima de 389 $\mu\text{g/g}$, situada en

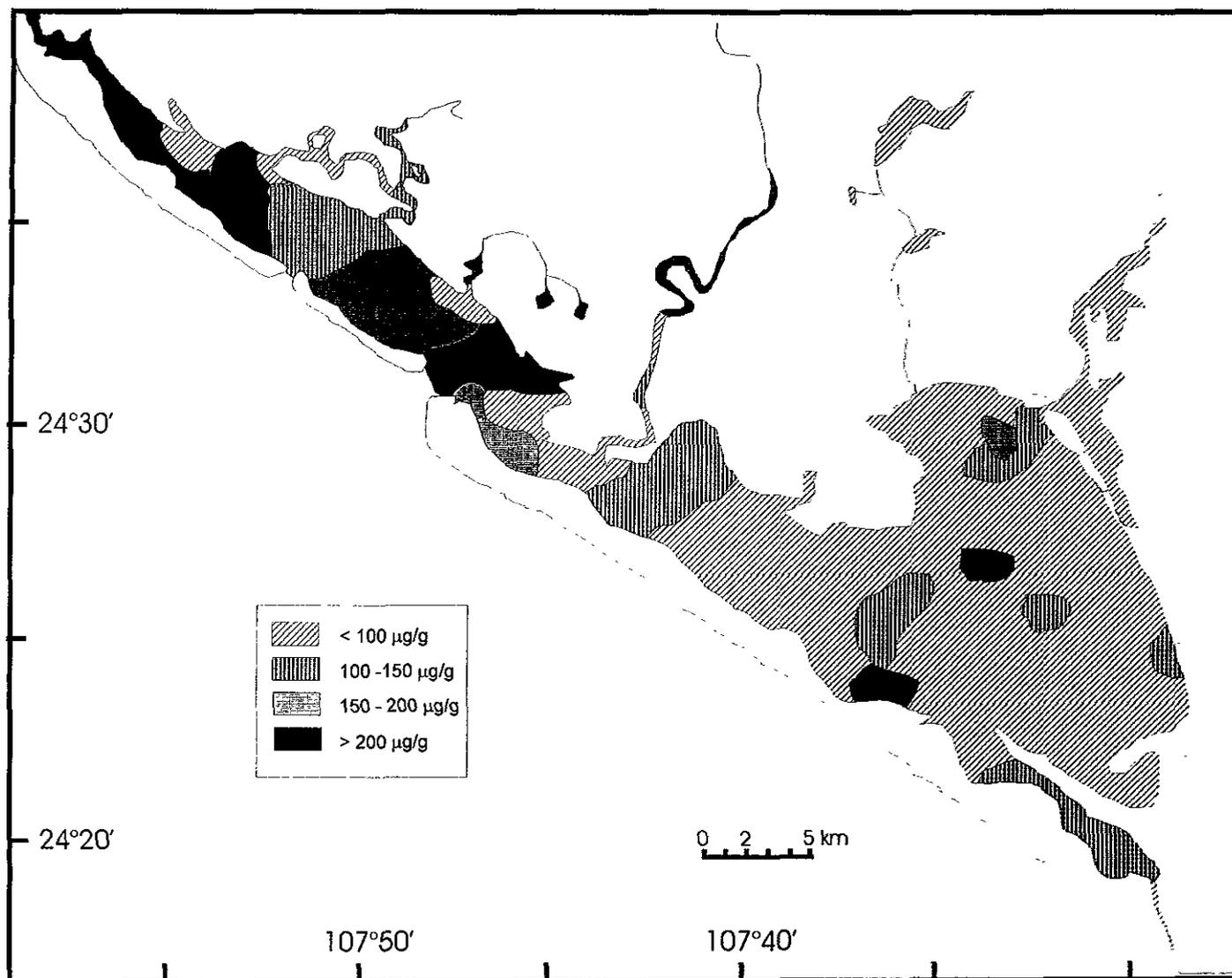


Fig. 6.8.1 Distribución de la concentración de fósforo orgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

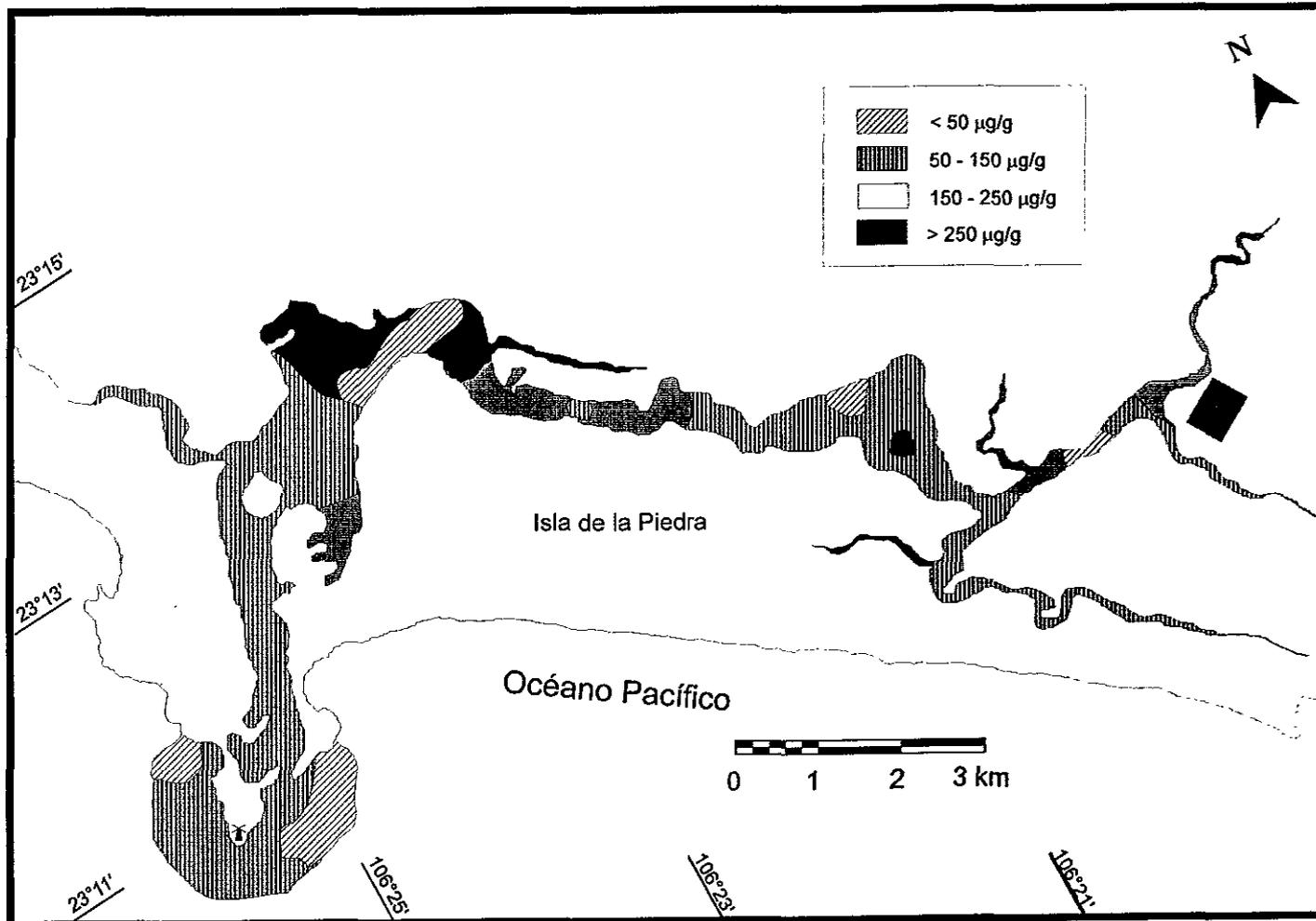


Fig. 6.8.2 Distribución de la concentración de fósforo orgánico en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Urías.

la estación E-2 del Río Culiacán, obteniéndose una concentración promedio de 101 $\mu\text{g/g}$ y una desviación estándar de 88 en todo el complejo lagunar. Las concentraciones promedio para las diferentes regiones fueron: Ensenada del Pabellón, 77 $\mu\text{g/g}$; lagunas interiores, 108 $\mu\text{g/g}$; Río Culiacán, 129 $\mu\text{g/g}$; suelos agrícolas, 144 $\mu\text{g/g}$ y Altata, 193 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 3; Anexo III).

La concentración promedio de fósforo orgánico en los sedimentos superficiales de la región de Altata presentó mayores niveles con relación a la concentración promedio de los sedimentos de las regiones Ensenada del Pabellón y lagunas interiores, por lo que se tiene que las concentraciones de las regiones de Altata, Río Culiacán y suelos agrícolas son estadísticamente comparables entre sí, es decir, las concentraciones promedio de fósforo orgánico en estas regiones no presentan diferencias significativas entre ellas, mientras que los sedimentos de la región de Altata tienen una concentración de fósforo orgánico significativamente mayor que los sedimentos de las regiones Ensenada del Pabellón y lagunas interiores (Tabla 3).

El fósforo orgánico presenta un coeficiente de correlación positivo con la concentración de fósforo total igual a 0.53, el cual es significativo al 95%, lo cual indica que el fósforo orgánico está relacionado con una proporción de P total: P orgánico igual a 5.4; esto es, que por cada 1000 átomos de fósforo en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón se tiene que 815 átomos están asociados a la fracción inorgánica y 185 están asociados a la fracción orgánica (Fig. 6.8.3).

La concentración de fósforo orgánico en los sedimentos superficiales del Estero de Urías osciló desde el límite de detección (0.75 $\mu\text{g/g}$) hasta una concentración máxima de 352 $\mu\text{g/g}$, situada en la estación S-15 perteneciente a la región aguas intermedias (Anexo VI); obteniéndose una concentración promedio de 136 $\mu\text{g/g}$ y una desviación estándar de 85 (Anexo IV). Las concentraciones promedio para las diferentes regiones fueron: bahía, 51 $\mu\text{g/g}$; Estero Infiernillo, 79 $\mu\text{g/g}$; región portuaria, 128 $\mu\text{g/g}$; aguas arriba, 162 $\mu\text{g/g}$ y aguas intermedias, 167 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 5; Anexo IV).

La concentración promedio de fósforo orgánico en los sedimentos de la región aguas arriba presentó niveles significativamente mayores con respecto a la concentración promedio de las regiones Estero Infiernillo y bahía, mientras que la concentración de

fósforo orgánico en la región de la bahía resultó significativamente menor con respecto a la concentración promedio de las regiones portuaria, aguas arriba y aguas intermedias, siendo estadísticamente comparable con la concentración promedio de fósforo orgánico en los sedimentos del Estero Infiernillo. De lo anteriormente descrito, puede generalizarse que los sedimentos de las regiones portuaria, aguas arriba y aguas intermedias son estadísticamente comparables entre sí en cuanto a su contenido de fósforo orgánico, es decir, las concentraciones promedio de fósforo orgánico en estas regiones no presentan diferencias significativas entre ellas (Tabla 5).

La concentración de fósforo orgánico está directamente relacionada con el tamaño promedio de grano de los sedimentos superficiales del Estero de Urías, como permite sugerirlo la correlación correspondiente con un coeficiente r igual a 0.48, significativo al 95%. Mientras que con el porcentaje de arcillas se relaciona directamente con un coeficiente de correlación de 0.52, lo que indica que se asocia preferentemente con el sedimento fino (Fig. 6.8.4 y 6.8.5; Tabla 8).

De igual manera, la concentración de fósforo orgánico presenta un coeficiente de correlación positivo de 0.39 con la concentración de carbono orgánico, lo que nos permite suponer que la materia orgánica tiene una función muy importante en la variación de la concentración de fósforo orgánico en los sedimentos del Estero de Urías, mientras que con las pérdidas por ignición presenta un coeficiente de correlación positivo de 0.46, ambos significativos al 95% (Fig. 6.8.6 y 6.8.7; Tabla 8). En general, los puntos que no siguen la línea de tendencia en estas gráficas, pertenecen a la región aguas intermedias y se encuentran asociadas a la descarga de aguas de enfriamiento de la termoeléctrica.

En lo que se refiere a las regiones en que fue dividido el Estero de Urías para su estudio, la concentración de fósforo orgánico presentó un coeficiente de correlación positivo con respecto a la concentración de carbono orgánico igual a 0.46 para la región aguas arriba, mientras que para la región de la bahía, éste resultó igual a 0.65, significativos ambos al 95%. En la región Estero Infiernillo se presentó un coeficiente de correlación positivo de $r = 0.85$, entre el porcentaje de lodos y la concentración de fósforo orgánico (Fig. 6.8.8, 6.8.9 y 6.8.10).

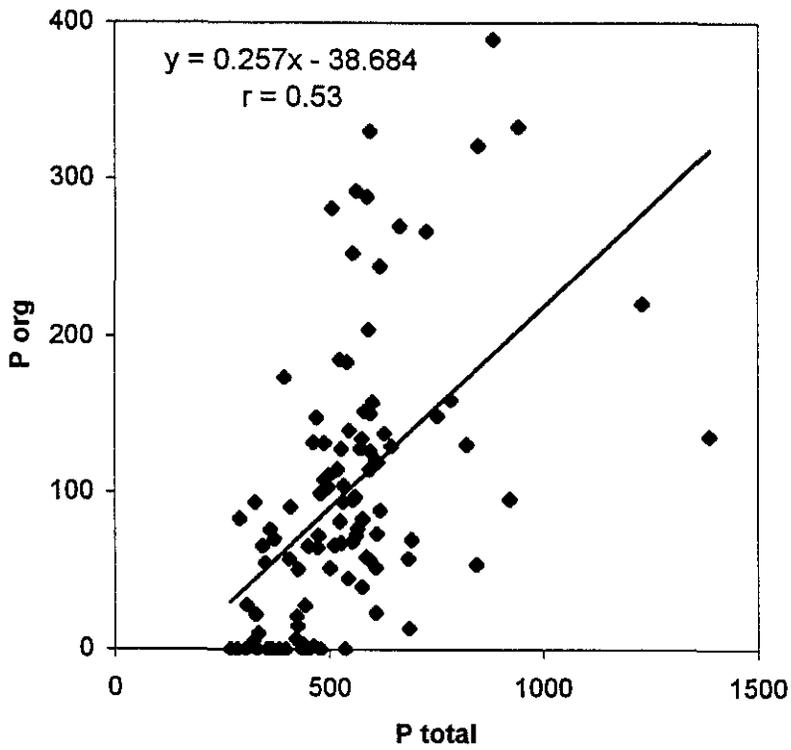


Fig. 6.8.3.- Contenido de fósforo total ($\mu\text{g/g}$) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos de Altata-Ensenada del Pabellón.

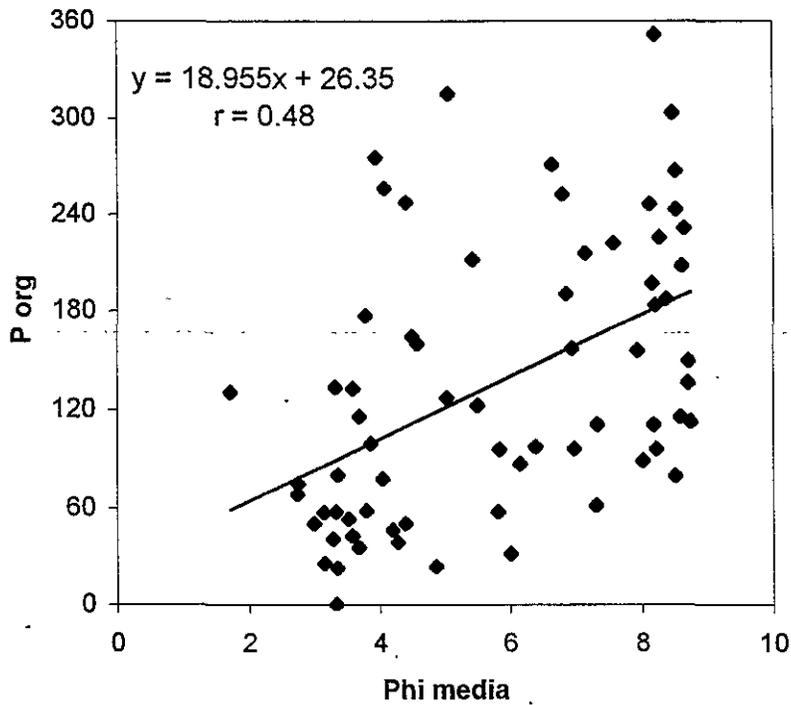


Fig. 6.8.4.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

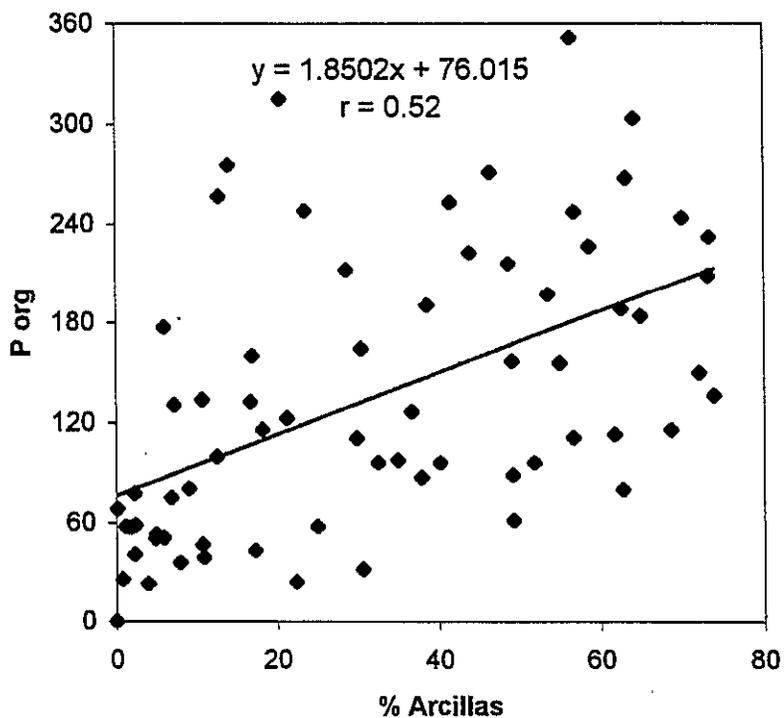


Fig. 6.8.5.- Contenido de arcillas (%) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

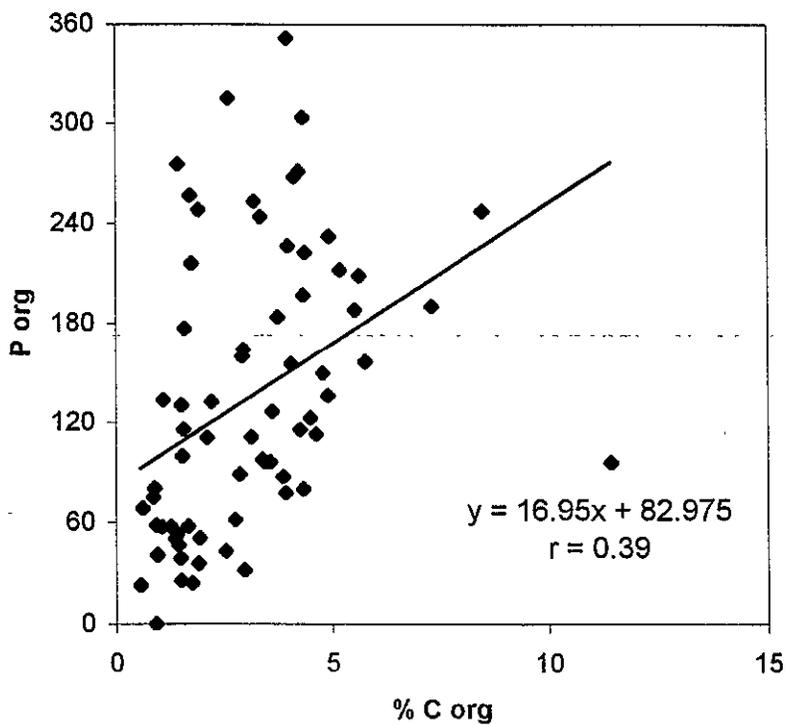


Fig. 6.8.6.- Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo orgánico ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

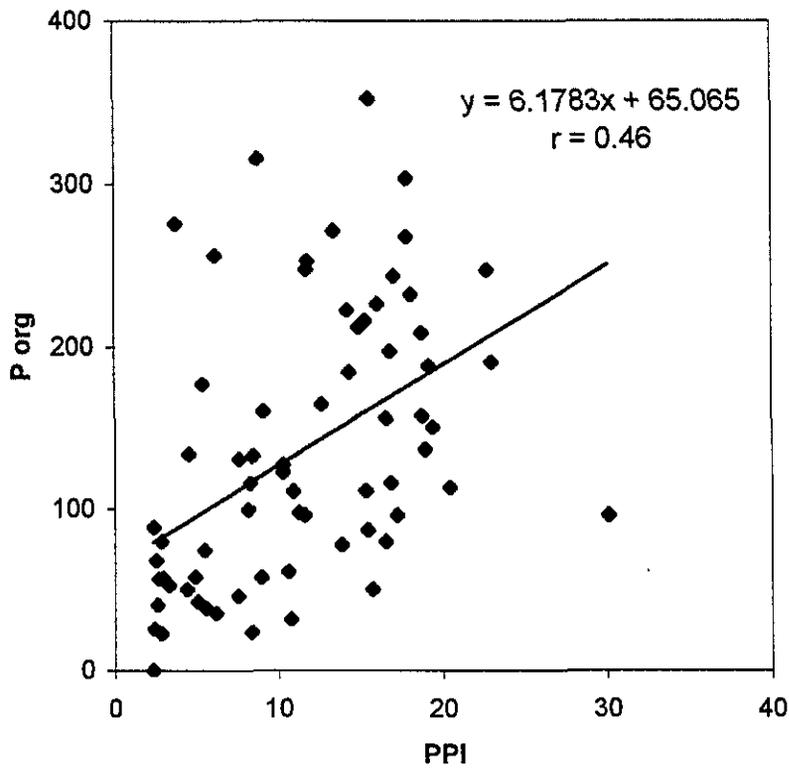


Fig. 6.8.7.- Contenido de pérdidas por ignición (%) contra fósforo orgánico (µg/g) en sedimentos del Estero de Urías.

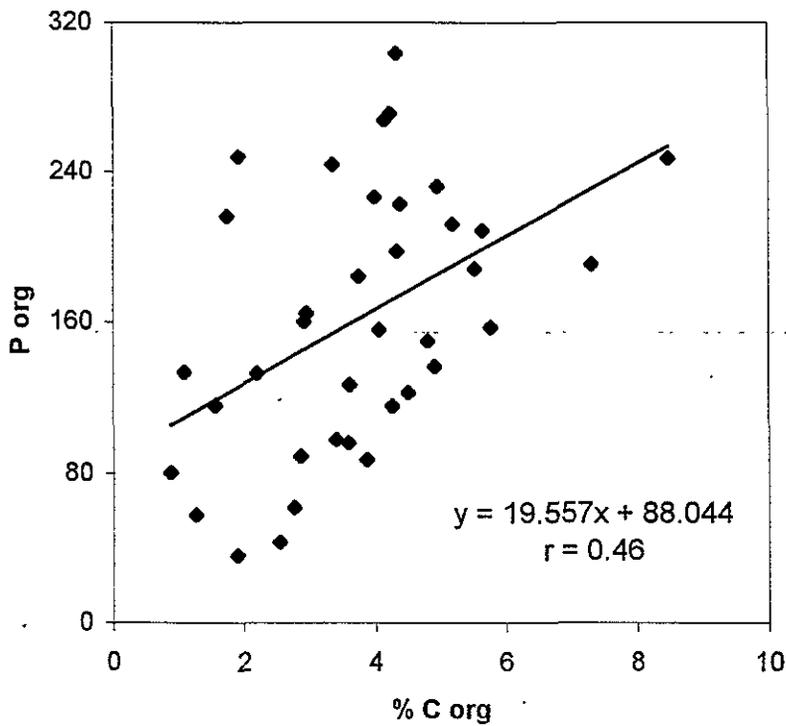


Fig.6.8.8.- Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo orgánico (µg/g) en sedimentos de la región aguas arriba del Estero de Urías.

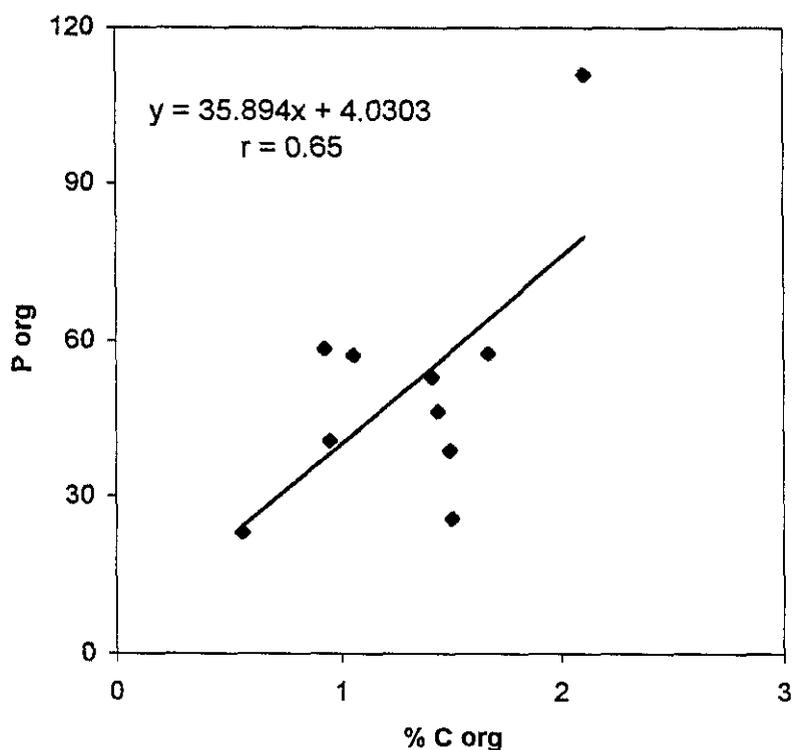


Fig. 6.8.9.- Contenido de carbono orgánico (%) contra fósforo orgánico (µg/g) en sedimentos de la región de la bahía del Estero de Urías.

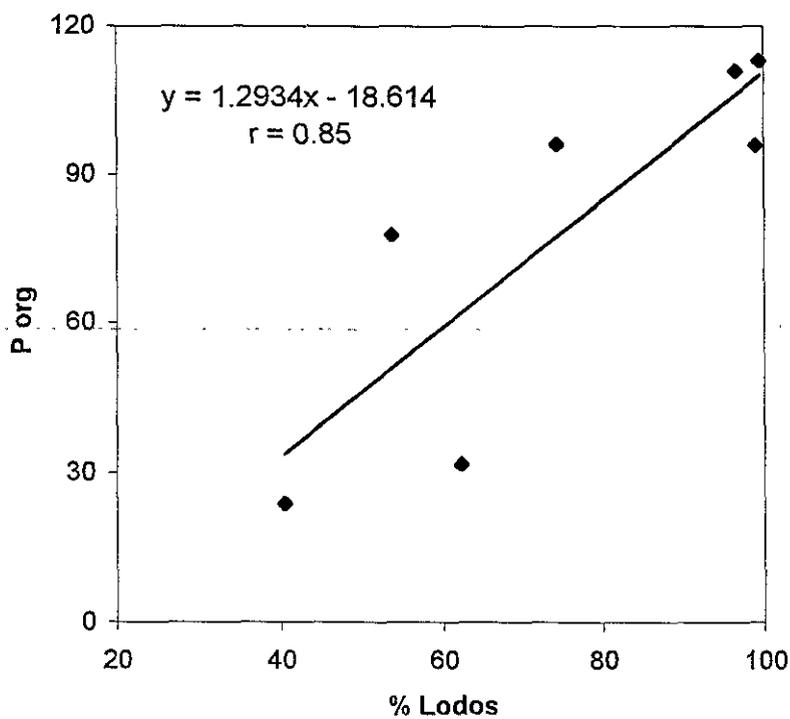


Fig. 6.8.10.- Contenido de lodos (%) contra fósforo orgánico (µg/g) en sedimentos de la región Estero Infiernillo del Estero de Urías.

Por otro lado, para el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, aunque era de esperarse una correlación significativa del fósforo orgánico con la concentración de materia orgánica, sólo presenta un coeficiente de correlación negativo de -0.12 , no significativo; de la misma manera, en ninguna de las regiones en que fue dividido el sistema lagunar se presenta correlación significativa entre estos dos parámetros.

Al comparar ambos sistemas lagunares en su totalidad, se encontró que la concentración promedio de fósforo orgánico en los sedimentos del sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón presenta niveles significativamente menores que la concentración promedio en los sedimentos del Estero de Urías (Tabla 1).

Con el propósito de resumir las concentraciones promedio de carbono orgánico, fósforo y la relación atómica C orgánico: P orgánico y C orgánico: P total en los dos sistemas lagunares sujetos a estudio y sus respectivas regiones, se elaboró una tabla comparativa (Tabla 12) en donde puede observarse que la relación C org : P org calculada a partir de las concentraciones medias de los parámetros, resultó de 403:1 para el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, mientras que para el Estero de Urías de 590:1, lo que implicaría que los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón están bajo una mayor influencia marina que los sedimentos del Estero de Urías.

Haciendo una comparación con estudios en otras localidades, se tiene que para el talud y dorsal del Atlántico Septentrional se encontró que la relación C org : P org fue de 320:1 (Morse y Cook, 1978), mientras que en sedimentos anóxicos de Long Island Sound (EE.UU) la relación fue de 300:1 (Krom y Berner, 1981), ambos valores son menores que los obtenidos en el presente estudio para ambos sistemas lagunares en su totalidad y menores también que los calculados en la mayoría de las regiones en que fueron divididos los sistemas. Otro estudio realizado previamente en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, muestra que la relación encontrada fue de 300:1 (Páez-Osuna *et al.*, 1992), valor comparable a los resultados de los estudios anteriores; sin embargo, en el presente estudio se encontraron valores mucho más elevados en la misma laguna, lo cual se puede deber a los cambios que ha sufrido el cuerpo lagunar en los últimos años o simplemente al diferente número de muestras utilizadas en los estudios y su diferente representatividad.

Calculando esta misma relación en las regiones en que fueron divididos los sistemas, en el complejo lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón puede observarse que la relación atómica $C_{org} : P_{org}$ va disminuyendo conforme los sedimentos se van haciendo más marinos, de la misma manera que ocurre con los sedimentos del Estero de Urías, con excepción de la región de la bahía, aunque hay que mencionar que las muestras obtenidas en esta última región están influenciadas por el emisor de aguas negras ubicado en esa zona.

Por otra parte, con respecto al cálculo de la relación $C_{org} : P_{total}$ puede concluirse que los resultados obtenidos siguen el mismo comportamiento, disminuyendo conforme los sedimentos se van haciendo más marinos, haciendo notar en el Estero de Urías que la región de la bahía disminuye mucho su valor con respecto a la relación $C_{org} : P_{org}$.

En general, los resultados de los cálculos indican que la relación $C_{org} : P_{org}$ y $C_{org} : P_{total}$ para cada una de las regiones en el Estero de Urías son en su mayoría más elevados que los obtenidos para las regiones de Altata-Ensenada del Pabellón, lo que pudiera indicarnos que en el Estero de Urías las concentraciones de fósforo son menores que las encontradas en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón, pudiendo deberse a la influencia agrícola que tiene este último sistema.

Barrow (1961) se refiere a la relación 260:1 como el valor típico de la proporción $C_{org} : P_{org}$ de los suelos moderadamente fértiles y este valor se aproxima a la relación calculada para la región de los suelos agrícolas de Altata-Ensenada del Pabellón, la cual es de 206.

6.9 Fósforo asociado a las fracciones geoquímicas en los sedimentos del Estero de Urías

La concentración de fósforo en la Fase I (fracción intercambiable/adsorbible) varió desde $<0.75 \mu\text{g/g}$ (límite de detección) hasta $9.9 \mu\text{g}$ de fósforo por gramo de sedimento, con un valor promedio de $2.2 \mu\text{g/g}$ y una desviación estándar de 1.9 (Tabla 6). Las concentraciones mínimas ocurrieron en las estaciones S-8, S-11 y S-17 de la región aguas arriba y S-19, M-3, M-4, M-5 de la región aguas intermedias, mientras que la concentración máxima se localizó en la estación S-13 de la región aguas arriba del Estero de Urías, muy cercana a la termoeléctrica (Anexo VII). En proporción con el total del fósforo, esta fracción constituyó el 0.14% y hasta el 1.8%.

El porcentaje de carbonatos en los sedimentos presenta un coeficiente de correlación positivo con la Fase I igual a 0.53, que de acuerdo al número de muestras correlacionadas ($n = 35$) es significativo al 95%. Esto permite sugerir que la concentración de carbonatos está de algún modo controlando la fracción adsorbida/intercambiable del fósforo en los sedimentos de este cuerpo lagunar, lo que implica que la mayor parte del fósforo adsorbible/intercambiable se encuentra asociado a los carbonatos (Fig. 6.9.1;Tabla 9).

La concentración de fósforo en la Fase II (fracción asociada a carbonatos) varió de 25.1 a $103.8 \mu\text{g/g}$, con una concentración promedio de $64.2 \mu\text{g/g}$ y una desviación estándar de 22.0 (Tabla 6). La concentración mínima ocurrió en la estación UR-EXT de la región portuaria y la máxima en la estación S-1 perteneciente a la región aguas arriba del Estero de Urías (Anexo VII). Llama la atención el hecho de que esta fase no presente correlación significativa con ninguno de los parámetros analizados. En proporción con el total del fósforo, esta fracción constituyó el 4.5% y hasta el 18.7%.

Otros autores tampoco encontraron correlación entre esta fase y el contenido de calcio en sedimentos de plataforma continental y estuarinos (Morse y Cook, 1978; Strom y Biggs, 1982; Vaithyanathan *et al.*, 1993). En sistemas estuarinos donde el calcio juega un papel importante en el control de la concentración del fósforo, el fósforo se adsorbe en la calcita (Stumm y Leckie, 1970; Suzuki *et al.*, 1986; De Jonge y Villerius, 1989), mientras

que si el fósforo se encuentra absorbido en el CaCO_3 su variación es regulada por el fósforo disuelto (Atkinson, 1987).

Para la fracción asociada a óxidos de Fe y Mn (Fase III), se obtuvo una concentración promedio de 88.4 $\mu\text{g/g}$, con una desviación estándar de 61.1 (Tabla 6). La concentración mínima fue de 22.5 $\mu\text{g/g}$, situada en la estación S-11 de la región aguas arriba, mientras que la concentración máxima fue de 311.5 $\mu\text{g/g}$, situada en la estación UR-EXT de la región portuaria ubicada en la boca del Estero de Urías (Anexo VII). Esta fracción constituyó el 4.1% y hasta el 56.1%, en proporción con el total del fósforo.

El porcentaje de carbonatos en los sedimentos superficiales analizados presenta un coeficiente de correlación positivo con la concentración de fósforo asociado a la Fase III igual a 0.79, que de acuerdo al número de muestras correlacionadas ($n = 35$) es significativo al 95% (Fig. 6.9.2; Tabla 9), lo que puede deberse a varias causas: (1) que algunas formas carbonatadas son resistentes al ataque que normalmente se efectúa con $\text{CH}_3\text{-COONa/CH}_3\text{-COOH}$ ($\text{pH} = 5$) y que luego al aplicar el tratamiento con el clorhidrato de hidroxilamina, supuestamente para los óxidos, en realidad se disuelve a los carbonatos; (2) Que efectivamente existe una correlación entre el contenido de fósforo asociado a los óxidos y el contenido de carbonato en los sedimentos. De ser este último caso válido ello implica que inicialmente el fósforo se incorpora asociado a los carbonatos y luego pasa a ser parte de los óxidos.

La fracción asociada a los óxidos de Fe y Mn (Fase III), presenta una correlación positiva con el contenido de arenas con un coeficiente r igual a 0.41, mientras que con el contenido de limos presenta un coeficiente de correlación negativo igual a -0.36. El porcentaje de arcillas con respecto al contenido de fósforo en la Fase III presenta un coeficiente de correlación negativo igual a -0.41 (Fig. 6.9.3), mientras que con respecto al tamaño promedio de grano ($M\phi$) presenta una correlación significativa negativa igual a -0.48 (Fig. 6.9.4). En estas gráficas, el punto más alejado de la línea de tendencia pertenece a la estación UR-EXT, ubicada en la región portuaria, la cual ha presentado valores anómalos en la mayoría de los parámetros evaluados.

El fósforo total y fósforo inorgánico presentaron con respecto a la fracción asociada a los óxidos de Fe y Mn, una correlación significativa al 95% con coeficientes r

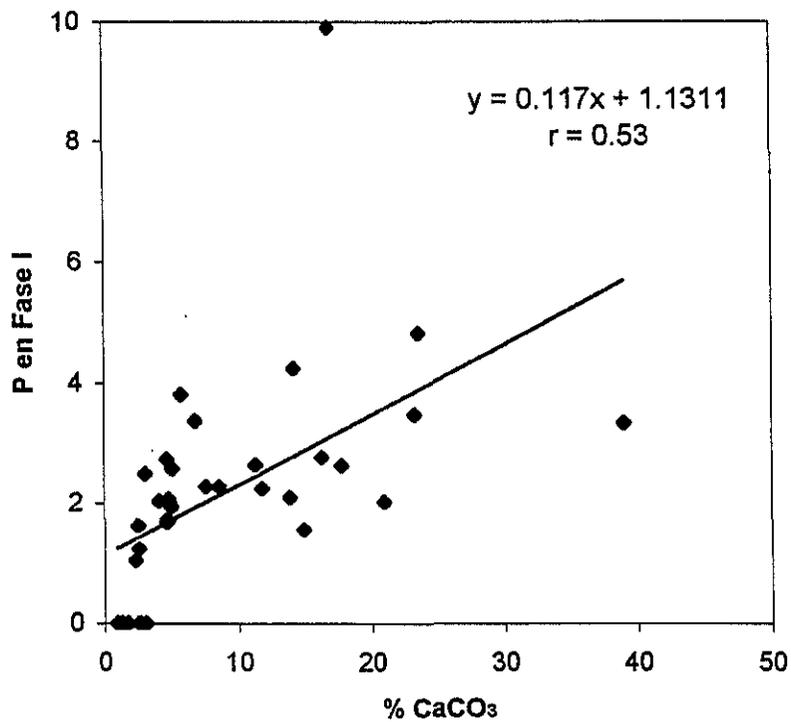


Fig. 6.9.1.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo intercambiable (μg/g) en sedimentos del Estero de Urías.

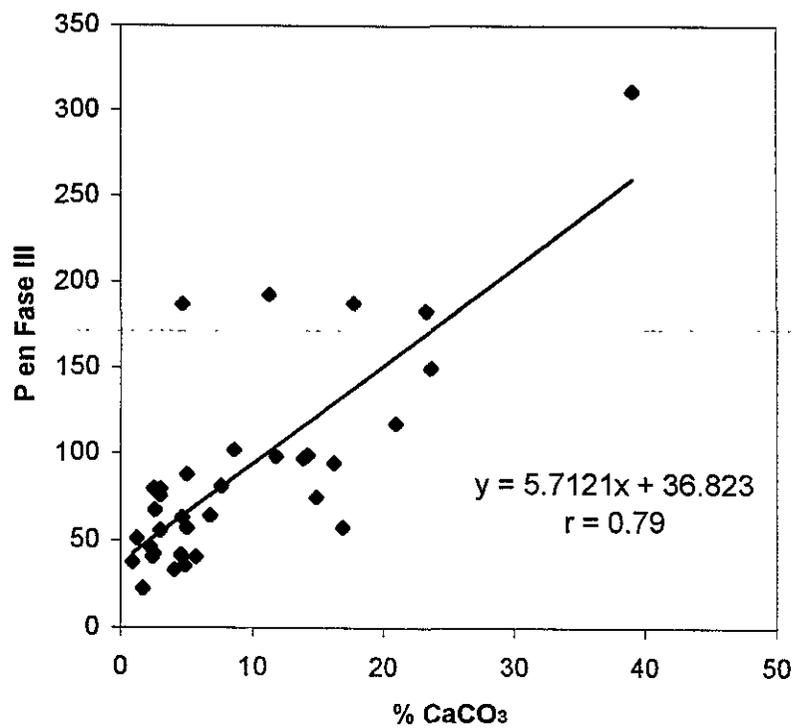


Fig. 6.9.2.- Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn (μg/g) en sedimentos del Estero de Urías.

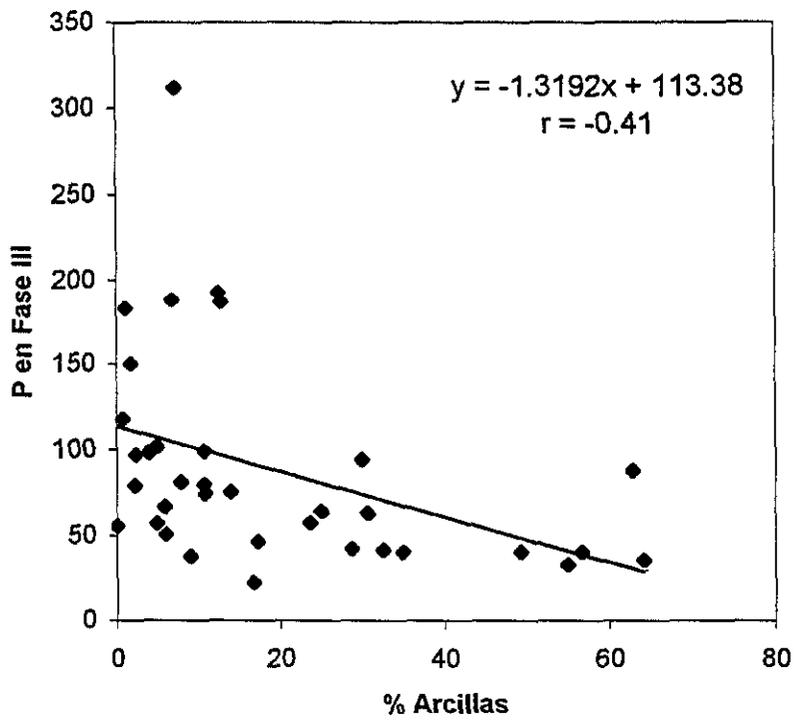


Fig. 6.9.3.- Contenido de arcillas (%) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

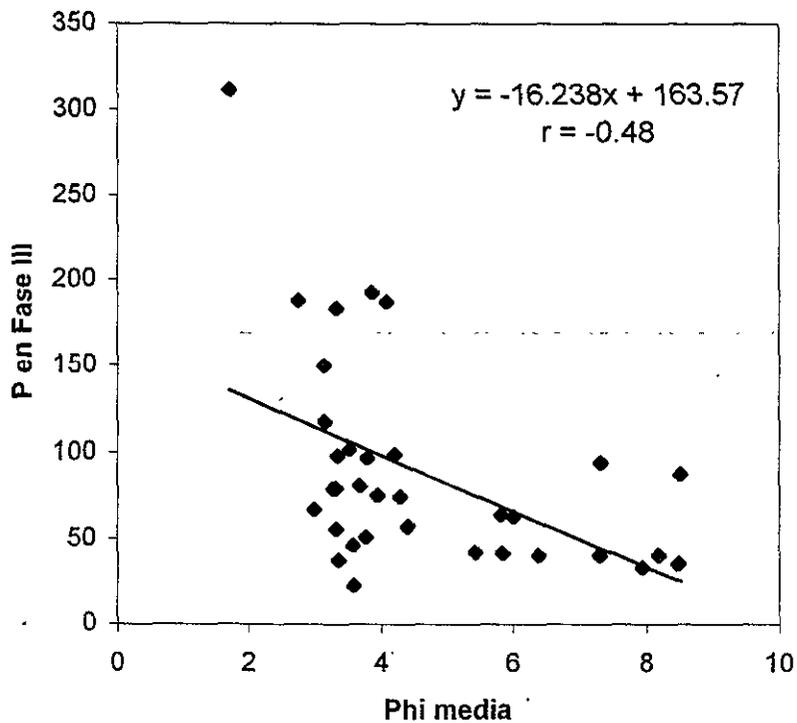


Fig. 6.9.4.- Tamaño medio de grano (ϕ) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

de 0.65 y 0.69, respectivamente (Fig. 6.9.5 y 6.9.6; Tabla 9). En estas gráficas puede observarse que los puntos que se encuentran muy alejados de la línea de tendencia, pertenecen a las estaciones S-22, UR-EXT, UR-INT y B-9 que se encuentran ubicadas en la región portuaria y bahía.

La concentración promedio para la Fase IV (fracción asociada a materia orgánica y sulfuros) fue de 142.5 $\mu\text{g/g}$, con una desviación estándar de 91.9, (Tabla 6); siendo la concentración mínima de 35.7 $\mu\text{g/g}$, perteneciente a la estación M-5 de la región aguas intermedias del Estero de Urías, mientras que la concentración máxima fue de 340.8 $\mu\text{g/g}$, localizada en la estación B-8 de la bahía, asociada al emisor de aguas negras ubicado en la zona (Anexo VII). En proporción con el total del fósforo, esta fracción constituyó el 6.4% y hasta el 61.4%.

El porcentaje de carbonato de calcio tiene un coeficiente de correlación positivo con la Fase IV igual a 0.47, que de acuerdo al número de muestras correlacionadas ($n=35$) es significativo al 95%. Las pérdidas por ignición presentan un coeficiente de correlación negativo con la Fase IV, el cual es de -0.36, significativo al 95%, lo que nos muestra el grado de asociación de esta fracción con la materia orgánica evaluada como las pérdidas por ignición (Fig. 6.9.7 y 6.9.8; Tabla 9).

Aunque era de esperarse una correlación positiva con el porcentaje de materia orgánica, en este caso sólo se presenta una correlación negativa con las pérdidas por ignición, tal vez debido a la variabilidad entre las proporciones de carbono y demás componentes volátiles (incluido el fósforo) que forman la materia orgánica.

En la Fig. 6.9.9 se presenta la distribución de fósforo en cada una de las fases geoquímicas y para cada una de las regiones en que fue dividido el Estero de Urías. Puede observarse que la fracción intercambiable (Fase I) es la que presenta la menor concentración en todas las regiones del sistema lagunar, mientras que la fracción asociada a la materia orgánica (Fase IV) es la que predomina con la mayor concentración, con excepción de la región portuaria, donde la mayor concentración la presenta la fracción asociada a los óxidos de Fe y Mn (Fase III).

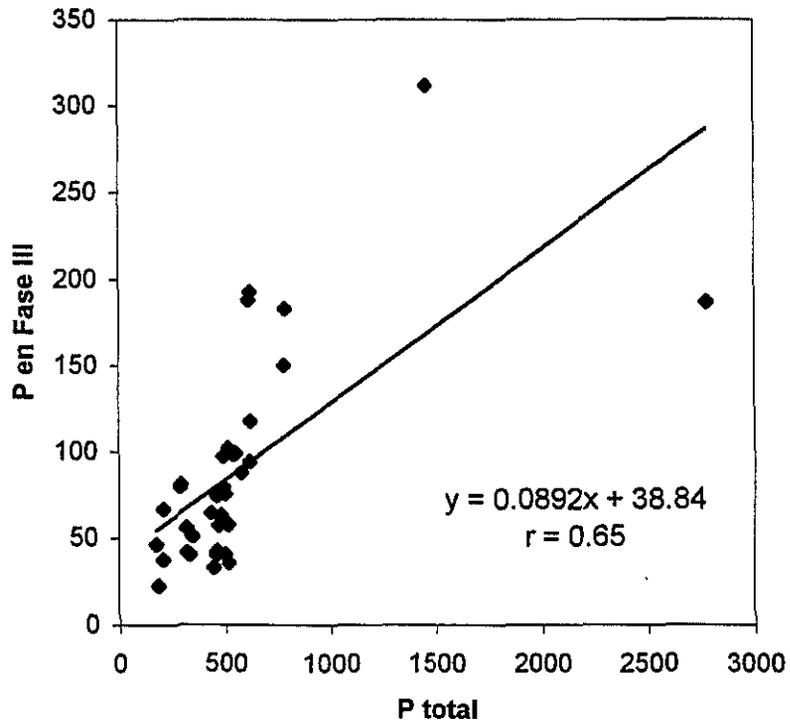


Fig. 6.9.5.- Contenido de fósforo total ($\mu\text{g/g}$) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

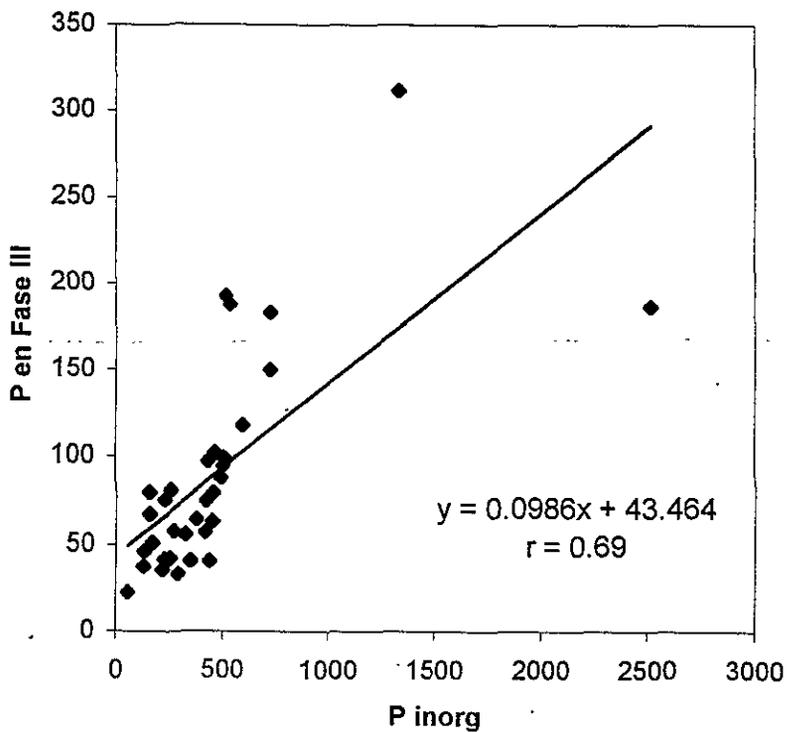


Fig. 6.9.6.- Contenido de fósforo inorgánico ($\mu\text{g/g}$) contra fósforo asociado a óxidos de Fe y Mn ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

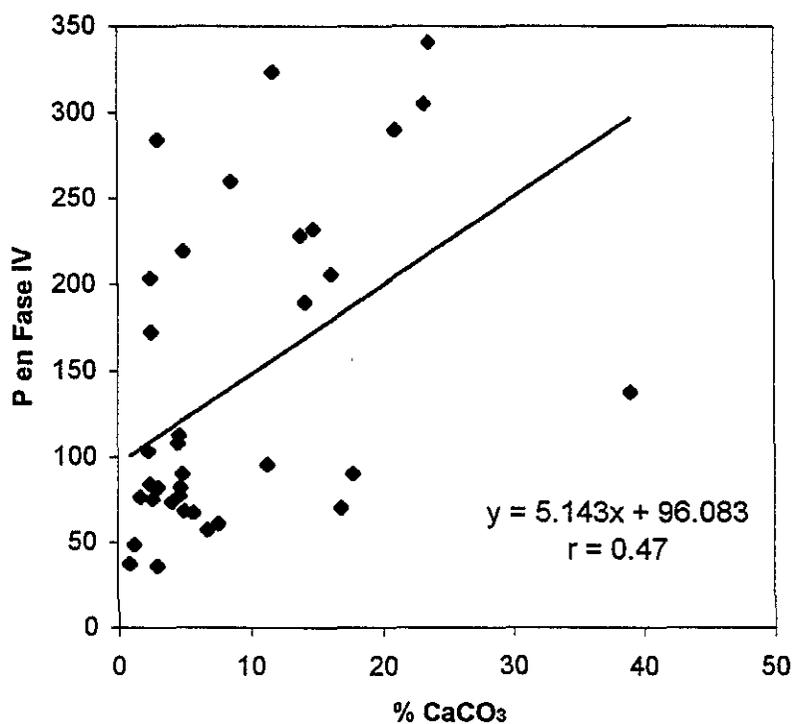


Fig. 6.9.7.-Contenido de carbonato de calcio (%) contra fósforo asociado a materia orgánica y sulfuros ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

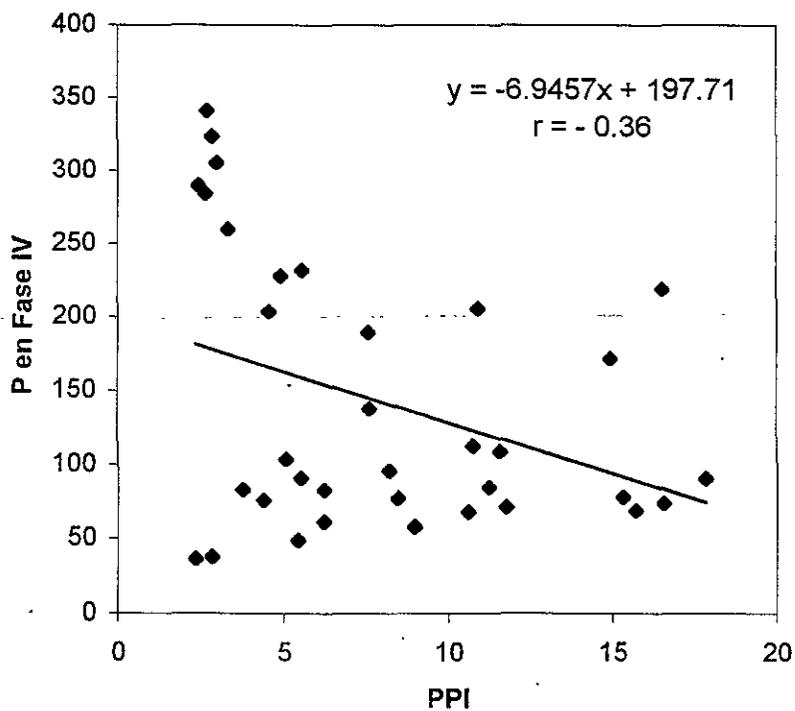


Fig. 6.9.8.- Contenido de pérdidas por ignición (%) contra fósforo asociado a materia orgánica y sulfuros ($\mu\text{g/g}$) en sedimentos del Estero de Urías.

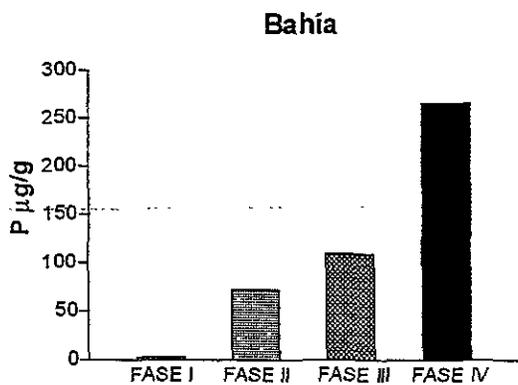
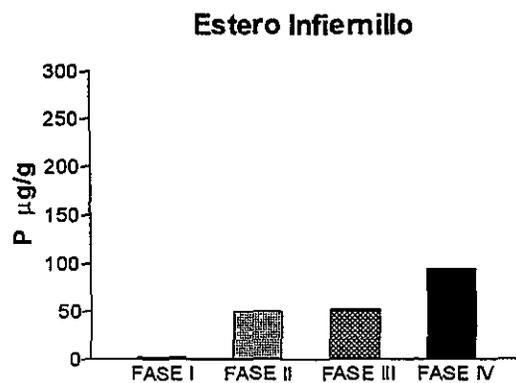
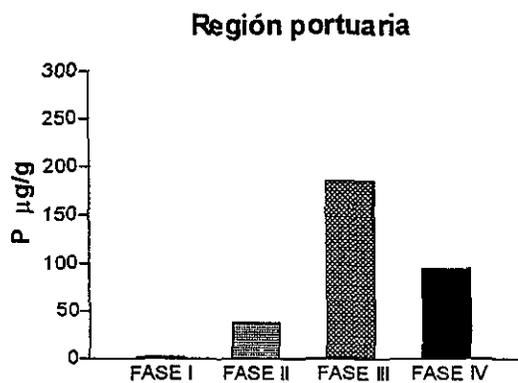
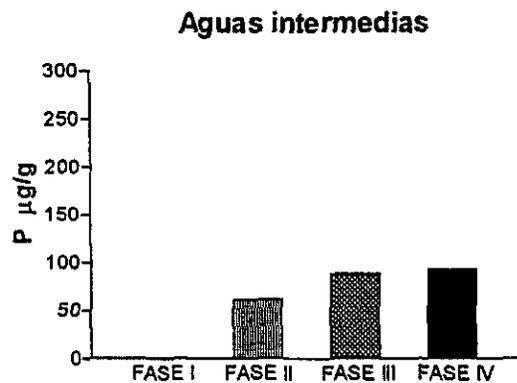
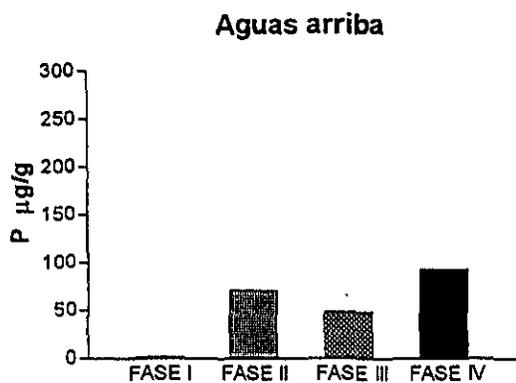


Fig. 6.9.9.- Concentración del fósforo en las fases geoquímicas de las regiones del Estero de Urías. (F1: fracción intercambiable, F2: asociada a carbonatos, F3: asociada a óxidos de Fe y Mn, F4: asociada a materia orgánica).

Otro aspecto interesante que se puede notar en la Fig. 6.9.9 viene a ser la similitud de concentraciones y de proporción de fósforo en las diferentes fracciones en las secciones del Estero de Urías conocidas como aguas arriba, aguas intermedias y Estero Infiernillo. En contraste, los sedimentos de la región portuaria y de la porción de la bahía muestran un patrón distinto, con concentraciones más altas.

6.10 Geoquímica de la columna sedimentaria.

En la Fig. 5.2 se muestra la localización del núcleo recolectado en la cabeza lagunar del Estero de Urías con una longitud de 50 cm, el cual se dividió en 10 secciones de 5 cm cada una, evaluándose los siguientes parámetros en cada una de ellas: granulometría, materia orgánica, fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico, cuyos resultados se resumen en la siguiente tabla:

Prof. (cm)	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)	M ϕ	% C org	P total ($\mu\text{g/g}$)	P inorg ($\mu\text{g/g}$)	P org ($\mu\text{g/g}$)
0-5	10.4	63.9	25.7	7.2	4.8	522.9	329.0	193.9
5-10	17.3	58.1	24.7	6.9	7.0	489.8	49.7	440.1
10-15	28.9	52.4	18.6	6.3	7.4	422.6	152.8	269.8
15-20	27.9	57.3	14.8	6.1	9.0	345.1	132.8	212.3
20-25	17.3	67.2	15.6	6.5	6.8	389.6	159.4	230.2
25-30	2.6	75.1	22.3	7.0	9.3	245.9	146.1	99.8
30-35	11.9	68.4	19.6	7.1	8.7	334.8	156.1	178.7
35-40	0.8	80.8	18.4	6.9	9.5	389.6	137.8	251.8
40-45	24.1	57.3	18.6	6.6	7.1	356.5	137.8	218.7
45-50	11.0	69.0	20.0	6.7	7.6	334.8	17.7	317.1

De acuerdo al criterio de Shepard (1954) se encontró que la columna sedimentaria fue predominantemente limosa, con porcentajes superiores al 50% de limos, mientras que los porcentajes de arenas y arcillas estuvieron por debajo del 30%, presentando la mayoría de las secciones del núcleo sedimentos clasificados como limos arcillosos y el resto como limos arenosos, variando su tamaño promedio de grano desde 6.1 hasta 7.2 ϕ (Fig. 6.10.1 y 6.10.2). Se observa una tendencia a la acumulación de sedimentos finos en las capas inferiores del núcleo hasta la sección de 30-35 cm, a partir de donde empiezan a acumularse sedimentos más gruesos hasta la sección de 15 a 20 cm donde se observa

de nuevo una tendencia a la acumulación de sedimentos finos hasta la capa superior. Los patrones de distribución vertical de los porcentajes de limos, arcillas y tamaño medio de grano son muy semejantes en su comportamiento presentando una disminución en los valores desde la superficie hasta aproximadamente los 15-20 cm de profundidad, seguido de un aumento hasta los 30-35 cm, para disminuir de nuevo hasta el fondo del núcleo (Fig. 6.10.1 y 6.10.2).

Respecto a la distribución vertical de carbono orgánico puede notarse una variabilidad en las capas inferiores del núcleo sedimentario, pero a partir de la sección de 15 a 20 cm se observa una clara disminución del contenido de carbono orgánico hacia las capas de sedimento depositadas recientemente, no obstante la disminución del tamaño de grano en estas capas, encontrándose en esta última capa una concentración mínima de 4.8%, cuando el porcentaje promedio en el núcleo fue de 7.7% (Fig. 6.10.4).

El fósforo total presenta una clara tendencia a disminuir con respecto a la profundidad, encontrándose una concentración mínima de 245.9 $\mu\text{g/g}$ en la sección de 25-30 cm y la concentración máxima de 522.9 $\mu\text{g/g}$ en la capa superior del núcleo, con una concentración promedio en el núcleo de 383.2 $\mu\text{g/g}$ (Fig. 6.10.3).

El fósforo inorgánico presenta esta misma tendencia a disminuir con respecto a la profundidad, aunque en este caso es menos notoria, encontrándose la concentración máxima de 329.0 $\mu\text{g/g}$ en la sección superior y manteniéndose sin muchas variaciones en el resto de las secciones aproximadamente en el promedio del núcleo que fue de 141.9 $\mu\text{g/g}$, con excepción de la sección inferior que experimenta la concentración menor encontrada en el núcleo (Fig. 6.10.3).

El fósforo orgánico presenta una gran variabilidad a lo largo del núcleo dominando la disminución de la concentración con respecto a la profundidad, aunque la concentración tiende a incrementarse en las capas inferiores del núcleo, de manera que presenta un promedio de 241.2 $\mu\text{g/g}$ (Fig. 6.10.4).

No obstante que el perfil de la concentración de carbono orgánico es anómalo debido a que se incrementa el contenido de carbono orgánico con la profundidad, en lugar de decrecer si el aporte fuese constante con el tiempo, se tiene que tanto el fósforo

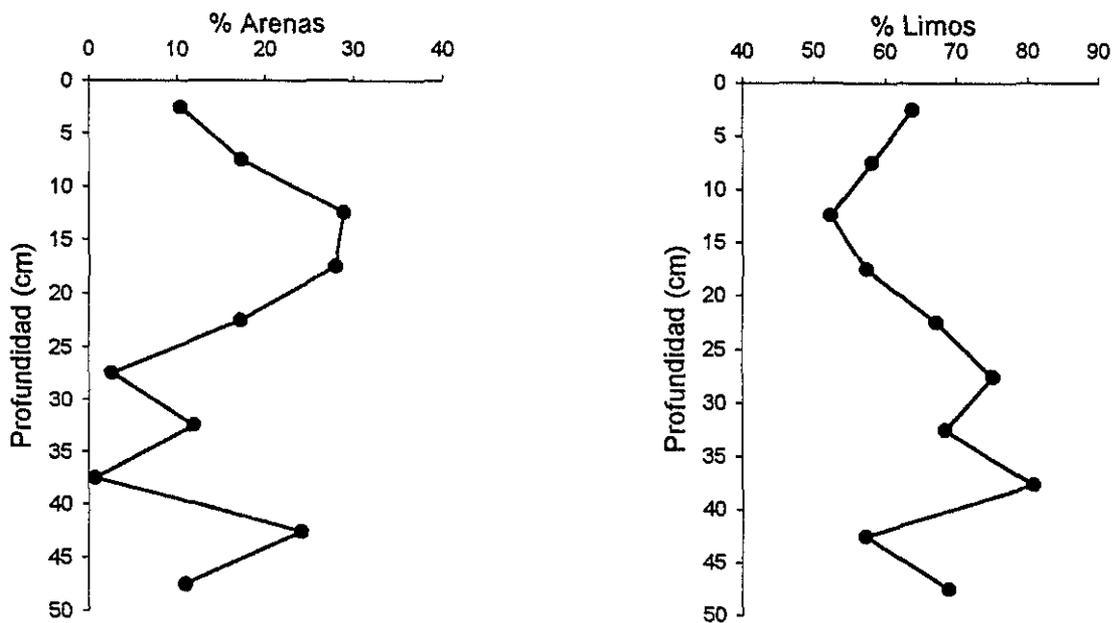


Fig. 6.10.1.- Distribución vertical de los porcentajes de arenas y limos en el núcleo del Estero de Urías.

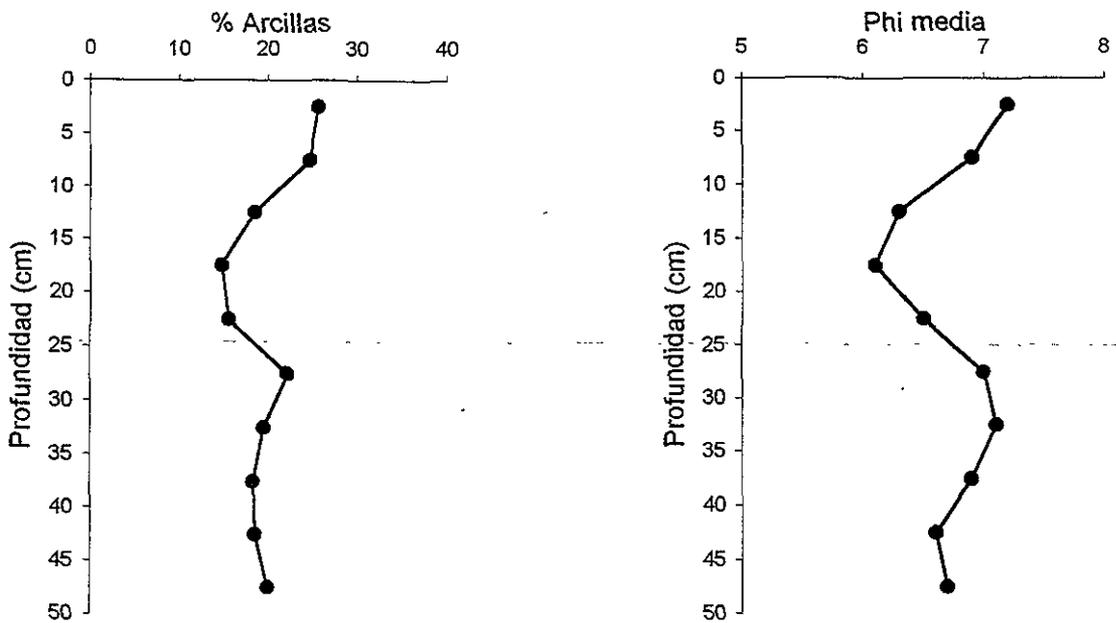


Fig. 6.10.2.- Distribución vertical del porcentaje de arcillas y tamaño medio de grano en el núcleo del Estero de Urías.

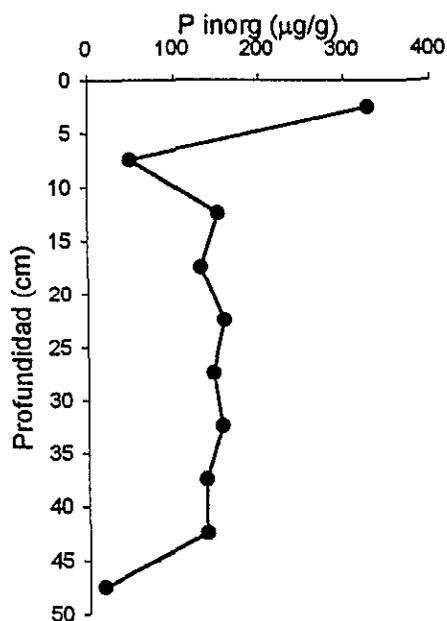
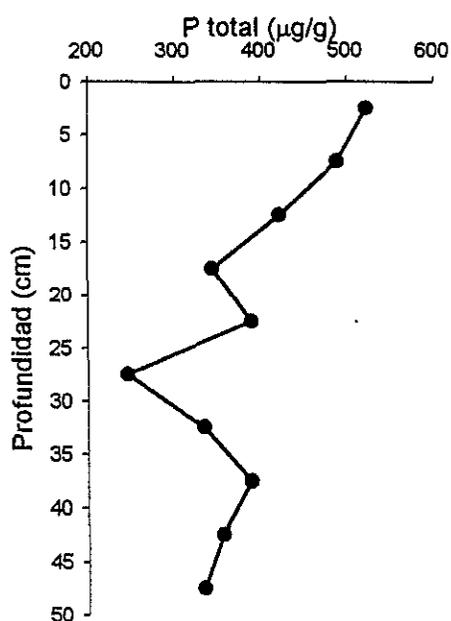


Fig. 6.10.3.- Distribución vertical de la concentración de fósforo total y fósforo inorgánico en el núcleo del Estero de Urías.

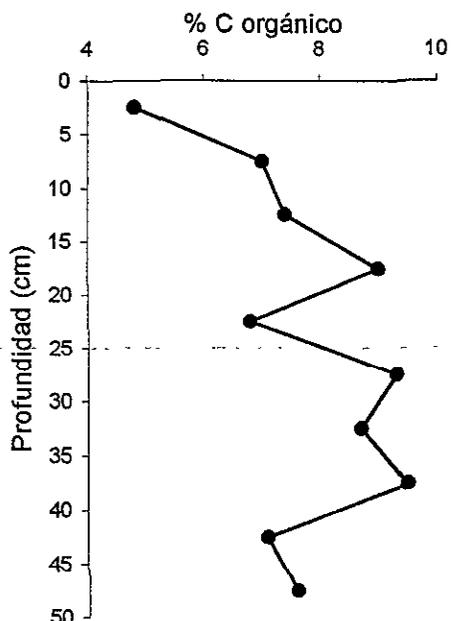
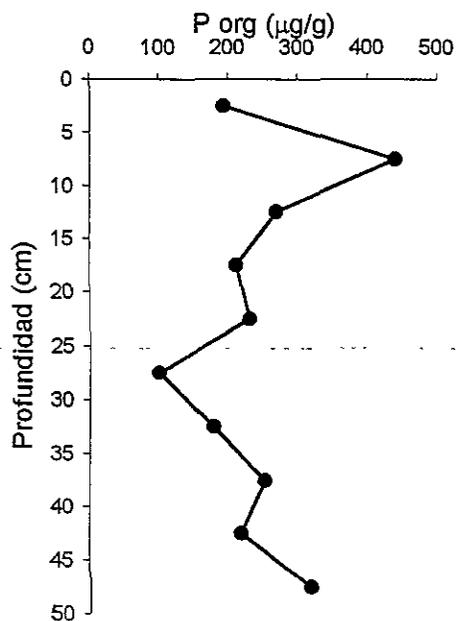


Fig. 6.10.4.- Distribución vertical de la concentración de fósforo orgánico y carbono orgánico en el núcleo del Estero de Urías.

inorgánico como total se han venido incrementando en los estratos más recientes, y esto implica que el aporte de fósforo ha aumentado significativamente en este sitio del sistema lagunar.

Fue determinada la concentración de fósforo disuelto en el agua intersticial de este mismo núcleo, de manera que los resultados muestran que éste se precipita para convertirse en su mayoría en fósforo inorgánico, de acuerdo a los perfiles verticales obtenidos (Proyecto CONACYT 0625-N9110), presentando diagénesis en la parte superior de núcleo.

Los flujos de fósforo a través de la interfase agua-sedimento fueron dominados por la captación de fósforo, de manera que los sedimentos actúan más bien como receptores o sumidero del fósforo, por lo menos en esta zona en donde se extrajo el núcleo, considerada como libre de contaminación de acuerdo a los criterios de aceptabilidad del Departamento Pesquero de Canadá.

7. Conclusiones

1. El contenido de fósforo total en Altata-Ensenada del Pabellón varió de 267.8 a 1389 $\mu\text{g/g}$, encontrándose los valores más altos en las lagunas Caimanero, Bataoto y Chiricahueto y en algunos puntos del estuario del Río Culiacán. En el Estero de Urías, la concentración de fósforo total fue aumentando desde el interior hacia la boca, variando de 492.2 a 2773.8 $\mu\text{g/g}$, encontrándose los valores más altos en un punto de la región portuaria y en las estaciones vecinas asociadas al emisor de aguas negras. Al evaluar estadísticamente las concentraciones promedio de fósforo total, se encontró diferencia significativa entre ambos sistemas lagunares, presentando una menor concentración el Estero de Urías. En Altata-Ensenada del Pabellón, la concentración de fósforo total presentó una correlación positiva con el contenido de lodos (% limos + % arcillas) y con el tamaño medio de grano ya que el fósforo se asocia a las partículas finas. En el Estero de Urías sólo correlacionó positivamente con el contenido de carbonato de calcio, indicando que posiblemente el fósforo esté en la forma de fosfato de calcio, en este cuerpo lagunar.

2. Se obtuvo una concentración promedio de 456.2 $\mu\text{g/g}$ de fósforo inorgánico en Altata-Ensenada del Pabellón y las regiones en que se dividió el sistema tuvieron medias que van de 314.6 a 574.3 $\mu\text{g/g}$, mientras que en el Estero de Urías se obtuvo un promedio de 356.7 $\mu\text{g/g}$, con medias en sus regiones de 235 a 1201.1 $\mu\text{g/g}$. Con respecto al contenido de fósforo inorgánico se encontraron diferencias significativas entre ambos cuerpos de agua, resultando menor la concentración promedio en los sedimentos del Estero de Urías. En Altata-Ensenada del Pabellón, el fósforo inorgánico presentó correlación negativa con el porcentaje de arenas y con el porcentaje de lodos (positiva), esta preferencia por las partículas finas pudiera indicar que el fósforo inorgánico está asociado al hierro y aluminio, mientras que en el Estero de Urías presenta una correlación positiva con el contenido de carbonato de calcio, lo que indica que el fósforo pudiera estar en la forma de fosfato de calcio y asociado a las partículas gruesas, ya que también presenta correlación positiva con el porcentaje de arenas.

3. Con respecto a la evaluación del fósforo orgánico, se encontró una concentración promedio de 100.7 $\mu\text{g/g}$ en Altata-Ensenada del Pabellón y de 135.6 $\mu\text{g/g}$ en el Estero de Urías, resultando este último sistema lagunar con concentraciones significativamente mayores ($P > 0.05$). Las concentraciones promedio en las regiones en que fue dividido el

Estero de Urías variaron de 51.1 a 167.1 $\mu\text{g/g}$, mientras que en Altata-Ensenada del Pabellón fueron de 76.9 a 193.2 $\mu\text{g/g}$. En el Estero de Urías el contenido de fósforo orgánico presentó una correlación positiva significativa con respecto al porcentaje de arcillas, lodos y tamaño medio de grano, en cambio en Altata-Ensenada del Pabellón no sucede así, tal vez debido a que en el Estero de Urías se presenta una mayor concentración de fósforo orgánico y un tamaño de grano más pequeño en comparación con el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

4. En relación al cálculo de la relación atómica C org : P org se puede observar que ésta va disminuyendo conforme los sedimentos se van haciendo más marinos, tanto en el sistema lagunar de Altata-Ensenada del Pabellón como en el Estero de Urías, en este último sistema exceptuando la región de la bahía que se encuentra influenciada por el emisor de aguas negras.

5. Con respecto a las fracciones geoquímicas evaluadas se puede concluir que la fracción intercambiable (Fase I) constituyó en promedio un 0.4% del fósforo total, con una concentración promedio de 2.2 $\mu\text{g/g}$, presentando una correlación positiva con el porcentaje de carbonatos. La Fase II (asociada a carbonatos) constituyó en promedio un 11.6% del fósforo total, con una concentración promedio de 64.2 $\mu\text{g/g}$, y no presentó correlación significativa con ninguno de los parámetros evaluados. Para la fracción asociada a óxidos de Fe y Mn (Fase III) se obtuvo una concentración promedio de 88.4 $\mu\text{g/g}$ y constituyó en promedio un 15.9% del fósforo total, mientras que el 25.7% del fósforo total perteneció a la fracción asociada con la materia orgánica y los sulfuros (Fase IV), con una concentración promedio de 142.5 $\mu\text{g/g}$. El 46.4% restante pertenece a la fracción residual. Por lo que el fósforo extraído pertenece principalmente a las fases residual y asociada a la materia orgánica.

6. El tamaño promedio de grano de los sedimentos superficiales de Altata-Ensenada del Pabellón presenta una tendencia a disminuir en zonas como Ensenada del Pabellón y lagunas interiores (4.4 ϕ), regiones donde el efecto de mareas no tiene mucha influencia; presentando sedimentos con tamaño de grano más grueso en la región de Altata, donde las corrientes de marea se hacen sentir con más fuerza. Con respecto al Estero de Urías, presenta la misma tendencia a acumular sedimentos finos en las zonas con poca influencia del régimen de mareas, como lo son las regiones aguas arriba (6.6 ϕ) y Estero

Infiernillo (6.7 ϕ), siendo mayor el tamaño de grano conforme se avanza hacia la boca del sistema, con tamaños de grano en la región portuaria de 3.2 ϕ y en la bahía de 3.9 ϕ .

7. En Altata-Ensenada del Pabellón el contenido de carbono orgánico varió de 0.16 a 11.5%, ubicándose este máximo en la región Ensenada del Pabellón, encontrándose el resto de las regiones muy por debajo de este valor, con medias entre 0.64 y 2.33%. Con respecto al contenido de carbono orgánico en el Estero de Urías se tiene una variación de 0.56 a 11.43% con una media de 3.1%. El valor más alto se presentó en el Estero Infiernillo, el resto de las regiones presentaron medias entre 1.31 y 4.47%. Al evaluar estadísticamente las concentraciones medias de carbono orgánico en las dos lagunas se encontró que el Estero de Urías posee sedimentos con mayor cantidad de materia orgánica que Altata-Ensenada del Pabellón.

8. En el Estero de Urías, las correlaciones carbono orgánico-tamaño medio de grano y carbono orgánico-pérdidas por ignición resultaron mayores que en Altata-Ensenada del Pabellón, ya que los porcentajes de carbono orgánico y pérdidas por ignición en el Estero de Urías son mayores que en Altata-Ensenada del Pabellón, mientras que el Estero de Urías posee sedimentos de partículas más finas. El carbono orgánico correlaciona positivamente con el fósforo inorgánico en Altata-Ensenada del Pabellón, lo que puede deberse a que en los sitios donde se acumula más materia orgánica también se acumule más fósforo inorgánico, como en las lagunas interiores (Caimanero, Bataoto y Chiricahueto), mientras que en el Estero de Urías el carbono orgánico correlaciona positivamente con el fósforo orgánico, lo que es previsible cuando las características de la materia orgánica son muy semejantes en composición en todo el cuerpo lagunar y ello se debe probablemente a que la materia orgánica tiene un mismo origen.

9. De acuerdo con los criterios de aceptabilidad adoptados por el Departamento Pesquero de Canadá para el desecho de materiales de dragado en el mar, en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón son considerados libres de polución los sedimentos de una parte de Ensenada del Pabellón y una región cercana a la boca Tonina. Mientras que están clasificados como fuertemente contaminados los sedimentos de algunas zonas del estuario del Río Culiacán, las lagunas de Caimanero, Bataoto y Chiricahueto y sus proximidades, (zonas donde se descargan las aguas de los drenes agrícolas), así como el estero El Tigre, puntos localizados en la parte central de la región Ensenada del Pabellón

y una pequeña zona cercana a la boca Gavilán. El resto del sistema lagunar cae en la clasificación de moderadamente contaminado. Por otra parte, en el Estero de Urias, considerando las concentraciones de fósforo total, se presentan sedimentos libres de polución en gran parte de la cabeza lagunar y en una amplia zona de las aguas intermedias, presentando sedimentos moderadamente contaminados en el resto del sistema con zonas muy localizadas clasificadas como fuertemente contaminadas, como lo son las estaciones asociadas al emisor de aguas negras. Sin embargo, al considerar las pérdidas por ignición como criterio de aceptabilidad, resultan fuertemente contaminadas regiones como el Estero Infiernillo, parte de la región de aguas intermedias y casi la totalidad de la región aguas arriba, lo que se atribuye al elevado porcentaje de arcillas en esas regiones, lo que causa una sobre-estimación del porcentaje de pérdidas por ignición. Por lo que ambos criterios de aceptabilidad sólo coinciden al considerar como libre de polución una parte de la región aguas intermedias y el Estero El Caimán.

10. Granulométricamente, el núcleo sedimentario presentó una dominancia por el porcentaje de limos y una tendencia a la acumulación de sedimentos finos en las capas superiores del núcleo. Con respecto a la variación de la concentración de carbono orgánico en el núcleo, se observó un comportamiento anómalo debido a que no decrece con la profundidad, como era de esperarse, sino que se incrementa, de manera que las capas superiores tienen concentraciones menores de carbono orgánico, no obstante que estas capas poseen tamaños de grano más pequeños. Las concentraciones de fósforo total e inorgánico presentan ambos una tendencia a incrementarse en los estratos más recientes, lo mismo que el fósforo orgánico aunque con menos claridad, implicando que el aporte de fósforo ha aumentado significativamente en el Estero El Caimán, zona donde fue extraído el núcleo sedimentario, tal vez debido a las descargas de la granja camaronícola "La Clementina" establecida en esa región.

11. Con respecto al inventario del fósforo, en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón se encontró que la región que posee la mayor cantidad de fósforo por unidad de área fue el Río Culiacán (18.7 ton P/km²), valor comparable al obtenido para las lagunas interiores (18.4 ton P/km²), región que recibe las aguas de los drenes agrícolas. En el Estero de Urias, la región portuaria fue la que presentó la mayor cantidad de fósforo por unidad de área (43.7 ton P/km²), seguida de la bahía (20.2 ton P/km²) que es una zona influenciada por el emisor de aguas negras ubicado en esa región.

8. Bibliografía

- Álvarez-León, R., 1980. **Hidrología y Zooplancton de tres esteros adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México.** *An. Centr. Cienc. del Mar y Limn. Univ. Nal. Autón. México.* 7:177-195.
- Aspila, K. I., H. Agemian y A. S. Y. Chau, 1976. **A semiautomated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments.** *Analyst* 101: 187-197.
- Atkinson, M. J., 1987. **Low phosphorus sediments in a hypersaline marine bay.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 24: 335-347.
- Barrow, N. J., 1961. **Phosphorus in soil organic matter.** *Soils Fert.* 24:169-173.
- Berner, R. A. y J. L. Rao, 1994. **Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea.** *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58(10): 2333-2339.
- Boynton, W. R., W. M. Kemp y C. W. Keefe, 1982. **A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production.** En: Kennedy, V. (Editor) *Estuarine comparisons.* Academic, San Diego, 69-90 p.
- Broecker, W. S. y T. H. Peng. 1982. **Tracers in the sea.** Lamont-Doherty Geological Observatory, New York.
- Carvalho, F. P., S. W. Fowler, F. González-Farías, L. D. Mee y J. W. Readman, 1996. **Agrochemical residues in the Altata-Ensenada del Pabellón coastal lagoon (Sinaloa, Mexico): a need for integrated coastal zone management.** *Internat. J. Environ. Health Res.* 209-220 p.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, E. Ruiz-Ramírez, S. Santiago-Pérez, 1989. **Investigations of Phosphorite Deposits in the Gulf of Tehuantepec, Mexico.** *Marine Mining.* Vol. 8. 317-323 p.
- Contreras, E. F., 1985. **Las lagunas costeras mexicanas.** Centro de Ecodesarrollo. México, D. F. 95-98 p.
- Dean, W. E. Jr., 1974. **Determinations of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods.** *J. Sedim. Petrol.*, 44: 242-248.
- DEEE, 1985. **Síntesis monográfica del Municipio de Mazatlán.** Dirección de Estadística y Estudios Económicos de la Secretaría de Hacienda Pública y Tesorería del Gobierno del Estado de Sinaloa, 92 p.
- De Jonge, V. N. y Villerius, L. A., 1989. **Possible role of carbonate dissolution in estuarine phosphate dynamics.** *Limnology and Oceanography* 34: 332-340.

- D'Elia, C. F., D. M. Nelson y W. R. Boynton, 1983. **Chesapeake Bay nutrient and plankton dynamics: III. The annual cycle of dissolved silicon.** *Geochim. Cosmochim. Acta* 47: 1945-1955.
- D'Elia, C. F., J. G. Sanders y W. R. Boynton, 1986. **Nutrient enrichment studies in a coastal plain estuary: phytoplankton growth in large-scale, continuous cultures.** *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 397-406.
- Dortch, Q. y T. E. Whitledge, 1992. **Does nitrogen or silicon limit phytoplankton production in the Mississippi River plume and nearby regions?** *Cont. Shelf. Res.* 12: 1293-1309.
- El-Rayis, Osman A., 1985. **Re-assessment of the titration method for determination of organic carbon in recent sediments.** *Rap. Comm. Int. Mer Medit.* Vol. 29. No. 7.
- Folk, R. L., 1974. **Petrology of sedimentary rocks.** Hemphill Pub. Co., Austin, TX. 151 p.
- Folk, R. L. y M. Ward, 1957. **Brazos river bar: Study of the significance of grain size parameters.** *Jour. Sedim. Petrol.* 27 (1): 3-26.
- Fox, I., 1986. **Adsorption studies of phosphates by bed deposits in rivers with special reference to the Great Stour.** Ph. D. thesis. Mid-Kent College of Higher and Further Education. Chatham.
- Fox, I., M. A. Malati y R. Perry, 1989. **The adsorption and release of phosphate from sediments of a river receiving sewage effluent.** *Wat. Res.* Vol. 23, No. 6. 725-732 p.
- García, E., 1973. **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.** Instituto de Geografía. Univ. Nal. Autón. de México. 246 p.
- Gaudette, H. E., W. R. Flight, L. Toner y D. M. Folger, 1974. **A inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments.** *J. Sedim. Petrol.*, 44: 249-253.
- Gaudette, H. E. y W. B. Lyons, 1980. **Phosphate geochemistry in nearshore carbonate sediments: A suggestion of apatite formation.** En: Marine Phosphorites – Geochemistry, Occurrence, Genesis. Bentor, Y. K., Editor. SEPM Special Publication No. 29, 215-225 p, November 1980.
- Goldman, J. C., 1976. **Identification of nitrogen as a growth-limiting nutrient in wastewaters and coastal marine waters through continuous culture algal assays.** *Water Res.* 10: 97-104.
- Golterman, H. L., 1973. **Vertical movement of phosphorus in freshwater.** En: Griffith, E. J., A. Beeton, J. M. Spencer y D. T. Mitchell (Editores). Environmental Phosphorus Handbook, John Wiley Publications, New York, 286-293 p.
- Green-Ruiz, C. R., 1996. **Geoquímica de los sedimentos de la laguna costera subtropical Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México.** Tesis de Maestría. UACPyP, CCH, UNAM. México, 185 p.

- Grim, E. R., 1953. **Clay mineralogy**. McGraw-Hill, New York, 190 p.
- Harrison, P. J., M. H., Hu, Y. P. Yang y X. Lu, 1990. **Phosphate limitation in estuarine and coastal waters of China**. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 140: 79-87.
- Hesse, P. R., 1973. **Phosphorus in lake sediments**. En: Griffith, E. J., A. Beeton, J. M. Spencer y D. T. Mitchell (Editores), *Environmental Phosphorus Handbook*, John Wiley Publications, New York, 573-584 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1987. **Anuario Estadístico del Estado de Sinaloa**. Culiacán, Sin., 652 p.
- Istvánovics, V., S. Herodek y F. Szilágyi, 1989. **Phosphate adsorption by different sediment fractions in lake Balaton and its protecting reservoirs**. *Wat. Res.* 23(11): 1357-1366.
- Izaguirre-Fierro, G., F. Páez-Osuna y J. I. Osuna-López, 1992. **Heavy metals in fishes from Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico**. *Ciencias Marinas*, 18:143-151.
- Klapwijk, S. P., J. M. W. Kroon y M. L. Meijer, 1982. **Available phosphorus in lake sediments in the Netherlands**. *Hydrobiologia* 192: 491-500.
- Krom, M. D. y R. A. Berner, 1981. **The diagenesis of phosphorus in a nearshore marine sediment**. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45: 207-216.
- Krumbein, W. C. y F. J. Pettijohn, 1938. **Manual of sedimentary petrography**. Appleton Century Crafts Inc., New York, 549 p.
- Lankford, R. R., 1977. **Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification**. En: *Estuarine Processes* (M. Wiley, Ed.). Vol. II. Academic Press, Nueva York, 183-215 p.
- Loring, D. H. y R. T. T. Rantala, 1977. **Geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter**. Fisheries and Marine Service. *Technical Report 700*, 44 p.
- Mayer, T y M. G. Johnson, 1994. **History of anthropogenic activities in Hamilton Harbour as determined from the sedimentary record**. *Environ. Pollut.* 86 : 341-347.
- Mesnage, V. y B. Picot, 1995. **The distribution of phosphate in sediments and its relation with eutrophication of a Mediterranean coastal lagoon**. *Hydrobiologia*, 297: 29-41.
- Meyers, V. B. y R. I. Iverson, 1981. **Phosphorus and nitrogen limited phytoplankton productivity in northeastern Gulf of Mexico coastal estuaries**. En: Neilson, B. J., Cronin, L. E. (Editores). *Estuaries and nutrients*. Humana, Clifton, N. J., 569-582 p.
- Miller, J. C. y J. N. Miller, 1988. **Statistics for analytical chemistry**. Segunda edición. Editorial Ellis Horwood, 227 p.
- Moody, J. R. y R. M. Lindstrom, 1977. **Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples**. *Analytical Chemistry* 49: 2264-2267.

Morales de la Garza, E. A. y A. Carranza-Edwards, 1995. **Sedimentos fosfatados en el Golfo de Tehuantepec.** *Hidrobiologica* 5 (1-2): 25-36.

Morse, J. W. y N. Cook, 1978. **The distribution and form of phosphorus in North Atlantic Ocean deep-sea and continental slope sediments.** *Limnology and Oceanography* 23: 825-830.

Moutin, T., B. Picot, M. C. Ximenes y J. Bontoux, 1993. **Seasonal variations of P compounds and their concentrations in two coastal lagoons (Herault, France).** *Hydrobiologia* 252: 45-59.

Olsen, S., 1958. **Other chemical, physical and bacteriological studies: phosphate adsorption and isotopic exchange in lake muds.** *Verh. Int. Verein. Limnol.* 13: 915-922.

Páez-Osuna, F., M. L. Fong-Lee y H. Fernández Pérez, 1984. **Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos (Nota científica).** *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 11 (1): 257-264.

Páez-Osuna, F., D. S. Valdés-Lozano, H. M. Alexander y H. Fernández. 1987. **Trace metals in the fluvial system of Terminos Lagoon, Mexico.** *Mar. Pollut. Bull.* 8: 294-297.

Páez-Osuna, F., Y. Montaña-Ley y H. Bojórquez-Leyva, 1990. **Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes.** *Rev. Int. Contam. Ambient.* 6: 19-32.

Páez-Osuna, F., H. Bojórquez-Leyva y J. I. Osuna-López, 1991. **Accumulation and Distribution of Phosphorus in Sediments of the Gulf of California.** *Marine Mining* 10:285-301.

Páez-Osuna, F., H. Bojórquez-Leyva, G. Izaguirre-Fierro, J. I. Osuna-López y F. González-Farías, 1992. **Carbono y fósforo en sedimentos de un sistema lagunar asociado a una cuenca de drenaje agrícola.** *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol., Univ. Nal. Auton. México*, 19 (1): 1-11.

Páez-Osuna, F., J. I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro y H. M. Zazueta-Padilla, 1993 (a). **Heavy metals in oysters from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin.** *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50: 696-702.

Páez-Osuna, F., J. I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro y H. M. Zazueta-Padilla, 1993 (b). **Heavy metals in clams from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin.** *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50: 915-921.

Páez-Osuna, F., J. I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro y H. M. Zazueta-Padilla, 1994. **Trace metals in mussels from the Ensenada del Pabellón lagoon, Mexico.** *Mar. Pollut. Bull.* 28(2): 124-126.

Páez-Osuna, F., H. Bojórquez-Leyva y C. Green-Ruiz, 1998. **Total carbohydrates: organic carbon ratio in lagoon sediments as an indicator of organic effluents from agriculture and sugar-cane industry.** *Environ. Pollut.* (En prensa).

Pennock, J. R., 1985. **Chlorophyll distributions in the Delaware Estuary: regulation by light-limitation.** *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 21: 711-725.

Pennock, J. R. y J. H. Sharp, 1994. **Temporal alternation between light -and nutrient-limitation of phytoplankton production in a coastal plain estuary.** *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 111: 275-288.

Pierrou, U., 1979. **The phosphorus cycle: Quantitative aspects and the role of man.** En: P. A. Trudinger y D. J. Swaine (Editores), Biogeochemical cycling of mineral forming elements. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 205-210 p.

Piper, C. S., 1950. **Soil and Plant Analysis.** Interscience, New York.

Rauret, G., R. Rubio, J. F. López-Sánchez y E. Casassas, 1988. **Determination and especiation of copper of a river Mediterranean (River Tenes, Catalonia, Spain).** *Wat. Res.* 22 (4):449-455.

Readman, J. W., L. L. W. Kwong, L. D. Mee, J. Bartocci, G. Nilve, J. A. Rodríguez-Solano y F. González-Farías, 1992. **Persistent organophosphorus pesticides in tropical marine environments.** *Mar. Pollut. Bull.* 24: 398-402.

Rigler, F. H., 1973. **A dynamic view of the phosphorus cycle in lakes.** En: Griffith, E. J., A. Beeton, J. M. Spencer y D. T. Mitchell (Editores). Environmental Phosphours Handbook. John Wiley Publications, New York, 539-572 p.

Ryther, J. H. y W. M. Dunstan, 1971. **Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment.** *Science* 171: 1008-1013.

Secretaría de Industria y Comercio, inédito, 1970. **Análisis teórico de la estabilidad de acceso a la Bahía de Altata.** Depto. de Ing. Hidrául. y Pesq. 1969-1970.

Secretaría de Marina, 1974. **Estudio geográfico de la región de Mazatlán, Sinaloa.** Sría. de Marina. *Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo.* México.

Schindler, D. W., 1978. **Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters.** *Limnol. Oceanogr.* 23: 478-486.

Sharp, J. H. y T. M. Church, 1980. **Biochemical modeling in coastal waters of the middle Atlantic states.** *Limnol. Oceanogr.* 26: 843-854.

Shepard, F., 1954. **Submarine geology.** Tercera Edición. Harper and Row. NY, 517 p.

Smayda, T. J., 1974. **Bioassay of the growth potential of the surface water of lower Narragansett Bay over an annual cycle using the diatom *Thalassiosira pseudonana* (oceanic clone, 13-1).** *Limnol. Oceanogr.* 19: 889-901.

Smith, S. V., 1984. **Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment.** *Limnol. Oceanogr.* 29: 1149-1160.

Strickland, J. D. H. y T. R. Parsons, 1972. **A practical handbook for seawater analyses.** *Bull. Fish. Res. Board Can.* Vol. 167.

- Strom, R. N. y R. B. Biggs, 1982. **Phosphorus distribution in sediments of the Delaware River estuary.** *Estuaries* 5:905-101.
- Stumm, W. y J. O. Leckie, 1970. **Phosphate exchange with sediments: its role in the productivity of fresh waters.** *Adv. Wat. Pollut. Res.* 2:1-16.
- Syers, J. K., Harris, R. F. y D. E. Armstrong, 1973. **Phosphate chemistry in lake sediments.** *J. Envir. Quality* 2: 1-14.
- Suzuki, T., S. Inomata y K. Sawada, 1986. **Adsorption of phosphate on calcite.** *J. Chem. Soc. Faraday Trans. I.* 82: 1773-1743.
- Tessier, A., P. G. C. Campbell y M. Bisson, 1979. **Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals.** *Analytical Chemistry* 51: 844-851.
- Thomas, R. L. y A. Mudroch, 1979. **Small Craft Harbours--Sediment Survey, Lake Ontario, Erie and St. Clair.** *Report to Small Craft Harbours, Dept. Fisheries and Oceans.* Burlington, Ontario. 149 p.
- Twinch, A. J. y C. M., Breen, 1982. **Vertical stratification in sediments from a young oligotrophic South African impoundment: implications in phosphorus cycling.** *Hydrobiologia* 92: 395-404.
- Vaithiyathan, P., P. K. Jha y V. Subramanian, 1993. **Phosphorus distribution in the sediments of the Hooghly (Ganges) estuary, India.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 37 (6):603-614.
- Vallentyne, J. R., 1974. **The Algal Bowl Lakes and Man.** Miscellaneous Special Publication 22. Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Ottawa, Canada, 186 p.
- Walkley, A. y I. A. Black, 1934. **An examination of the Degthareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method.** *Soil Science* 27: 29-38.
- Williams, J. D. H., J. M. Jaquet y R. L. Thomas, 1976. **Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Erie.** *J. Fish. Res. Board. Can.* 33: 413-429.
- Wofsy, S., 1983. **A simple model to predict extinction coefficients and phytoplankton biomass in eutrophic waters.** *Limnol. Oceanogr.* 28: 1144-1155.
- Wentworth, C. K., 1922. **A scale of grade and class terms for clastic sediments.** *Jour. Geol.* 30: 377-392.

Tabla 1. Parámetros estadísticos de porcentajes de arenas, limos, arcillas, lodos y tamaño medio de grano del sedimento superficial de los sistemas lagunares Altata-Ensenada del Pabellón y Estero de Urías.

Parámetro	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)	Lodos (%)	Phi media (Mφ)
Altata-Ensenada del Pabellón					
Media	50.1	35.2 *	14.7 *	49.9	4.3 *
Desv. Est.	37.2	27.2	14.0	37.2	1.5
Esteros de Urías					
Media	44.9	22.9 *	32.2 *	55.1	5.8 *
Desv. Est.	33.6	13.4	23.9	33.6	2.1

Parámetros estadísticos de porcentajes de carbono orgánico, carbonato de calcio, pérdidas por ignición, fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico del sedimento superficial de los sistemas lagunares Altata-Ensenada del Pabellón y Estero de Urías.

Parámetro	C org (%)	CaCO ₃ (%)	P. P. I. (%)	P total (μg / g)	P inorg (μg / g)	P orgánico (μg / g)
Altata-Ensenada del Pabellón						
Media	1.6 *	7.6	7.7 *	542.2 *	456.2 *	100.7 *
Desv. Est.	1.4	8.5	4.2	180.0	152.0	88.1
Esteros de Urías						
Media	3.1 *	6.6	11.4 *	492.2 *	356.7 *	135.6 *
Desv. Est.	2.0	6.6	6.3	335.6	326.4	84.8

* Diferencias significativas entre Altata-Ensenada del Pabellón y Estero de Urías.

Tabla 2. Parámetros estadísticos de porcentajes de arenas, limos, arcillas, lodos y tamaño medio de grano del sedimento superficial de las diferentes regiones del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Parámetro	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)	Lodos (%)	Phi media (Mφ)
Bahía de Altata					
Media	88.1 a, d, e, h	8.9 a, e, h	3.0 a, e, h	11.9 a, d, e, h	3.1 a, e, h
Desv. Est.	30.1	21.3	8.8	30.1	0.9
Ensenada del Pabellón					
Media	45.5 h	39.1 h	15.4 h	54.5 h	4.4 h, j
Desv. Est.	35.5	26.8	12.8	35.5	1.3
Lagunas interiores					
Media	46.6 a	38.1 a	15.2 a, b	53.3 a	4.4 a, c
Desv. Est.	39.9	29.5	13.3	39.9	1.4
Río Culiacán					
Media	55.9 d	27.5	16.7 b	44.2 d	4.4
Desv. Est.	35.7	21.1	20.7	35.7	2.1
Suelos agrícolas					
Media	27.4 e	47.4 e	25.2 e	72.6 e	6.1 c, e, j
Desv. Est.	18.0	5.6	19.0	18.0	1.5

Diferencias significativas entre las regiones: (a) Lagunas interiores y Altata, (b) Lagunas interiores y Río Culiacán, (c) Lagunas interiores y suelos agrícolas, (d) Altata y Río Culiacán, (e) Altata y suelos agrícolas, (f) Río Culiacán y suelos agrícolas, (g) Lagunas interiores y Ensenada del Pabellón, (h) Ensenada del Pabellón y Altata, (i) Ensenada del Pabellón y Río Culiacán y (j) Ensenada del Pabellón y suelos agrícolas.

Tabla 3. Parámetros estadísticos de porcentajes de carbono orgánico, carbonato de calcio, pérdidas por ignición, fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico del sedimento superficial de las diferentes regiones del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Parámetro	C org (%)	CaCO ₃ (%)	P. P. I. (%)	P total (µg/g)	P inorg (µg/g)	P orgánico (µg/g)
Bahía de Altata						
Media	0.6 a, d	3.6 a	3.6 a, h	507.8 a	314.6 a, d, e, h	193.2 a, h
Desv. Est.	0.9	1.4	3.3	127.1	70.2	99.1
Ensenada del Pabellón						
Media	1.5 g	9.1	8.2 h	490.7 g, i, j	434.1 g, h, i	76.9 h
Desv. Est.	1.4	10.0	4.2	119.5	82.9	70.1
Lagunas interiores						
Media	2.3 a, c, g	8.2 a, b	9.1 a	678.4 a, g	574.3 a, g	107.9 a
Desv. Est.	1.3	6.1	4.0	236.3	245.8	77.1
Río Culiacán						
Media	2.2 d	2.9 b	6.6	647.1 i	536.0 d, i	129.0
Desv. Est.	1.7	0.9	4.0	271.2	206.7	119.0
Suelos agrícolas						
Media	1.2 c	3.4	7.5	645.5 j	501.1 e	144.4
Desv. Est.	0.2	1.6	2.6	247.0	161.5	128.8

Diferencias significativas entre las regiones: (a) Lagunas interiores y Altata, (b) Lagunas interiores y Río Culiacán, (c) Lagunas interiores y suelos agrícolas, (d) Altata y Río Culiacán, (e) Altata y suelos agrícolas, (f) Río Culiacán y suelos agrícolas, (g) Lagunas interiores y Ensenada del Pabellón, (h) Ensenada del Pabellón y Altata, (i) Ensenada del Pabellón y Río Culiacán y (j) Ensenada del Pabellón y suelos agrícolas.

Tabla 4. Parámetros estadísticos de porcentajes de arenas, limos, arcillas, lodos y tamaño medio de grano del sedimento superficial de las diferentes regiones del Estero de Urías.

Parámetro	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)	Lodos (%)	Phi media (Mφ)
Aguas arriba					
Media	32.0 g, h, j	24.7 h, i, j	43.3 g, h, j	68.0 g, h, j	6.6 g, h, j
Desv. Est.	27.4	10.2	20.7	27.4	1.9
Aguas intermedias					
Media	58.7 b, g, i	19.4 b	22.0 b, g	41.3 b, g	4.9 b, g
Desv. Est.	36.2	13.5	23.2	36.2	2.2
Región portuaria					
Media	80.7 d, h	11.4 d, h	8.0 d, h	19.3 d, h	3.2 d, h
Desv. Est.	10.8	11.5	3.4	10.8	1.2
Bahía					
Media	78.4 f, j	14.7 f, j	6.9 f, j	21.6 f, j	3.9 f, j
Desv. Est.	26.0	17.3	8.9	26.0	1.3
Estero Infiernillo					
Media	24.9 b, d, f, i	37.1 b, d, f, i	38.0 b, d, f	75.1 b, d, f	6.7 b, d, f
Desv. Est.	24.0	10.9	21.2	24.0	1.8

Diferencias significativas entre las regiones: (a) Aguas intermedias y región portuaria, (b) Aguas intermedias y Estero Infiernillo, (c) Aguas intermedias y Bahía, (d) Región portuaria y Estero Infiernillo, (e) Región portuaria y Bahía, (f) Estero Infiernillo y Bahía, (g) Aguas arriba y aguas intermedias, (h) Aguas arriba y región portuaria, (i) Aguas arriba y Estero Infiernillo y (j) Aguas arriba y Bahía.

Tabla 5. Parámetros estadísticos de porcentajes de carbono orgánico, carbonato de calcio, pérdidas por ignición, fósforo total, fósforo inorgánico y fósforo orgánico del sedimento superficial de las diferentes regiones del Estero de Urías.

Parámetro	C org (%)	CaCO ₃ (%)	P. P. I. (%)	P total (µg/g)	P inorg (µg/g)	P orgánico (µg/g)
Aguas arriba						
Media	3.8 g, h, j	4.3 h, j	13.5 g, j	396.5 h, j	235.0 h, i, j	161.5 i, j
Desv. Est.	1.7	2.7	5.3	123.3	91.1	69.7
Aguas intermedias						
Media	2.2 c, g	3.9 a, c	8.0 b, g	464.8 a	298.3 a, b, c	167.1 c
Desv. Est.	1.3	2.8	5.2	160.8	125.8	124.1
Región portuaria						
Media	1.4 h	16.7 a, h	8.8	1329.1 a, d, e, h	1201.1 a, d, e, h	128.0 e
Desv. Est.	0.4	16.1	4.7	1057.5	965.9	92.0
Bahía						
Media	1.3 c, f, j	15.0 c, f, j	4.6 f, j	588.5 e, f, j	537.4 c, e, f, j	51.1 c, e, j
Desv. Est.	0.4	6.5	2.8	116.9	113.2	24.6
Esteros Infiernillo						
Media	4.5 f	4.5 f	16.6 b, f	421.2 d, f	342.7 b, d, f, i	78.5 i
Desv. Est.	3.2	0.5	7.2	45.2	57.6	36.7

Diferencias significativas entre las regiones: (a) Aguas intermedias y región portuaria, (b) Aguas intermedias y Estero Infiernillo, (c) Aguas intermedias y Bahía, (d) Región portuaria y Estero Infiernillo, (e) Región portuaria y Bahía, (f) Estero Infiernillo y Bahía, (g) Aguas arriba y aguas intermedias, (h) Aguas arriba y región portuaria, (i) Aguas arriba y Estero Infiernillo y (j) Aguas arriba y Bahía.

Tabla 6. Parámetros estadísticos de concentraciones de fósforo en las fases intercambiable (Fase I), carbonatos (Fase II), óxidos de Fe y Mn (Fase III), y materia orgánica (Fase IV) en los sedimentos superficiales del Estero de Urías.

Parámetro	Fase I ($\mu\text{g/g}$)	Fase II ($\mu\text{g/g}$)	Fase III ($\mu\text{g/g}$)	Fase IV ($\mu\text{g/g}$)	Suma ($\mu\text{g/g}$)
Media	2.2	64.2	88.4	142.5	297.2
Desv. Est.	1.9	22.0	61.1	91.9	130.5

Parámetro	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)	Lodos (%)	Phi media (M ϕ)
Media	63.1	17.9	19.0	36.9	4.6
Desv. Est.	30.6	13.7	18.9	30.6	1.8

Parámetro	C org (%)	CaCO ₃ (%)	P. P. I. (%)	P total ($\mu\text{g/g}$)	P inorg ($\mu\text{g/g}$)	P orgánico ($\mu\text{g/g}$)
Media	2.1	9.0	8.0	555.3	455.3	100.2
Desv. Est.	1.2	8.4	4.8	447.2	427.7	77.6

Tabla 7. Matriz de coeficientes de correlación entre los parámetros analizados con una significancia del 95% ($P < 0.05$) para el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

	% Humedad	% Arenas	%Limos	%Arcillas	%Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	%C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org	
%Humedad	1.00													
%Arenas	-0.81	1.00												
%Limos	0.75	-0.95	1.00											
%Arcillas	0.71	-0.81	0.59	1.00										
%Lodos	0.81	-1.00	0.95	0.81	1.00									
M ϕ	0.67	-0.82	0.62	0.98	0.82	1.00								
$\sigma\phi$	0.53	-0.60	0.62	0.40	0.60	0.41	1.00							
%C org	0.58	-0.55	0.52	0.45	0.55	0.42	0.29	1.00						
%CaCO ₃							0.28		1.00					
P. P. I.	0.80	-0.82	0.75	0.72	0.82	0.70	0.55	0.77	0.22	1.00				
P total	0.28	-0.29	0.25	0.30	0.29	0.34	0.21	0.24			0.24	1.00		
P inorg	0.46	-0.49	0.48	0.38	0.49	0.40	0.41	0.34			0.40	0.79	1.00	
P org			-0.22				-0.23					0.53		1.00

$n = 101$

$r = 0.20$

Tabla 8. Matriz de coeficientes de correlación entre los parámetros analizados con una significancia del 95% ($P < 0.05$) para el Estero de Urías.

	%Humedad	%Arenas	%Limos	%Arcillas	%Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	%C org	%CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
%Humedad	1.00												
%Arenas	-0.93	1.00											
%Limos	0.69	-0.82	1.00										
%Arcillas	0.91	-0.95	0.59	1.00									
%Lodos	0.93	-1.00	0.82	0.95	1.00								
M ϕ	0.91	-0.98	0.74	0.96	0.98	1.00							
$\sigma\phi$							1.00						
%C org	0.79	-0.69	0.55	0.67	0.69	0.68		1.00					
%CaCO ₃	-0.40	0.38	-0.27	-0.37	-0.38	-0.40		-0.33	1.00				
P. P. I.	0.88	-0.83	0.66	0.79	0.83	0.80		0.88	-0.31	1.00			
P total									0.39		1.00		
P inorg	-0.28	0.25		-0.24	-0.25	-0.24		-0.26	0.47		0.97	1.00	
P org	0.54	-0.48	0.28	0.52	0.48	0.48		0.39	-0.27	0.46	0.23		1.00

$n = 68$

$r = 0.24$

Tabla 9. Matriz de coeficientes de correlación entre los parámetros analizados con una significancia del 95% ($P < 0.05$) en las fracciones geoquímicas del Estero de Urías.

	%Humedad	%Arenas	%Limos	%Arcillas	%Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	%C org	%CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV
%Humedad	1.00																
%Arenas	-0.92	1.00															
%Limos	0.80	-0.92	1.00														
%Arcillas	0.91	-0.96	0.76	1.00													
%Lodos	0.92	-1.00	0.92	0.96	1.00												
M ϕ	0.89	-0.97	0.88	0.94	0.97	1.00											
$\sigma\phi$							1.00										
%C org	0.88	-0.79	0.61	0.83	0.79	0.76		1.00									
%CaCO ₃						-0.35			1.00								
P. P. I.	0.89	-0.87	0.79	0.84	0.87	0.82	0.35	0.80		1.00							
P total									0.36		1.00						
P inorg									0.40		0.99	1.00					
P org	0.41			0.37			0.33	0.39		0.40	0.33		1.00				
Fase I									0.53					1.00			
Fase II															1.00		
Fase III	-0.40	0.41	-0.36	-0.41	-0.41	-0.48		-0.39	0.79	-0.33	0.65	0.69				1.00	
Fase IV							-0.57		0.47	-0.36			-0.33				1.00

n = 35
r = 0.33

125

Tabla 10. Inventario del fósforo total depositado en los 5 centímetros superficiales del sedimento en las regiones del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Región	Area (km ²)	Ton P/ km ²	Ton	%
Altata	75	17.2	1,292 ± 323	25.4
Ensenada del Pabellón	232	13.9	3,235 ± 788	63.7
Lagunas interiores	28	18.4	516 ± 180	10.2
Río Culiacán (Zona estuarina)	2	18.7	37 ± 16	0.7
		TOTAL	5,080	100
Suelos agrícolas	2700	26.9	72,536 ± 27,753	

Tabla 11. Inventario del fósforo total depositado en los 5 centímetros superficiales del sedimento en las regiones del sistema lagunar Estero de Urías.

Región	Area (km ²)	Ton P/ km ²	Ton	%
Aguas arriba	5.2	8.4	44 ± 14	16.2 (18.8)
Aguas intermedias	3.9	13.1	52 ± 18	19.2 (22.3)
Región portuaria	2.4	43.7 (27.9) *	105 ± 84 (67 ± 42)	38.7 (28.7)
Esteros Infiernillo	0.2	9.5	1.5 ± 0.2	0.6
Bahía	3.4	20.2	69 ± 14	25.4 (29.6)
		TOTAL	271.5 (233.5)	100

* Omitiendo la Estación S-22, cuya concentración de fósforo total resultó anormalmente alta, con 2773.77 µg/g.

Tabla 12. Contenido promedio de C orgánico, P total, P orgánico y relación atómica C orgánico: P total y C orgánico: P orgánico en sedimentos superficiales de los sistemas lagunares Altata-Ensenada del Pabellón y Estero de Urías, con sus respectivas regiones.

Localidad	C orgánico (%)	P total (ppm)	P orgánico (ppm)	C org: P tot	C org: P org
Sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón					
Altata-Ensenada del Pabellón	1.6±1.4	542±180	101±88	75	403
Regiones					
Altata	0.6±0.9	508±127	193±99	33	86
Ensenada del Pabellón	1.5±1.4	491±120	77±70	77	490
Lagunas interiores	2.3±1.3	678±236	108±77	89	557
Río Culiacán	2.2±1.7	647±271	129±119	87	434
Suelos agrícolas	1.2±0.2	646±247	144±129	46	206
Sistema lagunar Estero de Urías					
Esteros de Urías	3.1±2.0	492±336	136±85	163	590
Regiones					
Aguas arriba	3.8±1.7	397±123	162±70	245	601
Aguas intermedias	2.2±1.3	465±161	167±124	123	343
Región portuaria	1.4±0.4	1329±1058	128±92	27	276
Esteros de Infiernillo	4.5±3.2	421±45	79±37	274	1469
Bahía	1.3±0.4	589±117	51±25	58	661

ANEXO I. Clasificación granulométrica de los sedimentos superficiales del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Estación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nomenclatura Shepard (1954)	$M\phi$ (ϕ)	$\sigma\phi$ (ϕ)	Nomenclatura Folk y Ward (1957)
AP-1	0.00	59.67	40.33	Limo-arcilloso	6.95	1.66	Limo fino mal seleccionado
AP-2	57.89	24.56	17.55	Arena-limosa	4.61	3.04	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-3	71.27	20.68	8.05	Arena-limosa	3.64	2.56	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-4	2.10	71.93	25.97	Limo-arcilloso	5.47	2.29	Limo medio muy mal seleccionado
AP-5	6.91	65.07	28.02	Limo-arcilloso	5.68	2.34	Limo medio muy mal seleccionado
AP-6	41.68	41.99	16.33	Limo-arenoso	4.49	2.92	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-7	50.03	35.39	14.58	Arena-limosa	4.31	2.91	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-8	70.84	15.93	13.23	Arena limosa	4.17	2.86	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-9	83.35	12.53	4.12	Arena	3.23	2.09	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-10	99.54	0.21	0.24	Arena	2.83	0.98	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-11	32.62	49.91	17.47	Limo-arenoso	4.60	2.89	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-12	69.80	20.31	9.89	Arena-limosa	3.82	2.68	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-13	4.70	72.54	22.76	Limo-arcilloso	5.14	2.48	Limo medio muy mal seleccionado
AP-14	32.05	49.91	18.04	Limo-arenoso	4.66	2.88	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-15	57.47	30.67	11.86	Arena-limosa	4.03	2.82	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-16	1.72	74.12	24.16	Limo-arcilloso	5.29	2.36	Limo medio muy mal seleccionado
AP-17	35.46	49.14	15.40	Limo-arenoso	4.39	2.89	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-18	9.68	70.51	19.81	Limo-arcilloso	4.89	2.66	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-19	4.36	73.70	21.94	Limo-arcilloso	5.06	2.51	Limo medio muy mal seleccionado
AP-20	1.57	74.56	23.87	Limo-arcilloso	5.26	2.37	Limo medio muy mal seleccionado
AP-21	0.00	69.33	30.67	Limo-arcilloso	5.96	2.01	Limo medio muy mal seleccionado
AP-22	1.31	73.43	25.26	Limo-arcilloso	5.40	2.30	Limo medio muy mal seleccionado
AP-23	13.04	70.29	16.67	Limo-arcilloso	4.52	2.79	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-24	17.76	64.71	17.63	Limo-arenoso	4.62	2.79	Limo grueso muy mal seleccionado

Estación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nomenclatura Shepard (1954)	$M\phi$ (ϕ)	$\sigma\phi$ (ϕ)	Nomenclatura Folk y Ward (1957)
AP-25	17.85	66.06	16.09	Limo-arenoso	4.46	2.83	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-26	31.98	57.26	10.77	Limo-arenoso	3.91	2.91	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-27	85.24	13.79	0.97	Arena	2.91	1.74	Arena fina mal seleccionada
AP-28	96.00	4.00	0.00	Arena	2.81	1.74	Arena fina mal seleccionada
AP-29	85.49	14.51	0.00	Arena	2.81	1.63	Arena fina mal seleccionada
AP-30	97.34	2.66	0.00	Arena	2.81	1.06	Arena fina mal seleccionada
AP-31	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-32	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-33	91.93	7.49	0.58	Arena	2.87	1.44	Arena fina mal seleccionada
AP-34	91.75	8.21	0.04	Arena	2.81	1.36	Arena fina mal seleccionada
AP-35	2.98	68.87	28.15	Limo-arcilloso	5.70	2.22	Limo medio muy mal seleccionado
AP-36	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-37	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-38	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-39	69.97	26.23	4.10	Arena-limosa	3.23	2.37	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-40	93.37	5.09	1.54	Arena	2.97	1.52	Arena fina mal seleccionada
AP-41	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-42	73.63	20.14	6.23	Arena-limosa	3.45	2.42	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-43	33.61	53.07	13.32	Limo-arenoso	4.18	2.89	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-44	94.78	3.90	1.32	Arena	2.95	1.43	Arena fina mal seleccionada
AP-45	81.80	15.84	2.37	Arena	3.05	1.98	Arena muy fina mal seleccionada
AP-46	25.06	59.96	14.98	Limo-arenoso	4.35	2.87	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-47	86.97	10.47	2.56	Arena	3.07	1.85	Arena fina mal seleccionada
AP-48	95.02	3.62	1.36	Arena	2.95	1.43	Arena fina mal seleccionada
AP-49	94.93	4.16	0.91	Arena	2.90	1.36	Arena fina mal seleccionada
AP-50	84.19	13.85	1.96	Arena	3.01	1.87	Arena muy fina mal seleccionada

Estación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nomenclatura Shepard (1954)	$M\phi$ (ϕ)	$\sigma\phi$ (ϕ)	Nomenclatura Folk y Ward (1957)
AP-51	97.40	2.07	0.53	Arena	2.86	1.17	Arena fina mal seleccionada
AP-52	0.00	66.41	33.59	Limo-arcilloso	6.26	1.89	Limo fino mal seleccionado
AP-53	0.00	66.79	33.21	Limo-arcilloso	6.22	1.91	Limo fino mal seleccionado
AP-54	0.00	68.33	31.67	Limo-arcilloso	6.06	1.97	Limo fino mal seleccionado
AP-55	28.02	52.52	19.46	Limo-arenoso	4.81	2.85	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-56	3.30	89.78	6.92	Limo	3.52	3.25	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-57	94.53	4.16	1.31	Arena	2.94	1.44	Arena fina mal seleccionada
AP-58	51.65	40.98	7.36	Arena-limosa	3.57	2.74	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-59	20.20	63.72	16.08	Limo-arenoso	4.46	2.84	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-60	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-61	64.10	29.70	6.21	Arena-limosa	3.45	2.56	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-62	23.94	58.06	17.99	Limo-arenoso	4.66	2.83	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-63	3.75	73.09	23.16	Limo-arcilloso	5.19	2.44	Limo medio muy mal seleccionado
AP-64	39.82	48.58	11.60	Limo-arenoso	4.00	2.87	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-65	62.04	31.79	6.17	Arena-limosa	3.44	2.58	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-66	96.35	3.15	0.51	Arena	2.86	1.22	Arena fina mal seleccionada
AP-67	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-68	95.07	4.93	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-69	100.00	0.00	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-70	4.71	74.69	20.60	Limo	4.92	2.56	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-71	2.83	77.11	20.06	Limo	4.87	2.57	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-72	3.08	89.25	7.67	Limo	3.60	3.21	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-73	5.11	81.69	13.20	Limo	4.16	2.91	Limo grueso muy mal seleccionado
AP-74	64.57	30.96	4.48	Arena-limosa	3.27	2.48	Arena muy fina muy mal seleccionada
AP-75	96.86	3.14	0.00	Arena	2.81	0.88	Arena fina moderadamente seleccionada
AP-76	0.00	75.57	24.43	Limo	5.32	2.31	Limo medio muy mal seleccionado

Estación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nomenclatura Shepard (1954)	$M\phi$ (ϕ)	$\sigma\phi$ (ϕ)	Nomenclatura Folk y Ward (1957)
L-1	72.00	14.08	13.12	Arena-arcillosa	3.94	2.86	Arena muy fina muy mal seleccionada
L-2	46.55	27.64	25.82	Arena-limosa-arcillosa	5.59	3.01	Limo medio muy mal seleccionado
L-3	51.46	24.82	23.72	Arena-limosa-arcillosa	4.90	3.56	Limo grueso muy mal seleccionado
L-4	60.98	22.30	16.72	Arena-limosa	4.66	2.78	Limo grueso muy mal seleccionado
L-5	55.91	23.28	20.81	Arena-limosa	4.62	3.27	Limo grueso muy mal seleccionado
L-6	18.57	42.86	38.57	Limo arcilloso	7.17	2.46	Limo muy fino muy mal seleccionado
L-7	46.14	28.90	24.96	Arena-limosa-arcillosa	5.06	3.71	Limo medio muy mal seleccionado
L-8	6.59	38.42	54.99	Arcilla-limosa	7.95	2.32	Limo muy fino muy mal seleccionado
L-9	2.38	48.39	49.23	Arcilla-limosa	8.05	1.72	Arcilla mal seleccionada
L-10	1.01	50.70	48.29	Limo-arcilloso	8.03	1.72	Arcilla mal seleccionada
L-11	21.28	41.84	36.88	Limo-arcilloso	6.83	2.55	Limo fino muy mal seleccionado
L-12	79.47	10.53	10.00	Arena	3.71	2.41	Arena muy fina muy mal seleccionada
L-13	71.51	14.53	13.97	Arena-limosa	3.96	2.80	Arena muy fina muy mal seleccionada
L-14	69.76	19.90	10.33	Arena-limosa	4.29	2.06	Limo grueso muy mal seleccionado
L-15	83.20	10.37	6.43	Arena	3.77	1.91	Arena muy fina mal seleccionada
E-1	31.77	47.40	20.83	Limo-arenoso	5.53	2.95	Limo medio muy mal seleccionado
E-2	22.43	45.91	31.66	Limo-arcilloso	6.52	2.67	Limo fino muy mal seleccionado
E-3	95.54	2.40	2.06	Arena	2.09	1.32	Arena fina mal seleccionada
E-4	5.05	30.56	64.39	Arcilla-limosa	8.29	2.00	Arcilla mal seleccionada
E-5	56.94	32.82	10.69	Arena-limosa	4.14	2.50	Limo grueso muy mal seleccionado
E-6	97.49	1.79	0.72	Arena	2.25	0.98	Arena fina moderadamente seleccionada
C-1	35.63	55.06	9.31	Limo-arenoso	5.13	2.22	Limo medio muy mal seleccionado
C-2	47.15	43.90	8.94	Arena-limosa	4.77	2.16	Limo grueso muy mal seleccionado
C-3	5.59	48.02	46.38	Limo-arcilloso	7.99	1.97	Limo muy fino mal seleccionado
C-4	21.12	42.75	36.13	Limo-arcilloso	6.67	2.76	Limo fino muy mal seleccionado

ANEXO II. Clasificación granulométrica de los sedimentos superficiales del sistema lagunar Estero de Uñas.

Estación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nomenclatura Shepard (1954)	$M\phi$ (ϕ)	$\sigma\phi$ (ϕ)	Nomenclatura Folk y Ward (1957)
UR-1	42.98	35.74	21.28	Arena-limosa	5.51	3.03	Limo medio muy mal seleccionado
UR-2	6.77	34.59	58.65	Arcilla-limosa	8.27	2.03	Arcilla muy mal seleccionada
UR-3	14.29	41.81	43.90	Arcilla-limosa	7.56	2.47	Limo muy fino muy mal seleccionado
UR-4	5.69	40.65	53.66	Arcilla-limosa	8.15	1.92	Arcilla mal seleccionada
UR-5	4.00	32.84	63.16	Arcilla-limosa	8.53	1.72	Arcilla mal seleccionada
UR-6	64.58	18.53	16.89	Arena-limosa	4.59	2.82	Limo grueso muy mal seleccionado
UR-7	9.04	34.11	56.85	Arcilla-limosa	8.13	2.12	Arcilla muy mal seleccionada
UR-8	4.15	31.70	64.15	Arcilla-limosa	8.48	1.79	Arcilla mal seleccionada
UR-9	2.36	27.56	70.08	Arcilla-limosa	8.52	1.86	Arcilla mal seleccionada
UR-10	57.99	11.57	30.44	Arena-arcillosa	4.51	3.86	Limo grueso muy mal seleccionado
UR-11	27.68	23.21	49.11	Arcilla-arenosa-limosa	6.94	3.17	Limo fino muy mal seleccionado
UR-12	3.81	24.05	72.14	Arcilla-limosa	8.72	1.67	Arcilla mal seleccionada
UR-13	4.28	21.79	73.93	Arcilla-limosa	8.71	1.74	Arcilla mal seleccionada
UR-14	9.75	25.27	64.98	Arcilla-limosa	8.20	2.30	Arcilla muy mal seleccionada
UR-15	4.33	27.04	68.63	Arcilla-limosa	8.59	1.72	Arcilla mal seleccionada
UR-16	12.15	38.60	49.25	Arcilla-limosa	8.01	2.25	Arcilla muy mal seleccionada
UR-17	5.20	21.58	73.22	Arcilla-limosa	8.62	1.81	Arcilla mal seleccionada
UR-18	4.76	21.87	73.37	Arcilla-limosa	8.65	1.79	Arcilla mal seleccionada
UR-19	7.18	30.20	62.62	Arcilla-limosa	8.36	2.04	Arcilla muy mal seleccionada
UR-20	22.18	39.27	38.55	Arcilla-limosa	6.85	2.64	Limo fino muy mal seleccionado
S-1	71.39	11.34	17.27	Arena-arcillosa	3.58	3.31	Arena muy fina muy mal seleccionada
S-2	36.00	26.11	37.89	Arcilla-arenosa-limosa	6.16	3.30	Limo fino muy mal seleccionado
S-3	24.79	26.45	48.76	Arcilla-limosa-arenosa	7.14	2.94	Limo muy fino muy mal seleccionado
S-4	45.10	22.41	32.49	Arena-arcillosa	5.84	3.24	Limo medio muy mal seleccionado

Estación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nomenclatura Shepard (1954)	$M\phi$ (ϕ)	$\sigma\phi$ (ϕ)	Nomenclatura Folk y Ward (1957)
S-5	30.11	34.94	34.94	Arcilla-limosa-arenosa	6.39	2.80	Limo fino muy mal seleccionado
S-6	11.79	33.19	55.02	Arcilla-limosa	7.94	2.33	Limo muy fino muy mal seleccionado
S-7	81.61	7.66	10.73	Arena	3.32	2.54	Arena muy fina muy mal seleccionada
S-8	87.13	3.81	9.06	Arena	3.36	2.20	Arena muy fina muy mal seleccionada
S-9	38.09	15.48	46.44	Arcilla-limosa	6.64	3.10	Limo fino muy mal seleccionado
S-10	53.44	9.84	36.72	Arena-arcillosa	5.04	3.83	Limo medio muy mal seleccionado
S-11	73.77	9.54	16.69	Arena-arcillosa	3.60	3.14	Arena muy fina muy mal seleccionada
S-12	69.00	12.85	18.15	Arena-arcillosa	3.69	3.40	Arena muy fina muy mal seleccionada
S-13	56.00	20.43	23.57	Arena-arcillosa	4.41	3.52	Limo grueso muy mal seleccionado
S-14	21.24	37.23	41.53	Arcilla-limosa	6.80	2.69	Limo fino muy mal seleccionado
S-15	5.50	38.08	56.42	Arcilla-limosa	8.21	1.86	Arcilla mal seleccionada
S-16	94.77	5.03	0.19	Arena	2.74	1.36	Arena fina mal seleccionada
S-17	45.23	26.13	28.64	Arena-arcillosa-limosa	5.43	2.99	Limo medio muy mal seleccionado
S-18	57.99	21.54	20.47	Arena-limosa	5.06	2.59	Limo medio muy mal seleccionado
S-19	82.96	11.03	6.02	Arena	3.78	1.99	Arena muy fina mal seleccionada
S-20	65.50	21.98	12.52	Arena-limosa	3.87	2.96	Arena muy fina muy mal seleccionada
S-21	1.81	35.41	62.78	Arcilla-limosa	8.52	1.54	Arcilla mal seleccionada
S-22	77.01	10.15	12.84	Arena	4.08	2.51	Limo grueso muy mal seleccionado
S-23	67.18	27.90	4.92	Arena-limosa	4.40	2.46	Limo grueso muy mal seleccionado
M-1	83.11	8.97	7.92	Arena	3.68	2.15	Arena muy fina muy mal seleccionada
M-2	18.16	32.57	49.27	Arcilla-limosa	7.31	2.62	Limo muy fino muy mal seleccionando
M-3	76.39	9.62	13.99	Arena	3.95	2.52	Arena muy fina muy mal seleccionada
M-4	84.93	9.15	5.92	Arena	3.00	2.31	Arena fina muy mal seleccionada
M-5	95.47	4.53	0.00	Arena	3.33	1.10	Arena muy fina mal seleccionada
M-6	46.55	28.45	25.00	Arena-limosa-arcillosa	5.82	2.86	Limo medio muy mal seleccionado
UR-INT	87.86	5.30	6.84	Arena	2.75	2.43	Arena fina muy mal seleccionada

Estación	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Nomenclatura Shepard (1954)	$M\phi$ (ϕ)	$\sigma\phi$ (ϕ)	Nomenclatura Folk y Ward (1957)
UR-EXT	90.65	2.08	7.27	Arena	1.72	2.52	Arena media muy mal seleccionada
H-1	37.73	31.66	30.61	Arena-limosa-arcillosa	6.00	2.88	Limo medio muy mal seleccionado
H-2	59.62	18.05	22.33	Arena-arcillosa	4.87	3.06	Limo grueso muy mal seleccionado
H-3	3.47	39.82	56.71	Arcilla-limosa	8.18	1.87	Arcilla mal seleccionada
H-4	1.07	47.02	51.91	Arcilla-limosa	8.22	1.63	Arcilla mal seleccionada
H-5	25.66	34.21	40.13	Arcilla-limosa-arenosa	6.97	2.75	Limo fino muy mal seleccionado
H-6	0.45	37.84	61.70	Arcilla-limosa	8.75	1.16	Arcilla mal seleccionada
H-7	46.32	51.37	2.31	Limo-arenoso	4.05	2.89	Limo grueso muy mal seleccionado
B-1	93.26	2.84	3.90	Arena	3.35	1.39	Arena muy fina mal seleccionada
B-2	92.36	5.39	2.25	Arena	3.29	1.51	Arena muy fina mal seleccionada
B-3	69.91	19.24	10.85	Arena-limosa	4.29	2.14	Limo grueso muy mal seleccionado
B-4	67.82	21.45	10.73	Arena-limosa	4.21	2.42	Limo grueso muy mal seleccionado
B-5	81.63	16.02	2.36	Arena	3.80	1.97	Arena muy fina mal seleccionada
B-6	10.15	59.90	29.95	Arena	7.32	2.04	Limo muy fino muy mal seleccionado
B-7	90.03	4.99	4.99	Arena	3.52	1.69	Arena muy fina mal seleccionada
B-8	94.96	3.24	1.80	Arena	3.14	1.19	Arena muy fina mal seleccionada
B-9	90.20	8.63	1.18	Arena	3.33	1.18	Arena muy fina mal seleccionada
B-10	94.00	5.20	0.80	Arena	3.16	1.17	Arena muy fina mal seleccionada

ANEXO III. Resumen estadístico de los parámetros evaluados en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

LAGUNA		% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcillas	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
Bahía de Altata- Ensenada del Pabellón n = 101	M	41.37	50.11	35.21	14.68	49.88	4.33	2.17	1.57	7.63	7.69	542.2	456.2	100.7
	S	14.42	37.21	27.16	14.04	37.22	1.45	0.74	1.42	8.51	4.20	180.0	152.0	88.1
	Mín.	3.57	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09	0.88	0.16	1.35	1.92	267.8	207.6	0.0
	Máx.	71.70	100.00	89.78	64.39	100.00	8.29	3.71	11.15	48.90	25.88	1389.0	1253.4	389.2
REGIONES		% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcillas	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
Altata n = 10	M	32.16	88.14	8.85	3.01	11.86	3.12	1.17	0.64	3.55	3.60	507.8	314.6	193.2
	S	13.35	30.13	21.34	8.84	30.13	0.91	0.45	0.91	1.38	3.30	127.1	70.2	99.1
	Mín.	19.33	2.98	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.16	1.46	1.92	290.4	207.6	5.3
	Máx.	59.32	100.00	68.87	28.15	97.02	5.70	2.22	3.20	5.98	12.89	666.1	407.6	330.2
Ensenada del Pabellón n = 62	M	43.17	45.51	39.05	15.44	54.50	4.40	2.33	1.46	9.12	8.17	490.7	434.1	76.9
	S	12.93	35.53	26.82	12.77	35.53	1.32	0.69	1.43	9.98	4.15	119.5	82.9	70.1
	Mín.	20.29	0.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.23	1.55	1.97	267.8	224.7	0.0
	Máx.	70.70	100.00	89.25	54.99	100.00	8.05	3.71	11.15	48.90	25.88	849.6	626.7	321.0
Lagunas Interiores n = 16	M	45.68	46.64	38.08	15.23	53.31	4.36	2.20	2.33	8.16	9.06	678.4	574.3	107.9
	S	12.71	39.85	29.48	13.31	39.88	1.37	0.71	1.30	6.05	3.99	236.3	245.8	77.1
	Mín.	23.57	0.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.29	2.51	2.71	325.8	232.4	0.0
	Máx.	60.75	100.00	89.78	40.33	100.00	6.95	3.25	5.23	24.67	15.83	1389.0	1253.4	292.2
Río Culiacán n = 9	M	42.34	55.89	27.46	16.70	44.16	4.37	2.12	2.17	2.86	6.61	647.1	536.0	129.0
	S	16.52	35.67	21.05	20.70	35.67	2.08	0.68	1.70	0.91	4.03	271.2	206.7	119.0
	Mín.	23.64	5.05	1.79	0.72	2.51	2.09	0.98	0.29	1.35	2.40	405.9	331.2	0.0
	Máx.	66.01	97.49	59.96	64.39	94.95	8.29	2.95	5.84	4.22	14.50	1231.8	1011.1	389.2
Suelos Agrícolas n = 4	M	16.76	27.37	47.43	25.19	72.62	6.14	2.28	1.15	3.42	7.45	645.5	501.1	144.4
	S	13.48	18.01	5.57	19.02	18.01	1.48	0.34	0.21	1.55	2.64	247.0	161.5	128.8
	Mín.	3.57	5.59	42.75	8.94	52.84	4.77	1.97	1.02	2.28	4.75	343.5	277.6	57.9
	Máx.	33.60	47.15	55.06	46.38	94.40	7.99	2.76	1.45	5.70	10.06	943.4	628.4	333.0

ANEXO IV. Resumen estadístico de los parámetros evaluados en el sistema lagunar Estero de Urías.

LAGUNA		% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcillas	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
Estero de Urías n = 68	M	50.21	44.89	22.91	32.20	55.11	5.76	2.34	3.10	6.55	11.42	492.2	356.7	135.6
	S	16.20	33.63	13.42	23.94	33.63	2.13	0.68	1.96	6.59	6.31	335.6	326.4	84.8
	Mín.	24.43	0.45	2.08	0.00	4.53	1.72	1.10	0.56	0.95	2.37	176.7	55.5	0.0
	Máy.	72.05	95.47	59.90	73.93	99.54	8.75	3.86	11.43	39.04	30.06	2773.8	2517.3	351.7
REGIONES		% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcillas	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
Aguas arriba n = 37	M	57.53	32.01	24.65	43.34	67.99	6.58	2.57	3.76	4.27	13.51	396.5	235.0	161.5
	S	12.74	27.36	10.24	20.74	27.36	1.88	0.65	1.65	2.68	5.33	123.3	91.1	69.7
	Mín.	27.28	2.36	3.81	7.92	12.87	3.32	1.67	0.88	0.95	2.41	176.7	55.5	35.6
	Máy.	71.81	87.13	41.81	73.93	97.64	8.72	3.86	8.48	16.92	23.03	649.2	441.5	303.6
Aguas intermedias n = 10	M	43.66	58.66	19.36	21.98	41.34	4.93	2.09	2.22	3.87	7.95	464.8	298.3	167.1
	S	16.83	36.15	13.47	23.24	36.15	2.15	0.62	1.27	2.84	5.21	160.8	125.8	124.1
	Mín.	24.43	1.81	4.53	0.00	4.53	2.74	1.10	0.62	1.28	2.37	209.4	159.0	0.0
	Máy.	70.18	95.47	38.08	62.78	98.19	8.52	2.96	4.34	11.26	16.53	701.7	519.4	351.7
Estero Infiernillo n = 7	M	54.85	24.90	37.14	37.96	75.10	6.72	2.32	4.47	4.51	16.56	421.2	342.7	78.5
	S	13.32	23.99	10.88	21.15	23.99	1.81	0.75	3.19	0.54	7.16	45.2	57.6	36.7
	Mín.	36.62	0.45	18.05	2.31	40.38	4.05	1.16	1.76	3.40	8.36	370.9	274.7	23.8
	Máy.	72.05	59.62	51.37	61.70	99.54	8.75	3.06	11.43	5.06	30.06	483.0	451.4	113.1
Región portuaria n = 4	M	34.24	80.68	11.36	7.97	19.33	3.24	2.48	1.37	16.65	8.76	1329.1	1201.1	128.0
	S	3.71	10.75	11.52	3.41	10.75	1.24	0.04	0.37	16.11	4.71	1057.5	965.9	92.0
	Mín.	28.93	67.18	2.08	4.92	9.35	1.72	2.43	0.86	4.76	5.51	469.9	419.6	50.3
	Máy.	37.57	90.65	27.90	12.84	32.82	4.40	2.52	1.72	39.04	15.70	2773.8	2517.3	256.5
Bahía n = 10	M	31.48	78.43	14.69	6.88	21.57	3.94	1.67	1.31	15.04	4.60	588.5	537.4	51.1
	S	10.05	25.95	17.29	8.90	25.95	1.26	0.45	0.44	6.48	2.75	116.9	113.2	24.6
	Mín.	25.59	10.15	2.84	0.80	5.04	3.14	1.17	0.56	3.05	2.45	460.3	421.5	22.9
	Máy.	59.28	94.96	59.90	29.95	89.85	7.32	2.42	2.11	23.61	10.88	788.8	731.4	110.9

ANEXO V. Resumen de datos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

MUESTRA	% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcilla	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
LAGUNAS	INTERIORES												
L-1	38.74	72.00	14.08	13.12	27.20	3.94	2.86	1.55	5.71	6.15	325.78	232.36	93.42
AP-1	60.65	0.00	59.67	40.33	100.00	6.95	1.66	3.13	24.67	12.26	1389.00	1253.35	135.65
AP-2	50.87	57.89	24.56	17.55	42.11	4.61	3.04	2.81	12.42	11.61	922.55	827.33	95.21
AP-3	35.88	71.27	20.68	8.05	28.73	3.64	2.56	1.10	5.61	5.29	688.50	675.05	13.45
AP-12	39.37	69.80	20.31	9.89	30.20	3.82	2.68	2.04	2.86	6.12	845.43	791.05	54.38
AP-16	58.79	1.72	74.12	24.16	98.28	5.29	2.36	2.61	14.07	13.30	536.43	597.81	0.00
AP-38	23.57	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.29	2.71	2.71	563.29	271.06	292.23
AP-39	32.70	69.67	26.23	4.10	30.33	3.23	2.37	1.22	3.31	6.27	525.36	444.07	81.29
AP-40	26.47	93.37	5.09	1.54	6.63	2.97	1.52	0.47	9.73	4.43	594.21	479.89	114.33
AP-41	37.99	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	2.16	5.89	6.38	618.53	373.92	244.60
AP-42	40.96	73.63	20.14	6.23	26.37	3.45	2.42	2.13	2.51	6.80	596.52	445.92	150.60
AP-43	49.82	33.61	53.07	13.32	66.39	4.18	2.89	2.73	4.26	9.05	609.01	585.62	23.39
AP-52	59.02	0.00	66.41	33.59	100.00	6.26	1.89	5.23	10.85	15.83	555.70	460.77	94.93
AP-53	56.48	0.00	66.79	33.21	100.00	6.22	1.91	2.80	5.79	12.50	613.03	539.64	73.39
AP-54	58.75	0.00	68.33	31.67	100.00	6.06	1.97	2.56	4.91	12.98	646.92	517.59	129.34
AP-56	60.75	3.30	89.78	6.92	96.70	3.52	3.25	4.40	15.32	13.27	823.97	693.82	130.15
<i>MEDIA</i>	45.68	46.64	38.08	15.23	53.31	4.36	2.20	2.33	8.16	9.06	678.39	574.33	107.90
<i>DESV.EST.</i>	12.71	39.85	29.48	13.31	39.88	1.37	0.71	1.30	6.05	3.99	236.28	245.75	77.14
<i>INTERVALO</i>	23.57	0.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.29	2.51	2.71	325.78	232.36	0.00
	60.75	100.00	89.78	40.33	100.00	6.95	3.25	5.23	24.67	15.83	1389.00	1253.35	292.23
ENSENADA	PABELLON												
L-2	48.35	46.55	27.64	25.82	53.46	5.59	3.01	1.64	10.28	7.48	497.25	393.98	103.27
L-3	43.10	51.46	24.82	23.72	48.54	4.90	3.56	1.46	30.93	14.34	487.37	356.26	131.11
L-4	40.46	60.98	22.30	16.72	39.02	4.66	2.78	1.09	9.54	7.32	472.01	407.25	64.76
L-5	51.28	55.91	23.28	20.81	44.09	4.62	3.27	1.75	10.02	11.89	487.37	379.78	107.59
L-6	62.83	18.57	42.86	38.57	81.43	7.17	2.46	1.99	6.51	9.69	578.48	495.46	83.02
L-7	42.47	46.14	28.90	24.96	53.86	5.06	3.71	1.35	36.26	11.98	497.92	387.40	110.52
L-8	55.55	6.59	38.42	54.99	93.41	7.95	2.32	2.22	9.98	12.17	577.42	443.58	133.83
L-9	66.21	2.38	48.39	49.23	97.62	8.05	1.72	2.08	5.57	11.82	582.41	430.75	151.66
L-10	61.68	1.01	50.70	48.29	98.99	8.03	1.72	2.13	6.70	9.95	573.73	445.82	127.91
L-11	54.47	21.28	41.84	36.88	78.72	6.83	2.55	1.82	5.37	8.89	531.50	437.67	93.83
L-12	28.40	79.47	10.53	10.00	20.53	3.71	2.41	0.77	14.15	5.65	451.11	385.21	65.90
L-13	36.23	71.51	14.53	13.97	28.50	3.96	2.80	1.22	13.06	7.80	602.78	445.36	157.42

ANEXO V. Resumen de datos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

MUESTRA	% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcilla	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
L-14	32.60	69.76	19.90	10.33	30.23	4.29	2.06	0.93	4.06	4.74	541.96	358.41	183.54
L-15	27.58	83.20	10.37	6.43	16.80	3.77	1.91	0.86	3.39	4.42	728.19	461.58	266.62
AP-4	56.21	2.10	71.93	25.97	97.90	5.47	2.29	1.97	4.89	11.55	785.76	626.71	159.06
AP-5	53.23	6.91	65.07	28.02	93.09	5.68	2.34	1.64	5.02	10.53	630.75	493.35	137.41
AP-6	44.60	41.68	41.99	16.33	58.32	4.49	2.92	1.13	19.41	9.70	527.34	459.40	67.94
AP-7	40.46	50.03	35.39	14.58	49.97	4.31	2.91	1.05	8.69	7.75	511.28	445.08	66.21
AP-8	41.97	70.84	15.93	13.23	29.16	4.17	2.86	1.02	7.60	7.48	595.95	469.82	126.13
AP-9	27.55	83.35	12.53	4.12	16.65	3.23	2.09	0.48	3.70	3.62	426.10	374.96	51.14
AP-10	22.24	99.54	0.21	0.24	0.45	2.83	0.98	0.28	1.65	1.97	361.54	285.49	76.05
AP-11	48.12	32.62	49.91	17.47	67.38	4.60	2.89	2.15	8.45	8.30	609.25	557.07	52.18
AP-13	55.46	4.70	72.54	22.76	95.30	5.14	2.48	2.65	3.91	11.19	449.99	529.03	0.00
AP-14	47.17	32.05	49.91	18.04	67.95	4.66	2.88	1.50	4.04	8.30	437.83	434.84	2.98
AP-15	41.93	57.47	30.67	11.86	42.53	4.03	2.82	1.06	3.61	6.38	396.51	503.47	0.00
AP-17	45.47	35.46	49.14	15.40	64.54	4.39	2.89	1.51	10.85	8.63	356.47	471.73	0.00
AP-18	52.28	9.68	70.51	19.81	90.32	4.84	2.66	1.62	5.63	9.60	303.56	479.72	0.00
AP-19	54.07	4.36	73.70	21.94	95.64	5.06	2.51	1.72	4.56	10.63	364.85	501.37	0.00
AP-20	52.9	1.57	74.56	23.87	98.43	5.26	2.37	1.65	5.43	11.08	561.04	463.99	97.05
AP-21	57.49	0.00	69.33	30.67	100.00	5.96	2.01	2.00	4.57	13.03	544.24	498.92	45.33
AP-22	55.14	1.31	73.43	25.26	98.69	5.40	2.30	1.74	4.76	11.67	329.97	501.54	0.00
AP-23	47.56	13.04	70.29	16.67	86.96	4.52	2.79	1.37	5.52	8.49	435.59	473.13	0.00
AP-24	48.11	17.76	64.71	17.63	82.34	4.62	2.79	2.01	4.65	7.12	594.01	536.98	57.03
AP-25	48.05	17.85	66.06	16.09	82.15	4.46	2.83	1.40	4.17	8.46	380.13	508.01	0.00
AP-26	41.84	31.98	57.26	10.77	68.03	3.91	2.91	1.06	5.37	7.28	694.35	624.42	69.93
AP-27	29.74	85.24	13.79	0.97	14.76	2.91	1.74	0.47	16.12	4.76	849.61	528.63	320.97
AP-28	28.01	96.00	4.00	0.00	4.00	2.81	1.14	0.46	8.94	3.48	425.02	410.24	14.78
AP-29	31.05	85.49	14.51	0.00	14.51	2.81	1.63	0.57	3.96	3.83	353.72	409.34	0.00
AP-30	20.85	97.34	2.66	0.00	2.66	2.81	1.06	0.39	2.58	3.13	505.75	224.69	281.07
AP-48	20.29	95.02	3.62	1.36	4.98	2.95	1.43	0.40	6.63	3.28	470.02	322.45	147.57
AP-49	26.32	94.93	4.16	0.91	5.07	2.90	1.36	0.49	2.61	3.29	284.07	471.14	0.00
AP-50	25.21	84.19	13.85	1.96	15.81	3.01	1.87	0.57	40.63	6.31	267.82	335.61	0.00
AP-51	26.15	97.40	2.07	0.53	2.60	2.86	1.17	0.49	1.95	3.20	349.11	294.01	55.10
AP-55	50.42	28.02	52.52	19.46	71.98	4.81	2.85	2.27	5.59	8.83	527.77	400.33	127.44
AP-57	21.58	94.53	4.16	1.31	5.47	2.94	1.44	0.34	18.91	3.13	327.00	304.84	22.17
AP-58	37.37	51.65	40.98	7.36	48.34	3.57	2.74	1.43	6.07	6.45	409.51	319.13	90.39
AP-59	47.57	20.20	63.72	16.08	79.80	4.46	2.84	1.50	5.34	7.94	533.35	429.38	103.97

ANEXO V. Resumen de datos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

MUESTRA	% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcilla	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
AP-61	42.51	64.10	29.70	6.21	35.91	3.45	2.56	1.39	48.90	10.58	462.79	460.77	2.01
AP-62	50.30	23.94	58.06	17.99	76.05	4.66	2.83	1.30	10.97	8.49	473.62	401.07	72.55
AP-63	55.89	3.75	73.09	23.16	96.25	5.19	2.44	1.72	5.59	10.22	619.84	531.33	88.51
AP-64	44.51	39.82	48.58	11.60	60.18	4.00	2.87	1.15	8.75	7.45	519.52	405.36	114.17
AP-65	35.60	62.04	31.79	6.17	37.96	3.44	2.58	0.65	3.83	4.29	479.04	379.95	99.09
AP-66	27.02	96.35	3.15	0.51	3.66	2.86	1.22	0.47	3.15	3.67	370.44	300.19	70.25
AP-67	24.45	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.23	3.74	2.98	305.73	277.29	28.44
AP-68	28.69	95.07	4.93	0.00	4.93	2.81	0.88	0.61	3.06	3.55	332.80	322.57	10.24
AP-70	70.70	4.71	74.69	20.60	95.29	4.92	2.56	3.88	2.98	20.58	576.52	536.77	39.75
AP-71	56.80	2.83	77.11	20.06	97.17	4.87	2.57	1.56	5.65	9.71	554.86	486.14	68.72
AP-72	57.60	3.08	89.25	7.67	96.92	3.60	3.21	1.63	6.71	9.78	565.69	488.74	76.94
AP-73	54.01	5.11	81.69	13.20	94.89	4.16	2.91	1.47	5.57	8.69	587.35	528.63	58.71
AP-74	42.11	64.57	30.96	4.48	35.44	3.27	2.48	1.51	40.91	8.51	500.70	448.76	51.94
AP-75	26.42	96.86	3.14	0.00	3.14	2.81	1.09	0.40	2.58	3.53	442.51	414.50	28.01
AP-76	62.51	0.00	75.57	24.43	100.00	5.32	2.31	11.15	1.55	25.88	420.35	413.80	6.55
<i>MEDIA</i>	43.17	45.51	39.05	15.44	54.50	4.40	2.33	1.46	9.12	8.17	490.65	434.08	76.92
<i>DESV.EST.</i>	12.93	35.53	26.82	12.77	35.53	1.32	0.69	1.43	9.98	4.15	119.51	82.93	70.07
<i>INTERVALO</i>	20.29	0.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.23	1.55	1.97	267.82	224.69	0.00
	70.70	100.00	89.25	54.99	100.00	8.05	3.71	11.15	48.90	25.88	849.61	626.71	320.97
ALTATA													
AP-31	32.02	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.25	1.46	2.25	394.55	221.23	173.32
AP-32	21.19	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.26	5.53	2.25	595.96	265.74	330.21
AP-33	46.13	91.93	7.49	0.58	8.07	2.87	1.44	0.51	4.01	3.38	525.19	340.04	185.15
AP-34	44.67	91.75	8.21	0.04	8.25	2.81	1.36	0.54	3.61	3.08	546.97	407.56	139.41
AP-35	59.32	2.98	68.87	28.15	97.02	5.70	2.22	3.20	5.98	12.89	666.08	396.11	269.97
AP-36	19.33	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.35	3.60	2.06	555.13	302.23	252.90
AP-37	23.33	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.32	3.49	2.84	588.68	299.97	288.71
AP-44	27.15	94.78	3.90	1.32	5.22	2.95	1.43	0.42	2.79	2.42	592.77	388.55	204.22
AP-60	24.28	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.42	2.36	2.91	290.43	207.57	82.87
AP-69	24.14	100.00	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.16	2.68	1.92	321.97	316.64	5.33
<i>MEDIA</i>	32.16	88.14	8.85	3.01	11.86	3.12	1.17	0.64	3.55	3.60	507.77	314.56	193.21
<i>DESV.EST.</i>	13.35	30.13	21.34	8.84	30.13	0.91	0.45	0.91	1.38	3.30	127.05	70.19	99.05
<i>INTERVALO</i>	19.33	2.98	0.00	0.00	0.00	2.81	0.88	0.16	1.46	1.92	290.43	207.57	5.33
	59.32	100.00	68.87	28.15	97.02	5.70	2.22	3.20	5.98	12.89	666.08	407.56	330.21

ANEXO V. Resumen de datos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

MUESTRA	% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcilla	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
RIO CULIACAN													
AP-45	32.49	81.80	15.84	2.37	18.21	3.05	1.98	0.92	2.81	3.83	614.43	495.22	119.21
AP-46	47.58	25.06	59.96	14.98	74.94	4.35	2.87	1.65	4.22	8.42	479.04	640.33	0.00
AP-47	26.73	86.97	10.47	2.56	13.03	3.07	1.85	0.69	2.46	3.58	462.79	331.17	131.62
E-1	60.42	31.77	47.40	20.83	68.23	5.53	2.95	2.79	3.00	8.15	1231.76	1011.10	220.66
E-2	59.64	22.43	45.91	31.66	77.57	6.52	2.67	2.69	3.14	10.14	885.51	496.33	389.18
E-3	23.64	95.54	2.40	2.06	4.46	2.09	1.32	5.84	3.06	2.92	424.39	403.57	20.83
E-4	66.01	5.05	30.56	64.39	94.95	8.29	2.00	3.18	1.35	14.50	755.94	607.12	148.82
E-5	38.41	56.94	32.82	10.69	43.51	4.14	2.50	1.50	3.89	5.54	563.88	491.30	72.57
E-6	26.14	97.49	1.79	0.72	2.51	2.25	0.98	0.29	1.79	2.40	405.93	348.20	57.73
<i>MEDIA</i>	42.34	55.89	27.46	16.70	44.16	4.37	2.12	2.17	2.86	6.61	647.07	536.04	128.96
<i>DESV.EST.</i>	16.52	35.67	21.05	20.70	35.67	2.08	0.68	1.70	0.91	4.03	271.22	206.66	118.95
<i>INTERVALO</i>	23.64	5.05	1.79	0.72	2.51	2.09	0.98	0.29	1.35	2.40	405.93	331.17	0.00
	66.01	97.49	59.96	64.39	94.95	8.29	2.95	5.84	4.22	14.50	1231.76	1011.10	389.18
SUELOS AGRICOLAS													
C-1	3.57	35.63	55.06	9.31	64.37	5.13	2.22	1.02	2.28	5.65	943.41	610.44	332.97
C-2	8.59	47.15	43.90	8.94	52.84	4.77	2.16	1.02	2.72	4.75	608.72	487.74	120.98
C-3	33.60	5.59	48.02	46.38	94.40	7.99	1.97	1.45	2.98	10.06	343.50	277.62	65.88
C-4	21.28	21.12	42.75	36.13	78.88	6.67	2.76	1.10	5.70	9.35	686.35	628.43	57.92
<i>MEDIA</i>	16.76	27.37	47.43	25.19	72.62	6.14	2.28	1.15	3.42	7.45	645.49	501.06	144.44
<i>DESV.EST.</i>	13.48	18.01	5.57	19.02	18.01	1.48	0.34	0.21	1.55	2.64	246.97	161.54	128.78
<i>INTERVALO</i>	3.57	5.59	42.75	8.94	52.84	4.77	1.97	1.02	2.28	4.75	343.50	277.62	57.92
	33.60	47.15	55.06	46.38	94.40	7.99	2.76	1.45	5.70	10.06	943.41	628.43	332.97

ANEXO VI. Resumen de datos del sistema lagunar Estero de Urías.

MUESTRA	% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcillas	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
AGUAS ARRIBA													
UR-1	45.75	42.98	35.74	21.28	57.02	5.51	3.03	4.51	0.97	10.26	227.62	104.91	122.70
UR-2	71.54	6.77	34.59	58.65	93.24	8.27	2.03	3.99	4.46	16.03	556.75	330.48	226.27
UR-3	60.54	14.29	41.81	43.90	85.71	7.56	2.47	4.38	3.76	14.23	483.01	260.57	222.44
UR-4	64.25	5.69	40.65	53.66	94.31	8.15	1.92	4.34	4.04	16.83	512.51	315.32	197.18
UR-5	68.14	4.00	32.84	63.16	96.00	8.53	1.72	4.14	4.23	17.84	649.17	381.47	267.70
UR-6	43.21	64.58	18.53	16.89	35.42	4.59	2.82	2.92	3.60	9.13	258.80	99.03	159.77
UR-7	66.49	9.04	34.11	56.85	90.96	8.13	2.12	8.48	4.97	22.77	367.95	120.83	247.12
UR-8	66.25	4.15	31.70	64.15	95.85	8.48	1.79	4.34	4.89	17.83	521.35	217.81	303.55
UR-9	66.17	2.36	27.56	70.08	97.64	8.52	1.86	3.35	3.12	17.07	537.80	294.10	243.70
UR-10	59.81	57.99	11.57	30.44	42.01	4.51	3.86	2.96	2.16	12.69	305.08	140.74	164.34
UR-11	67.70	27.68	23.21	49.11	72.32	6.94	3.17	5.77	4.41	18.77	325.42	168.46	156.96
UR-12	67.57	3.81	24.05	72.14	96.19	8.72	1.67	4.80	2.38	19.37	360.81	211.02	149.79
UR-13	69.99	4.28	21.79	73.93	95.72	8.71	1.74	4.91	4.37	18.93	349.01	212.50	136.51
UR-14	63.88	9.75	25.27	64.98	90.25	8.20	2.30	3.75	5.46	14.35	531.87	347.91	183.96
UR-15	67.38	4.33	27.04	68.63	95.67	8.59	1.72	4.27	3.69	16.83	289.99	174.24	115.75
UR-16	62.31	12.15	38.60	49.25	87.85	8.01	2.25	2.86	4.16	2.41	271.47	182.49	88.97
UR-17	69.60	5.20	21.58	73.22	94.80	8.62	1.81	5.64	3.01	18.77	497.62	289.15	208.47
UR-18	70.17	4.76	21.87	73.37	95.24	8.65	1.79	4.95	4.79	18.10	600.38	368.24	232.14
UR-19	70.08	7.18	30.20	62.62	92.82	8.36	2.04	5.53	5.92	19.17	490.61	302.63	187.98
UR-20	71.81	22.18	39.27	38.55	77.82	6.85	2.64	7.30	4.73	23.03	396.20	205.74	190.46
S-1	37.06	71.39	11.34	17.27	28.61	3.58	3.31	2.54	2.28	5.09	176.72	133.87	42.85
S-2	68.87	36.00	26.11	37.89	64.00	6.16	3.30	3.87	3.66	15.43	359.52	272.28	87.24
S-3	66.06	24.79	26.45	48.76	75.21	7.14	2.94	1.75	4.06	15.32	530.53	314.44	216.08
S-4	57.70	45.10	22.41	32.49	54.90	5.84	3.24	3.58	4.61	11.57	324.15	228.14	96.01
S-5	53.75	30.11	34.94	34.94	69.88	6.39	2.80	3.40	2.46	11.23	335.92	238.25	97.68
S-6	62.99	11.79	33.19	55.02	88.21	7.94	2.33	4.06	4.11	16.55	450.65	294.97	155.68
S-7	30.37	81.61	7.66	10.73	18.39	3.32	2.54	1.09	2.52	4.55	290.86	157.32	133.54
S-8	27.28	87.13	3.81	9.06	12.87	3.36	2.20	0.88	0.95	2.86	211.16	130.94	80.22
S-9	59.73	38.09	15.48	46.44	61.92	6.64	3.10	4.23	2.73	13.40	430.28	159.04	271.24
S-10	57.53	53.44	9.84	36.72	46.56	5.04	3.83	3.61	2.48	10.27	276.96	150.09	126.87
S-11	46.11	73.77	9.54	16.69	26.23	3.60	3.14	2.21	1.71	8.45	188.13	55.48	132.64
S-12	38.92	69.00	12.85	18.15	31.00	3.69	3.40	1.57	7.85	8.29	347.92	232.00	115.92
S-13	43.24	56.00	20.43	23.57	44.00	4.41	3.52	1.92	16.92	11.74	519.13	271.28	247.85
S-17	56.39	45.23	26.13	28.64	54.77	5.43	2.99	5.19	2.55	14.93	465.65	253.56	212.09

ANEXO VI. Resumen de datos del sistema lagunar Estero de Urías.

MUESTRA	% Humedad	% Arenas	% Limos	% Arcillas	% Lodos	M ϕ	$\sigma\phi$	% C org	% CaCO ₃	P. P. I.	P total	P inorg	P org
M-1	35.17	83.11	8.97	7.92	16.89	3.68	2.15	1.90	7.61	6.21	290.38	254.81	35.57
M-2	47.82	18.16	32.57	49.27	81.84	7.31	2.62	2.76	5.73	10.59	503.02	441.54	61.48
M-6	47.00	46.55	28.45	25.00	53.45	5.82	2.86	1.27	6.77	8.95	436.55	378.82	57.73
MEDIA	57.53	32.01	24.65	43.34	67.99	6.58	2.57	3.76	4.27	13.51	396.51	234.99	161.53
DESV.EST.	12.74	27.36	10.24	20.74	27.36	1.88	0.65	1.65	2.68	5.33	123.31	91.09	69.68
INTERVALO	27.28	2.36	3.81	7.92	12.87	3.32	1.67	0.88	0.95	2.41	176.72	55.48	35.57
	71.81	87.13	41.81	73.93	97.64	8.72	3.86	8.48	16.92	23.03	649.17	441.54	303.55
AGUAS INTERMEDIAS													
S-14	60.55	21.24	37.23	41.53	78.76	6.80	2.69	3.20	2.21	11.83	477.45	224.47	252.98
S-15	68.52	5.50	38.08	56.42	94.50	8.21	1.86	3.97	3.94	15.58	701.73	350.08	351.66
S-16	24.43	94.77	5.03	0.19	5.22	2.74	1.36	0.62	4.37	2.57	307.34	238.94	68.40
S-18	43.74	57.99	21.54	20.47	42.01	5.06	2.59	2.62	1.91	8.80	583.60	268.38	315.22
S-19	39.16	82.96	11.03	6.02	17.05	3.78	1.99	1.59	1.28	5.44	348.45	171.46	176.99
S-20	35.83	65.50	21.98	12.52	34.50	3.87	2.96	1.53	11.26	8.18	619.00	519.40	99.60
S-21	70.18	1.81	35.41	62.78	98.19	8.52	1.54	4.34	5.04	16.53	577.38	497.36	80.02
M-3	33.01	76.39	9.62	13.99	23.61	3.95	2.52	1.44	3.03	3.78	503.02	227.43	275.59
M-4	34.80	84.93	9.15	5.92	15.07	3.00	2.31	1.94	2.63	4.40	209.41	158.95	50.46
M-5	26.40	95.47	4.53	0.00	4.53	3.33	1.10	0.91	3.05	2.37	320.73	326.15	0.00
MEDIA	43.66	58.66	19.36	21.98	41.34	4.93	2.09	2.22	3.87	7.95	464.81	298.26	167.09
DESV.EST.	16.83	36.15	13.47	23.24	36.15	2.15	0.62	1.27	2.84	5.21	160.77	125.77	124.12
INTERVALO	24.43	1.81	4.53	0.00	4.53	2.74	1.10	0.62	1.28	2.37	209.41	158.95	0.00
	70.18	95.47	38.08	62.78	98.19	8.52	2.96	4.34	11.26	16.53	701.73	519.40	351.66
REGION PORTUARIA													
S-22	35.26	77.01	10.15	12.84	22.99	4.08	2.51	1.72	4.76	6.21	2773.77	2517.30	256.47
S-23	37.57	67.18	27.90	4.92	32.82	4.40	2.46	1.38	5.03	15.70	469.89	419.56	50.33
UR-INT	28.93	87.86	5.30	6.84	12.14	2.75	2.43	0.86	17.77	5.51	613.06	538.17	74.90
UR-EXT	35.18	90.65	2.08	7.27	9.35	1.72	2.52	1.52	39.04	7.61	1459.64	1329.22	130.42
MEDIA	34.24	80.68	11.36	7.97	19.33	3.24	2.48	1.37	16.65	8.76	1329.09	1201.06	128.03
DESV.EST.	3.71	10.75	11.52	3.41	10.75	1.24	0.04	0.37	16.11	4.71	1057.52	965.93	91.95
INTERVALO	28.93	67.18	2.08	4.92	9.35	1.72	2.43	0.86	4.76	5.51	469.89	419.56	50.33
	37.57	90.65	27.90	12.84	32.82	4.40	2.52	1.72	39.04	15.70	2773.77	2517.30	256.47

ANEXO VII. Resumen de datos de las fracciones geoquímicas en el Estero de Urías.

MUESTRA	P total	P inorg	P org	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV	Suma
S-1	176.72	133.87	42.85	1.04	103.78	46.13	103.44	254.39
S-4	324.15	228.14	96.01	1.68	90.03	41.41	107.89	241.01
S-5	335.92	238.25	97.68	1.61	92.23	40.47	84.17	218.47
S-6	450.65	294.97	155.68	2.03	75.18	32.91	73.30	183.42
S-7	290.86	157.32	133.54	1.23	82.33	79.38	203.34	366.27
S-8	211.16	130.94	80.22	0.00	32.28	37.63	37.26	107.18
S-11	188.13	55.48	132.64	0.00	74.08	22.52	76.76	173.36
S-13	519.13	271.28	247.85	9.90	35.03	57.47	70.33	172.74
S-17	465.65	253.56	212.09	0.00	85.63	42.35	172.13	300.11
S-19	348.45	171.46	176.99	0.00	48.21	50.86	48.59	147.65
S-20	619.00	519.40	99.60	2.63	48.78	192.53	95.53	339.47
S-21	577.38	497.36	80.02	2.57	41.43	87.69	218.73	350.41
S-22	2773.77	2517.30	256.47	2.05	64.73	186.86	82.32	335.96
S-23	469.89	419.56	50.33	1.93	29.53	57.02	68.36	156.84
UR-8	521.35	217.81	303.55	2.00	79.03	35.60	90.09	206.72
UR-INT	613.06	538.17	74.90	2.63	33.38	187.80	90.58	314.39
UR-EXT	1459.64	1329.22	130.42	3.34	25.13	311.53	137.99	477.99
M-1	290.38	254.81	35.57	2.27	43.28	81.08	60.94	187.58
M-2	503.02	441.54	61.48	3.81	63.63	40.47	67.37	175.27
M-3	503.02	227.43	275.59	0.00	93.33	75.41	82.26	251.00
M-4	209.41	158.95	50.46	0.00	50.98	67.01	75.27	193.27
M-5	320.73	326.15	0.00	0.00	79.58	55.58	35.74	170.90
M-6	436.55	378.82	57.73	3.37	58.13	64.08	57.24	182.82
H-1	483.01	451.40	31.61	2.74	50.04	63.13	112.31	228.22
H-3	460.97	349.92	111.05	1.72	49.71	40.47	77.25	169.14
B-1	542.42	519.53	22.90	2.24	76.62	98.08	323.47	500.41
B-2	495.49	454.79	40.70	2.48	83.49	79.19	283.86	449.02
B-3	460.28	421.51	38.77	1.55	43.76	74.47	231.88	351.66
B-4	554.16	507.76	46.40	4.25	64.47	99.02	189.38	357.13
B-5	495.49	437.15	58.35	2.09	68.29	97.14	228.05	395.56
B-6	618.70	507.76	110.94	2.77	43.76	94.30	205.64	346.46
B-7	519.53	466.56	52.96	2.27	88.40	101.86	259.47	452.00
B-8	785.56	728.43	57.13	4.83	81.04	150.03	340.81	576.70
B-9	788.84	731.37	57.47	3.48	98.69	183.08	305.19	590.45
B-10	624.56	598.96	25.60	2.01	67.96	117.75	289.80	477.52
MEDIA	555.34	455.34	100.16	2.19	64.17	88.35	142.48	297.19
DESV. EST.	447.20	427.69	77.55	1.85	21.96	61.07	91.91	130.48
INTERVALO	176.72	55.48	0.00	0.00	25.13	22.52	35.74	107.18
	2773.77	2517.30	303.55	9.90	103.78	311.53	340.81	590.45