

10
2c



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

POLIQUETOS BENTICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTO DEL RIO PANUCO, TAMAULIPAS, MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

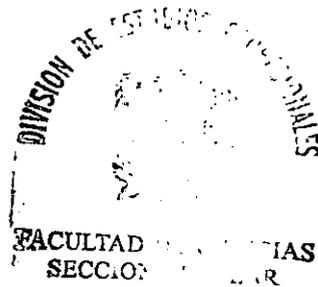
B I O L O G A

P R E S E N T A :

MYRIAM ADELA AMEZCUA ALLIERI



MEXICO, D. F.



1998

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

25 90 96



Universidad Nacional
Autónoma de México

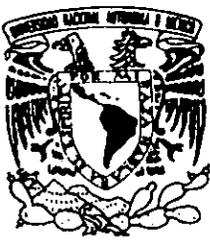


UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: Poliquetos béticos indicadores de la calidad del agua y sedimento del río Pánuco, Tamaulipas, México.

realizado por Myriam Adela Amezcua Allieri.

con número de cuenta 8910128-9 , pasante de la carrera de Biología.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario M. en C. María del Carmen González Macías

Propietario Dr. Francisco Javier Vega Vera

Propietario Dra. Rosaura Mayén Estrada

Suplente Dra. María Luisa Andrea Raz Guzmán Macbeth

Suplente Biól. María Antonieta Arizmendi Espinosa

Consejo Departamental de Biología

M. en C. Alejandro Martínez Mena

CONSEJO
DE BILOGIA

A quien ha iluminado siempre con su fortaleza y alegría este duro sendero de la vida, a la siempre fiel, a la amiga.

A la que con su amor más profundo y desinteresado me ha enseñado que el simple hecho de existir es una maravilla.

A ti por que me brindas cada día con tu bondad, ternura y sacrificio un trocito de tu propia vida y por que con tu comprensión y cariño me has hecho lo que soy: un ser orgulloso de quien nació.

A la adoración de mi vida, a ti ...

Mamá

AGRADECIMIENTOS

La culminación final de esta tesis, y con ello de mis estudios profesionales, me ha dado la oportunidad de vivir experiencias desagradables y, afortunadamente también muy alentadoras, de las cuales siempre aprenderé, tanto desde el punto de vista académico como personal.

Como todo buen trabajo de investigación, éste no se hubiera podido llevar a cabo sin el apoyo de las siguientes personas e instituciones:

Mi más sincera gratitud a tres seres que han llenado mi vida de amor y me han protegido siempre: a Dios, por guiar e iluminar mi camino cada día, a mi agüelita adorada *in memoria* por ser mi primera profesora en estas tan interesantes cuestiones del conocimiento-aprendizaje, y a mi adorada mamá por su amor, su fiel amistad, su gran apoyo y comprensión. Profundamente y por siempre gracias.

A mi directora de tesis, M. en C. María del Carmen González Macías por su revisión acertada al presente trabajo, por su apoyo y orientación, y sobretodo por su paciencia y amistad. Te agradezco mucho todas tus enseñanzas.

Dr. Francisco Javier Vega Vera por ser un excelente profesor en el plano académico y un muy buen amigo en el aspecto personal. Por brindarme su apoyo y su tiempo desinteresadamente.

Dra. Rosaura Mayén Estrada por su detallada revisión, sus consejos siempre afables y sus aportaciones enriquecedoras para el presente trabajo escrito. Por su tiempo y su amabilidad.

Dra. Andrea Raz Guzmán por sus observaciones y comentarios atinados a este escrito y por su confianza, su tiempo y sus conocimientos.

Biól. María Antonieta Arizmendi por su cordialidad, su apropiada revisión y sus observaciones enriquecedoras a esta tesis.

A todos los integrantes del Laboratorio de Estudios Ecológicos del Instituto Mexicano del Petróleo por que cada uno de ellos supieron brindarme su apoyo siempre y en el momento más oportuno. De manera muy especial mi agradecimiento más sincero y eterno a las siguientes personas:

Biól. Silvia Ortiz Gallarza por sus sugerencias para este trabajo escrito, pero sobretodo por su cariño, su paciencia y su enriquecedora amistad.

Biól. Sandra Luz Hernández Ojeda por tener siempre un momento de atención para mí, por sus consejos, por su gentileza y ayuda desinteresada, y a la Biól. Lucía Salazar Coria por su revisión al presente escrito, por su amistad sincera, por los momentos compartidos, por su ternura, apoyo y comprensión. Las quiero mucho, gracias.

P. de Biól. Juan Carlos Gómez Rojas por su ayuda y enseñanza en la identificación de los poliquetos, y por que con su amistad siempre me impulsó y me tranquilizó en los momentos más difíciles. Muchas gracias Charly.

A los Biólogos Cristina González, José Luis Mondragón y Víctor Manuel García, por su paciencia, su tiempo, su ayuda y su apoyo, especialmente a Víctor por su valiosa orientación para la obtención del índice de la calidad del agua.

Biól. Adrián Díaz Ramos por sus enseñanzas en el aspecto fisicoquímico, por su tiempo, por sus consejos siempre acertados y por su sincera amistad.

Además, quiero expresar mi agradecimiento a las siguientes personas que de alguna u otra manera contribuyeron a la realización del presente escrito:

Ing. Luis Martín Padilla Hernández por su apoyo y ayuda incondicional, por escucharme y por brindarme un tesoro muy preciado y en la actualidad muy difícil de encontrar: la amistad.

Dr. Jesús Cabrera y Geógrafo Arturo Mejía de la Comisión Nacional del Agua y P. de Biól. Telésforo Nava de la Secretaría de Marina por prestarme todos ellos su amable asistencia para la obtención de información.

A la Biól. Maricarmen Ayala y al Biól. Daniel Muciño, quienes me apoyaron desinteresadamente cuando más lo necesitaba y, sin saberlo, me impulsaron a seguir adelante demostrándome que todavía hay gente buena.

A todos aquellos que colaboraron para la realización de este trabajo escrito.

De manera muy especial mi más sincera gratitud al hombre que con su cariño ha enriquecido mi vida, llenándola de alegría y felicidad: al Ing. Sadot Fernández Calderón por su amor, su paciencia, su ternura, su tiempo, su apoyo y sobretodo por hacerme sentir este maravilloso y enriquecedor sentimiento: el amor.

Además del apoyo humano, evidentemente se requiere del apoyo institucional, el cual fue pieza clave tanto para la obtención de datos de esta tesis como para mi formación académica, respectivamente mi agradecimiento a:

El Instituto Mexicano del Petróleo por brindarme la ocasión de realizar mi tesis en el Departamento de Estudios Ecológicos y otorgarme una beca para el desarrollo de la misma.

La UNAM, la cual me brindó la oportunidad de conocer otro país, de estudiar en la máxima casa de estudios de México y de ser una de las jóvenes más afortunadas en gozar de una educación libre y gratuita. En especial mi más amplio agradecimiento a mi querida Facultad de Ciencias por hacerme con su educación un ser humano libre.

	Pág.
INDICE DE TABLAS	I
INDICE DE FIGURAS	III
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCION	3
OBJETIVOS	5
MARCO TEORICO	6
ANTECEDENTES	10
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	13
METODO	16
• TRABAJO DE CAMPO	20
• TRABAJO DE LABORATORIO	21
I. Caracterización fisicoquímica del agua	21
II. Contaminantes presentes en el agua	22
III. Caracterización física del sedimento	22
IV. Contaminantes presentes en el sedimento	22
V. Identificación de los poliquetos bénticos	23
PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	27
RESULTADOS Y DISCUSION	27
I. Caracterización fisicoquímica del agua de fondo e Índice de la Calidad del Agua (ICA)	42
II. Caracterización física y de contaminantes del sedimento	53
III. Parámetros comunitarios de los poliquetos bénticos	73
IV. Relación entre la comunidad de poliquetos y su ambiente	80
CONCLUSIONES	82
LITERATURA CITADA	83
ANEXOS	
I. Descripción de los métodos empleados para la caracterización fisicoquímica y de contaminantes. Índice de la calidad del agua. Análisis de componentes principales	95
II. Resultados nominales de la caracterización fisicoquímica, microbiológica y de contaminantes del agua. Caracterización física y de contaminantes del sedimento (temporada de secas)	107
III. Resultados nominales de la caracterización fisicoquímica, microbiológica y de contaminantes del agua. Caracterización física y de contaminantes del sedimento (temporada de nortes)	116
IV. Diagnósis y esquemas de los taxa identificados	124

INDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Esquema metodológico del muestreo.	17
TABLA 2. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en las temporadas de secas y nortes.	17
TABLA 3. Valores de correlación entre el índice de fineza y los contaminantes presentes en el sedimento.	51
TABLA 4. Inventario y características de la comunidad de poliquetos durante la temporada de secas.	53
TABLA 5. Inventario y características de la comunidad de poliquetos durante la temporada de nortes.	54
TABLA 6. Eigenvalores obtenidos para representar la varianza en el análisis de componentes principales para la temporada de secas.	74
TABLA 7. Eigenvalores obtenidos para los tres factores principales en el análisis de componentes principales para la temporada de secas.	74
TABLA 8. Eigenvalores obtenidos para representar la varianza en el análisis de componentes principales para la temporada de nortes.	75
TABLA 9. Eigenvalores obtenidos para los tres factores principales en el análisis de componentes principales para la temporada de nortes.	75
ANEXO II	
TABLA A. Resultados nominales de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Pánuco durante la temporada de secas.	107
TABLA B. Resultados nominales de los nutrientes en el agua del río Pánuco durante la temporada de secas.	108
TABLA C. Resultados nominales de los contaminantes en el agua del río Pánuco durante la temporada de secas.	109
TABLA D. Granulometría durante la temporada de secas.	110
TABLA E. Resultados nominales de los contaminantes en el sedimento del río Pánuco durante la temporada de secas.	111
TABLA F. Resumen estadístico de los parámetros fisicoquímicos durante la temporada de secas.	112
TABLA G. Resumen estadístico de los nutrientes durante la temporada de secas.	114
TABLA H. Resumen estadístico de los contaminantes en el agua durante la temporada de secas.	114
TABLA I. Resumen estadístico de los contaminantes en el sedimento durante la temporada de secas.	115
TABLA J. Resumen estadístico de coliformes fecales y totales en el agua del río Pánuco durante la temporada de secas.	115

INDICE DE TABLAS

	Pág.
ANEXO III	
TABLA K. Resultados nominales de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Pánuco durante la temporada de nortes.	116
TABLA L. Resultados nominales de los nutrientes en el agua del río Pánuco durante la temporada de nortes.	117
TABLA M. Resultados nominales de los contaminantes en el agua del río Pánuco durante la temporada de nortes.	118
TABLA N. Granulometría durante la temporada de nortes.	119
TABLA Ñ. Resultados nominales de los contaminantes en el sedimento del río Pánuco durante la temporada de nortes.	120
TABLA O. Resumen estadístico de los parámetros fisicoquímicos durante la temporada de nortes.	121
TABLA P. Resumen estadístico de los nutrientes durante la temporada de nortes.	122
TABLA Q. Resumen estadístico de los contaminantes en el agua durante la temporada de nortes.	122
TABLA R. Resumen estadístico de los contaminantes en el sedimento durante la temporada de nortes.	123
TABLA S. Resumen estadístico de coliformes fecales y totales en el agua del río Pánuco durante la temporada de nortes.	123

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Ubicación de los sitios de muestreo en el río Pánuco, Tamaulipas.	18
FIGURA 2. Variación espacial y temporal de la temperatura.	28
FIGURA 3. Variación espacial y temporal de la salinidad.	29
FIGURA 4. Variación espacial y temporal del pH.	30
FIGURA 5. Variación espacial y temporal del oxígeno disuelto.	31
FIGURA 6. Variación espacial y temporal de la turbiedad.	32
FIGURA 7. Variación espacial y temporal de los sólidos suspendidos.	33
FIGURA 8. Variación espacial y temporal de los nitratos.	34
FIGURA 9. Variación espacial y temporal de los fosfatos.	35
FIGURA 10. Resultados del Índice de la Calidad del Agua por estación para el agua superficial y de fondo (secas).	37
FIGURA 11. Resultados del Índice de la Calidad del Agua por zona para el agua superficial y de fondo (secas).	38
FIGURA 12. Resultados del Índice de la Calidad del Agua por estación para el agua superficial y de fondo (nortes).	39
FIGURA 13. Resultados del Índice de la Calidad del Agua por zona para el agua superficial y de fondo (nortes).	40
FIGURA 14. Granulometría e Índice de Fineza durante la temporada de secas.	43
FIGURA 15. Granulometría e Índice de Fineza durante la temporada de nortes.	44
FIGURA 16. Variación espacial y temporal del material orgánico extraíble en sedimento.	47
FIGURA 17. Variación espacial y temporal de los hidrocarburos aromáticos en sedimento.	48
FIGURA 18. Variación espacial y temporal del níquel en sedimento.	50
FIGURA 19. Variación espacial y temporal del vanadio en sedimento.	50
FIGURA 20. Riqueza de la comunidad de poliquetos durante la temporada de secas.	56
FIGURA 21. Riqueza de la comunidad de poliquetos durante la temporada de nortes.	56
FIGURA 22. Densidad relativa por zona durante la temporada de secas.	57
FIGURA 23. Densidad relativa por zona durante la temporada de nortes.	58
FIGURA 24. Densidad relativa por especie durante la temporada de secas.	59
FIGURA 25. Densidad relativa por especie durante la temporada de nortes.	59
FIGURA 26. Equitatividad por zona durante la temporada de secas.	61
FIGURA 27. Equitatividad por zona durante la temporada de nortes.	61
FIGURA 28. Diversidad de la comunidad de poliquetos durante la temporada de secas.	62
FIGURA 29. Diversidad de la comunidad de poliquetos durante la temporada de nortes.	62

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 30. Prueba de asociación de Olmstead-Tukey para la temporada de secas.	65
FIGURA 31. Prueba de asociación de Olmstead-Tukey para la temporada de nortes.	66
FIGURA 32. Distribución Log-Normal de la comunidad de poliquetos durante la temporada de secas.	68
FIGURA 33. Distribución Log-Normal de la comunidad de poliquetos durante la temporada de nortes.	68
FIGURA 34. <i>Capitella capitata</i> , 10X, barra de referencia = 0.1 mm.	70
FIGURA 35. <i>Nereis pelagica</i> , 10X, barra de referencia = 0.1 mm.	71
FIGURA 36. <i>Parandalia ocularis</i> (Parker, 1996).	71
FIGURA 37. <i>Streblospio benedicti</i> , 10X, barra de referencia = 0.1 mm.	72
FIGURA 38. <i>Cossura brunnea</i> , 10X, barra de referencia = 0.1 mm.	72
FIGURA 39. Índice Trófico de la Infauna (Word, 1978) durante la temporada de secas.	73
FIGURA 40. Índice Trófico de la Infauna (Word, 1978) durante la temporada de nortes.	74
FIGURA 41. Análisis de componentes principales para la temporada de secas.	75
FIGURA 42. Análisis de componentes principales para la temporada de nortes.	76
FIGURA 43. Esquemas de los taxa identificados.	134

RESUMEN

El presente estudio tiene por objeto sugerir poliquetos bénticos susceptibles de ser indicadores de la calidad del agua y sedimento del río Pánuco. Para ello se llevaron a cabo una serie de caracterizaciones a diferentes niveles, durante las temporadas de secas y nortes: caracterización fisicoquímica y de contaminantes del agua (parámetros fisicoquímicos como oxígeno disuelto, salinidad, nitratos y fosfatos, etc. y contaminantes tales como metales pesados e hidrocarburos aromáticos), caracterización granulométrica y de contaminantes presentes en el sedimento (tales como Ni y V), así como el estudio de la estructura comunitaria de los poliquetos (diversidad, riqueza, equitatividad y dominancia, entre otros). Finalmente para el establecimiento de relaciones entre la comunidad y el ambiente se emplearon parámetros estadísticos y pruebas de asociación que reflejaran la respuesta de la comunidad ante los parámetros evaluados.

Los resultados obtenidos con relación al medio ponen de manifiesto una calidad baja del agua superficial y de fondo para el desarrollo de la vida acuática, durante las dos temporadas de estudio, con un pH y niveles de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos y fosfatos fuera de los criterios ecológicos ó límites máximos permisibles. Con respecto al sedimento, éste presenta ambientes de depósito típicos, sin embargo, en materia de contaminantes, las concentraciones de níquel y vanadio señalan la influencia de la industria petrolera en la zona.

Con referencia a la estructura de la comunidad se observaron dos tendencias: durante la época de secas hubo una riqueza específica baja, donde la equitatividad es el componente que mayoritariamente influye en la diversidad, mientras que en la temporada de nortes hubo una riqueza alta, la cual influyó preferentemente a una diversidad variable espacialmente. Así mismo la comunidad de poliquetos en la temporada de secas se mostró impactada, mientras que en la época de nortes tuvo un comportamiento transitorio (entre normal e impactado).

Los poliquetos que se sugieren en este estudio como indicadores son *Capitella capitata* como especie indicadora de altas concentraciones de materia orgánica, *Nereis pelagica* y *Parandalia ocularis* como organismos indicadores de procesos sucesionales en un ambiente en cambio, *Streblospio benedicti* y *Cossura brunnea* como especies tolerantes a las variaciones de salinidad típicas de un ambiente estuarino.

ABSTRACT

The objective of this study is to suggest benthic polychaetes as indicators of the Pánuco river water and sediment quality, in the state of Tamaulipas, Mexico. During two seasons (april-may and december) water samples of surface and bottom were taken. In order to know the water quality, physical-chemical parameters as dissolved oxygen, salinity, phosphates, nitrates and pollutants parameters like nickel and vanadium were analysed. At the same time, samples of sediment were taken and characterized too as the polychaete community structure (diversity index, richness, equitative, dominance). Finally, the distribution of polychaetes and their relation with the environment was studied with the use of indices and statistical analysis.

The results reveled a low quality of the surface and bottom watter for the acuatic surviving with levels of pH, dissolved oxygen, solids and phosphates outside of ecological limits during both study seasons. The deposition of the sediment particles was normal, but the high concentration of nickel and vanadium indicated the influence of the petroleum industry on the river's sediment.

We found two oposite tendencies in the community structure: during the dry season (april-may) the richness was low and the equitative had a great weight on the diversity index. In the other side, the richness during december season was high. Also during the dry season, the polychaete community was observed as an impacted community, while during december the community had a transitory behavior (between normal and impacted state).

The polychaetes that are suggested as indicators in the present study are *Capitella capitata* as high concentration of organic matter indicator, *Nereis pelagica* and *Parandalia ocularis* as organisms that indicate successional processes in a variable environment, *Streblospio benedicti* and *Cossura brunnea* as tolerance species of salinity fluctuations that are typical of an estuarine environment.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se centra en la contaminación causada por el hombre en los sistemas hídricos a través de vertimientos de contaminantes de la industria, agricultura y asentamientos humanos, siendo los contaminantes más importantes los metales pesados, la materia orgánica, los toxones, las descargas de nutrientes y los agentes patógenos, haciendo éstos que los recursos acuíferos dulces se hallen sometidos a una presión ambiental grave, que se acrecienta cada día más (INEGI, 1994). A medida que la población y el desarrollo tecnológico crece es menor la posibilidad de conciliar la oferta y la demanda del recurso vital.

Desde hace tiempo los cuerpos de agua superficiales han sido empleados como vertederos naturales de desecho y, aunque estas aguas generalmente tienen un alto grado de biodegradación, la tasa de adición puede exceder la capacidad de recuperación, por lo que el cuerpo de agua se contamina rápidamente, actuando como reservorio y acumulando contaminantes en el sedimento, en los organismos, disueltos en el agua o adheridos a partículas en suspensión (Goldberg, 1975). Tal es el caso del río Pánuco, en el que destaca el vertimiento inadecuado de las aguas residuales municipales e industriales consideradas en cierta medida como la causa directa de la degradación experimentada en su calidad (Sría. de Marina, 1982).

A pesar de que el río Pánuco está considerado entre las corrientes más contaminadas del país (INEGI, 1994), la información existente en materia ambiental sobre él es realmente muy escasa. Por ello, el Instituto Mexicano del Petróleo en la línea de especialidad de Estudios Ecológicos, y con el financiamiento de PEMEX-Refinación, ha desarrollado el proyecto "Evaluación del impacto en el río Pánuco, debido a la influencia de la refinería y terminal marítima de ciudad Madero, Tamaulipas", de cuyo análisis surgió la inquietud del presente estudio.

En este trabajo se propone identificar a los poliquetos susceptibles de ser indicadores de las condiciones prevalecientes en el río Pánuco, mismos que por un lado sirvan como señaladores de la calidad del río y, por otro, se utilicen como un elemento integrador de las condiciones fisicoquímicas y de contaminantes presentes espacial y temporalmente, sin tener que caracterizar intensiva y completamente al río y a su sedimento.

Las dos temporadas de muestreo que abarca el presente estudio fueron las épocas de secas y nortes, y se eligieron debido a que en ellas se presentan condiciones extremas: mínima dilución presente a lo largo del río, y mayor penetración de la cuña de mar en época de secas, así como una máxima dinámica y condiciones de homogeneización durante la temporada de nortes.

Este esfuerzo de investigación pretende contribuir no sólo al conocimiento de la fauna poliquetológica de la zona, sino también aportar datos sobre la caracterización y la calidad del agua y sedimento de este río tan poco estudiado y tan importante en nuestro país.

Además, siendo el río Pánuco tan influenciado por la industria petrolera, los parámetros de contaminantes concernientes al material orgánico extraíble en agua y sedimento, así como los metales pesados e hidrocarburos aromáticos, reflejarán en cierta medida el impacto actual de dicha industria sobre la calidad del río y la comunidad béntica.

A medida que se conozcan con más detalle las condiciones ambientales prevalecientes en ésta y otras cuencas prioritarias del país, y se creen índices ecológicos, se logrará en primer término una fase de conocimiento, que se espera traiga consigo una fase de concientización, prevención y protección, en vez de remediación. Sólo así se habrán de conciliar las necesidades tecnológicas con la protección al ambiente, y se podrá tender al desarrollo sustentable con un manejo adecuado de los recursos naturales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Proponer poliquetos bénticos susceptibles de ser indicadores de la calidad del agua y del sedimento del río Pánuco, Tamaulipas, México.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Caracterizar fisicoquímicamente el agua de fondo del río Pánuco durante las temporadas de secas y nortes.
- Obtener el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Pánuco, para el uso de pesca y vida acuática, durante las temporadas anteriormente mencionadas.
- Caracterizar de forma granulométrica (tamaño de grano e índice de fineza), y a nivel de principales contaminantes (hidrocarburos aromáticos, material orgánico extraíble, Ni y V) al sedimento del río Pánuco durante las temporadas antes descritas.
- Identificar a los poliquetos bénticos encontrados en la zona de estudio, y calcular sus parámetros comunitarios (diversidad de Shannon-Weaver, equitatividad, dominancia y riqueza).
- Evaluar si algunas especies de poliquetos y la calidad del ambiente están relacionadas, de tal manera que algunas especies puedan identificarse como indicadoras de tales condiciones.

MARCO TEÓRICO

• CALIDAD DEL AGUA: CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y BIOLÓGICA.

El concepto de calidad del agua se originó como una respuesta a las enfermedades de origen hídrico que afectaban al hombre (Domínguez-Parra 1986). Posteriormente se empleó el término de calidad de un ambiente acuático, para definir un conjunto de indicadores relativos a la concentración de algunas sustancias orgánicas e inorgánicas y a la composición y estado de la biota encontrada en el cuerpo de agua. En este caso se empleará el término de "calidad del agua y del sedimento" para describir el estado real en materia ambiental de los compartimientos del sistema acuático, mediante sus respectivas caracterizaciones fisicoquímicas, biológicas y de contaminantes.

Muchas veces al tratar de conocer la calidad de un ambiente acuático se recurre únicamente a su caracterización fisicoquímica. Estos análisis pueden ser más precisos en valor absoluto, pero carecen de relevancia espacio-temporal porque su valor se limita al sitio y momento en que fue tomada la muestra (Rolan, 1973). Además, al utilizar únicamente información fisicoquímica para evaluar la calidad del agua, existen las siguiente deficiencias:

- 1) Es impráctico monitorear a todos los determinantes de la calidad del agua.
- 2) Los métodos analíticos rutinarios no siempre son sensibles a bajas concentraciones del contaminante.
- 3) El significado de las concentraciones detectables es muchas veces irreconocible.
- 4) Los efectos sinérgicos son prácticamente desconocidos.

A partir de estas desventajas se observó que la clase y variedad de organismos presentes en un río son a menudo indicadores más sensibles de la contaminación que los métodos fisicoquímicos.

• INDICADORES BIOLÓGICOS.

Según Rosenberg y Reish (1993), el concepto de indicador biológico de condiciones ambientales se originó en Europa a partir de los trabajos de Kolkwitz y Marsson, realizados entre 1908 y 1909, en los que una especie indicadora se definía como aquella que tiene requerimientos particulares de condiciones ambientales específicas. Cambios en presencia/ausencia, número, morfología, fisiología o comportamiento indican que alguna variable ambiental se encuentra fuera de sus límites de tolerancia.

Fue entonces cuando el conocimiento de las poblaciones más estrechamente ligadas a la contaminación y la posibilidad de delimitarlas, condujeron al estudio de especies indicadoras, lo cual ha permitido juzgar no

solamente el nivel de contaminación en determinado punto, sino también la probabilidad de que se instale en un determinado lugar tal o cual comunidad en función del crecimiento de la contaminación doméstica e industrial (Pèrés *et. al.*, 1980).

Las especies bioindicadoras responden a exigencias ecológicas muy concretas, permitiendo reconocer determinadas características especiales del medio en el que viven. En principio, cualquier especie cuyos límites ambientales sean conocidos puede ser utilizada como indicadora e idealmente es mejor estudiar a toda la comunidad, ya que su sano crecimiento indica una buena calidad ambiental (Pèrés *et. al.*, 1980).

No existe especie alguna para evaluar la calidad ambiental en todas las condiciones. Sin embargo, se han delineado una serie de características deseables que una especie indicadora debe satisfacer (Rosenberg *et. al.*, 1993):

- 1) Ser de fácil identificación taxonómica, aún por personas no especialistas.
- 2) Tener distribución cosmopolita.
- 3) Ser abundante numéricamente.
- 4) Tener variabilidad genética y ecológica baja.
- 5) Ser de tamaño grande.
- 6) Tener movilidad limitada y ciclos de vida relativamente cortos.
- 7) Tener características ecológicas bien conocidas.
- 8) Ser de fácil manejo para estudios en el laboratorio.

Como es difícil que un indicador reúna todos los requisitos mencionados anteriormente, se pueden omitir algunas características, siempre y cuando estos organismos sean los adecuados para indicar cambios ambientales.

Las ventajas que ofrecen los indicadores biológicos son las siguientes:

- 1) Los organismos constituyen un monitoreo continuo, eliminando el problema de la "puntualidad" en el agua.
- 2) Los organismos integran los efectos de muchas variables del medio.
- 3) Los bioindicadores integran el efecto de los contaminantes mezclados, eliminando el problema del sinergismo.
- 4) Se pueden utilizar los cambios en la estructura de la comunidad para visualizar la calidad del agua.

Con relación a este último aspecto Margalef (1980) señaló que la contaminación del agua determina un descenso en la diversidad, tanto por establecer condiciones rigurosas que pocas especies pueden resistir, como por estimular un fuerte desarrollo de unas pocas especies en ambientes altamente inestables y fluctuantes. La diversidad y sus variaciones son, por lo tanto, un excelente indicador de la contaminación.

Debe recordarse también que el uso de indicadores ayuda a detectar el aumento o disminución de la contaminación en los ecosistemas, y permite además establecer fuentes de contaminación, así como señalar la posible ruta de transmisión de un contaminante hacia el hombre (Dominguez-Parra, 1986).

Sin embargo, la utilización de especies indicadoras presenta problemas que no deben olvidarse, tales como:

- 1) Es difícil encontrar una especie o grupo restringido que actúe como verdadero indicador.
- 2) No son válidas aquellas especies de gran capacidad de cambio o mucha movilidad.
- 3) Hay que valorar el tiempo y esfuerzo necesarios para establecer que grupo de especies son indicadoras.
- 4) Es difícil identificar a las especies en cuestión, por lo que se requiere personal especializado.

• EL BENTOS COMO ELEMENTO INTEGRADOR.

Los bioindicadores más utilizados son los invertebrados y, entre éstos, las comunidades animales de la zona béntica (organismos que habitan la mayor parte de su vida en o sobre el sedimento), son objeto favorable para evaluar de una forma concreta los efectos de los daños en el medio.

El monitoreo del bentos ha permitido obtener imágenes más reales de las condiciones prevalecientes en sitios en los que la contaminación no es continua o las concentraciones de los aportes son muy variables, lo que da como resultado que los métodos analíticos no logren detectar en todos los casos los niveles de contaminantes y su efectividad se restrinja al momento de la emisión de las descargas (Wilhm, 1967; Goodnight, 1973).

Otro argumento a favor del estudio de los organismos bénticos es que sus tubos y actividades de excavación pueden estabilizar o resuspender el sedimento, además de incrementar la sedimentación al sustraer partículas alimenticias de la columna de agua (Pèrés *et. al.*, 1980). El estudio dinámico del bentos es, por consiguiente, de carácter revelador para ciertos efectos acumulativos (Frithsen y Doering, 1986).

Los organismos bénticos poseen una estrecha dependencia del sitio que habitan y, dado que el sedimento atrapa y almacena temporalmente muchos contaminantes, la respuesta del bentos ante las perturbaciones es más fácil de asignar a un agente causal concreto. Entonces, el bentos podría considerarse como una agrupación de elementos integradores de la calidad del agua (Salazar-Vallejo, 1991).

Los anélidos poliquetos son un grupo de invertebrados muy abundante y diversificado del bentos. Desde décadas pasadas, el estudio de los poliquetos ha causado interés debido a su gran abundancia en medios perturbados y/o contaminados, de tal modo que se han considerado indicadores de contaminación (Reish, 1957, 1960, 1986). Dichos organismos constituyen un importante eslabón en la red trófica (Ushakov, 1972), y facilitan el transporte de mezclas y partículas y gases disueltos a través del sedimento (Rhoads, 1974).

Los poliquetos pueden representar más de un tercio del número de especies macrobénticas en un tiempo y espacio dado (Knox, 1977), además de tener efectos notables sobre el entorno que ocupan (Fauchald y Jumars, 1979).

Dada su poca o nula movilidad, los poliquetos integran varias clases y niveles de contaminación de una fuente fija y a través de un largo período de tiempo (Hartley, 1982). Además, constituyen más del 50% de la fauna béntica total recolectada (Long y Chapman, 1985; Zenetos y Bogdanos, 1987), lo que los convierte en una buena herramienta biomonitora (Granados-Barba, 1994).

ANTECEDENTES

La acción de la contaminación global haciendo intervenir a los factores físicos (temperatura, turbidez), químicos (contaminantes industriales y domésticos) y biológicos generalmente asociados, ha sido estudiada por una parte, sobre las poblaciones de sustrato sólido y por otra, sobre poblaciones de sustrato blando en las proximidades de la desembocadura de los emisores (CNA, 1996).

•INDICADORES DE CONTAMINACIÓN.

El uso de organismos como indicadores de la calidad del agua dulce se ha venido desarrollando desde principios de siglo, desafortunadamente de una manera muy lenta. Fue hasta la década de los 60's cuando se dió mayor relevancia a los bioindicadores.

Desde 1963 se realizó una revisión sobre índices biológicos para evaluar la calidad del agua, y se enfatizó en la estandarización de los métodos de muestreo e identificación taxonómica. En 1967 se sugirió un índice biótico tomando en consideración parámetros fisicoquímicos (Beick, 1963 *vide in* Marquez-Bravo, 1986).

La utilización del bentos en las evaluaciones de impacto ambiental ha sido propuesta por diversos autores como Holme y McIntyre (1971), aunque fueron los trabajos de Reish (1972-1973) los pioneros sobre las especies indicadoras de contaminación y comunidades bénticas en medios contaminados. Goodnight (1973), Soloman (1976), Sanders (1978), Dauer y Conner (1980) y Gaughan (1981) dieron a conocer también al bentos como una gran herramienta biomonitora.

En México, son realmente escasos los trabajos que tratan de poliquetos a nivel de indicadores de la calidad ambiental. Entre ellos se pueden mencionar los de Lizárraga-Partida (1973) en el que se incluyó un estudio de poliquetos como indicadores de contaminación orgánica, Márquez-Bravo en el año de 1986 mencionó a diversos organismos bénticos, tales como los oligoquetos, como indicadores de la calidad del agua del río Amacuzac y Balsas, Calderón-Aguilera en 1992 realizó un análisis de la infauna béntica de la Bahía San Quintín, Baja California, acentuando su utilidad en la evaluación del impacto ambiental. Por último González-Macias en 1989 identificó a diversos organismos tolerantes a concentraciones elevadas de hidrocarburos, tales como los poliquetos *Lumbrineris tenuis* y *Sigambra bassi*. La misma autora en su tesis de posgrado (1997) sugirió como indicadores de contaminación en una chapopotera del Golfo de México a *Lumbrineris tenuis* y *Paraprionospio pinnata*, entre otros.

•RIO PÁNUCO.

Existe muy poca información de tipo ambiental acerca del río Pánuco, a pesar de que su cuenca se clasifica como de primer orden. De los estudios ambientales efectuados en la zona, se encuentran los relacionados con las actividades del puerto industrial de Altamira (Emilsson *et. al.*, 1973; Miramar, 1987), donde se mencionó la influencia de estas actividades sobre el ecosistema marino adyacente al río Pánuco, así como los efectos de la contaminación en la zona costera (Inst. de Ingeniería, 1974).

Otras evaluaciones han sido realizadas por la Secretaría de Marina, algunas de carácter oceanográfico, frente a Tampico, Tamaulipas (Sria. de Marina, 1973; 1978; 1980), y otras de carácter ambiental propiamente desarrolladas sobre el estuario del Pánuco.

Existe un registro del año de 1982 en el que se evaluó la calidad del agua e impacto del petróleo y sus derivados en la desembocadura del río por parte de la Secretaría de Marina. Se eligieron 15 descargas que tenían una mayor importancia como fuente de contaminación entre las que destacan las descargas de "Química del Mar", la cual se localiza cerca de la escollera norte, "Refinería", que incluye las instalaciones de la refinería y terminal marítima, "Humex" y "Cyanaquim" (frente a la zona industrial de Altamira) y la "Termoeléctrica" que descarga sus efluentes en la Laguna Carpintero, la cual a su vez desemboca en el río Pánuco.

Con base a al análisis anterior se concluyó que el tipo de aguas descargadas en el estuario son aguas de tipo residual doméstico, pluvial e industrial, las cuales pueden ir mezcladas o no de acuerdo a la época del año. Así, el estuario puede ser considerado como una unidad completamente mezclada, ya que tiene la capacidad para degradar e intercambiar niveles de contaminación provenientes de aguas residuales. Los niveles altos de contaminación se deben a que las aguas descargadas no son lo suficientemente tratadas, y pueden causar algún efecto en la biota acuática. Además, en este estudio se marcó la necesidad inminente de tratar las descargas de aguas municipales con el fin de eliminar el problema de la contaminación (Sria. de Marina, 1982).

Esta misma entidad en 1986 realizó un informe de carácter cualitativo acerca de las condiciones prevalecientes en el río Pánuco (Sria. de Marina, 1987), en el que se presenta el número de ocasiones que se reportó determinado contaminante con base a estudios previos, y en cada lugar de observación. Con estos datos la División de Oceanografía obtuvo la proporción existente entre el número de ocasiones en las que ha sido registrado el contaminante, en relación al número total de registros de contaminantes en la zona, expresando esta proporción en porcentajes. Los contaminantes incluidos y que están relacionados con el presente estudio fueron los hidrocarburos y la materia orgánica.

Los resultados mostraron que el contaminante que más frecuentemente se presentó fueron los hidrocarburos, del 76 al 100 por ciento frente a la refinería Madero, y del 51 al 75% en la zona de escolleras. Cerca del canal Chijol y después de la refinería, los hidrocarburos se presentan en una proporción de 1 a 25%, y en los demás sitios, este contaminante se pudo considerar como ausente. Con relación a la materia orgánica, ésta se presenta en una proporción de 51 al 75% en la zona de escolleras y frente a la desembocadura de la Laguna Chairel. En los demás puntos y hasta la desembocadura su proporción es de 1-25%. En dicho estudio se concluye que el alto índice de contaminación por hidrocarburos es producido por la industria petrolera de la zona.

Así mismo la Secretaría de Marina realizó en el puerto de Altamira una caracterización del ambiente acuático en la zona de descarga de Du Pont, S. A. de C. V. (Ortiz-Gallarza, 1994), a 15 Km. aproximadamente del río Pánuco, y cuya influencia es notable sobre todo por ser este puerto un corredor industrial muy cercano al río. Se encontraron como géneros resistentes a las perturbaciones ambientales o aquellos considerados como indicadores de contaminación a: *Lumbrineris*, *Capitella*, *Parapronospio* y *Aricisia*. Los dos primeros se han reportado en zonas contaminadas con una gran abundancia asociada siempre a altas concentraciones de materia orgánica (Reish, 1972; Bellan, 1964; Gobin, 1987).

La CNA (Comisión Nacional del Agua) es otra institución gubernamental que realiza monitoreos de la calidad del agua del río Pánuco, como parte del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Agua. Dentro de este estudio se ha estudiado a la Laguna Chairel y a la Laguna Tancol, siendo analizada la primera de ellas desde el punto de vista de toma de agua potable. Para ambos sitios se reportó la calidad del agua en términos del ICA: Índice de la Calidad del Agua, encontrándose desde 1990 hasta la fecha para la Laguna Chairel una mejoría en la calidad de su agua, no así en la Laguna Tancol. En la estación "El Álamo-Río Pánuco", dentro del periodo comprendido de 1990 a 1996, la CNA concluye que la calidad del agua ha disminuido paulatinamente (CNA, 1996).

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

UBICACIÓN GEOGRÁFICA: El río Pánuco (azteca: lugar poblado por los que vinieron por el mar o donde se pasa el río) es uno de los más caudalosos del país, tanto porque su cuenca comprende un área tributaria muy amplia como por su situación geográfica y orográfica. Dicho río está ubicado en la vertiente Oriental sección norte de México (INEGI, 1991) y corre de suroeste a noreste. Geográficamente se encuentra localizado entre los 19° y 24° de latitud norte y entre 98° y 101° 30' de longitud oeste del meridiano de Greenwich (CFE, 1964).

El área total de la cuenca del río Pánuco hasta la confluencia del Tamesí es de 93,978 km², incluyendo 7,521 km² de la cuenca del valle de México, que artificialmente está unida a la del Pánuco. Su recorrido total es de 510 km.

UBICACIÓN POLÍTICA: Abarca parte de los estados de México, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Hidalgo, Tamaulipas, Veracruz y una pequeña zona de Nuevo León, así como al Distrito Federal. La cuenca del río Pánuco se encuentra limitada al noreste por la cuenca del río Purificación, al sureste la limitan principalmente la cuenca del río Vinazco, afluente del río Tuxpan o Pantepec, y otros pequeños arroyos que desembocan a la laguna de Tamiahua. También queda limitada en parte por las cuencas de los ríos Cazones y Tecolutla. Hacia el sur se encuentra limitada por el Valle de México, aún cuando ambas cuencas están unidas artificialmente. Al sureste se encuentra limitada por la cuenca del río Lerma y finalmente al noreste por la cuenca cerrada de Matehuala (CFE, 1964).

OROGRAFÍA: La cuenca, orográficamente, presenta tres zonas bien definidas:

- 1) La porción sur y occidental, que abarca parte del altiplano y presenta relieves moderados con precipitaciones medias anuales que varían de 400 a 900 mm, en las cuales escurren en valles adecuados para la agricultura como los de Tulancingo, San Juan del Río y Río Verde.
- 2) La parte media, donde las corrientes atraviesan la Sierra Madre Oriental, caracterizada por su configuración accidentada, dando origen a profundos y estrechos cañones, donde se registran las máximas precipitaciones de hasta 2500 mm anuales.
- 3) La zona baja, desde las estribaciones de la sierra hasta el litoral del Golfo de México, cuya orografía está constituida por lomeríos y llanuras, donde los cauces ondulan con suaves pendientes y las precipitaciones varían de 700 a 900 mm anualmente.

El presente estudio abarca el Pánuco bajo que se ubica en el estado de Tamaulipas. Se localiza en el municipio de Tampico desde los 97° 55' longitud W y 22° 16' latitud N hasta su desembocadura en el Golfo de México. Está asociado a la laguna Chairel, Carpintero, del Mango y Pueblo Viejo, así como al río Tamesí.

El curso inferior del Pánuco tiene anchuras variables, de 100 a 333 metros en secas, y se desborda en la estación de lluvias. Se observan velocidades de 0.3 m³/s en secas y de 3m³/s en lluvias. El río tiene un escurrimiento de 17,300 millones de m³ por año.

Tampico es un puerto de altura, y sobre la margen izquierda del río Pánuco, a unos 23 Km. río arriba de su desembocadura, forman la entrada dos escolleras que corren paralelas en dirección 77°, separadas en sus extremos por 330 m (Sría. de Marina, 1979).

HIDROGRAFÍA Y SISTEMAS COLECTORES: El sistema hidrográfico de la región está formado por una serie de arroyos perfectamente localizados que cubren y drenan la parte alta del puerto y que son el medio de transporte de las aguas residuales al río Pánuco, se caracterizan por ser de pendientes suaves.

Las lagunas que predominan en el margen izquierdo del río y que se cuentan entre las más importantes por su relación con el río y sus dimensiones son las de Marland, Tamos y Chairel, y en el margen derecho la de Pueblo Viejo. Poco antes de su desembocadura al Golfo de México, el río Pánuco recibe por el margen derecho las aportaciones del río Chacayán y por el margen izquierdo las aguas del río Tamesí, afluente considerado como uno de los más importantes del río Pánuco.

El drenaje está dividido en 12 sistemas de los cuales 2 descargan a la Laguna Chairel y el resto al río Pánuco ya sea por gravedad o por bombeo. El sistema de alcantarillado en algunas zonas es combinado con aguas residuales y aguas pluviales, en otras son sistemas separados. En las partes donde no existe drenaje pluvial, el agua es drenada por las calles y descargada al río Pánuco y a las lagunas de Chairel y de Carpintero. En el alcantarillado de Tampico y ciudad Madero hay estaciones de bombeo que se utilizan para la disposición final de las aguas residuales municipales (Sría. de Marina, 1982).

CLIMATOLOGÍA: El clima de la región es de tipo Aw¹(e), según García (1973), el cual corresponde a un clima cálido sub-húmedo, con temperatura media más cálida sobre los 22°C, y un promedio anual de temperatura entre 20 y 25°C, presentando sus máximas en mayo y junio, y sus mínimas en enero y febrero. La humedad relativa alcanza un valor de 80%. La precipitación se distribuye en forma muy irregular, pues la mayor parte se presenta durante los meses de junio a octubre, siendo muy escasa en los meses restantes, teniéndose una precipitación media anual de 1, 039 mm (INEGI, 1995).

El cociente P/T está comprendido entre 43.2 y 55.3, y en cuanto a su grado de humedad se clasifica como de humedad intermedia. La temporada de nortes abarca aproximadamente de octubre a marzo. Los vientos dominantes son del sur, y los del norte sólo parte del otoño e invierno (Galicia, 1982).

POBLACIÓN: La población que se desarrolla al margen del río Pánuco se divide en cuatro municipios, siendo los de Tampico y Ciudad Madero los que tienen características más homogéneas. Se ha desarrollado en los últimos años un proceso migratorio hacia la zona debido al desarrollo industrial. Así, la franja urbana está ligada a Cd. Madero formando prácticamente una sola ciudad, que se desarrolla al margen del río Pánuco (Sría. de Marina, 1982).

APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS: Incluyen los siguientes:

- **RIEGO:** En la parte alta de la cuenca se controlan diversas obras para irrigación, pequeña irrigación y de abastecimiento de aguas. En la parte media del río Pánuco se puede decir que no existe ningún aprovechamiento digno de mencionarse. En la parte baja de la cuenca, los aprovechamientos más importantes están localizados sobre el río Guayalejo.
- **ENERGÍA ELÉCTRICA:** El aprovechamiento de carácter hidroeléctrico en la cuenca del río Pánuco son de muy poca capacidad, ya que se tienen instalados aproximadamente 17.450 KW (CFE, 1964).
- **PESCA:** Como una actividad regional de importancia para los pobladores de la zona, y además como zona de criadero de camarón de río.

IMPORTANCIA ECONÓMICA: Radica esencialmente en los siguientes aspectos:

- Tiene importancia para la navegación y actualmente es posible que las embarcaciones de gran calado penetren al río y lleguen a Tampico, el cual es un puerto fluvial situado a 12 km de la barrera, con profundidades de 9 a 10 m.
- Es de sumo interés para los procesos de refinación, ya que en sus bordes se encuentra la Refinería y Terminal Marítima Madero. La primera de ellas con una superficie total de 600 hectáreas y una capacidad de proceso de 175, 000 barriles de crudo por día. El agua usada en la Refinería Madero se toma del vaso natural de captación de la Laguna Chairel. La Terminal Marítima Madero cuenta con seis muelles que dan servicios para el transporte de crudos, combustóleos, destilados y petroquímicos por vía marítima (IMP, 1982):
- La materia prima y los productos terminados: gas (propano, butano), gasolina (extra y nova), tractogás, diesel (nacional y automotriz urbano), combustóleo, asfaltos, grasas lubricantes, estireno y butadieno, entre otros, llegan y se distribuyen en la Refinería Madero. Los productos terminados para su venta al público son distribuidos en la zona de influencia de la refinería a través de esta terminal, que cuenta con una área de almacenamiento y facilidades para llenado de tambores, carros y auto-tanques (IMP, 1982). Toda esta actividad industrial constituye una fuente de empleo importante a nivel estatal y nacional.

MÉTODO

El presente estudio consistió en dos muestreos realizados durante las temporadas de secas y nortes, a bordo de una embarcación tipo remolcador perteneciente a la Terminal Marítima Madero sobre el río Pánuco, Tamaulipas.

El primer muestreo se llevó a cabo del 24 de abril al 2 de mayo de 1996 (considerada como época de secas), abarcando un total de 16 estaciones (Figura 1), comprendidas en dos zonas, las cuales se definieron por su posición con respecto a la desembocadura del río: zona media y zona baja (la más cercana a la desembocadura). Algunas estaciones se establecieron a ambos márgenes del río, con el fin de comparar las condiciones entre uno y otro extremo. Dichas estaciones tendrán el mismo número, y se emplearán asteriscos para diferenciar la ubicación en un margen y otro (un asterisco para el margen izquierdo y dos para el margen derecho del río).

El segundo muestreo fue realizado del 11 al 17 de diciembre de 1996 (considerada como época de nortes), abarcando un total de 15 estaciones (Figura 1) comprendidas en tres zonas determinadas con base al criterio anterior: de la 1 a la 5 zona alta (la más alejada de la desembocadura), de la 6 a la 10 zona media y de la 11 a la 15 zona baja. Cabe destacar que durante el muestreo de diciembre las primeras estaciones de muestreo se situaron más alejadas entre sí, tratando de abarcar una área mayor río arriba, así como puntos de muestreo más alejados de la refinería y terminal marítima que sirvieran como referencia, además de un muestreo más intensivo frente a las instalaciones de PEMEX. La ubicación geográfica de cada sitio de muestreo se presenta en la Tabla 1.

Las temporadas de muestreo estudiadas fueron elegidas por las condiciones tan particulares y extremas presentes en cada una de ellas. Por un lado existe una menor dilución a lo largo del río, así como una mayor penetración de la cuña de mar dada por las condiciones propias de la época de secas, mientras que por otro lado, la temporada de nortes presenta condiciones que permiten una homogeneización en la columna de agua a lo largo del río, así como una máxima dinámica.

En cada una de las temporadas se obtuvieron muestras de agua y sedimento, siendo el esquema de toma de muestras el siguiente: en relación al agua del río, hubo un monitoreo intensivo que incluyó diferentes días de muestreo, ya que su comportamiento respondió más a las fluctuaciones fisicoquímicas y a las condiciones meteorológicas del ambiente, y en el caso de los parámetros fisicoquímicos en agua, la toma de muestras se realizó a dos niveles: superficie y fondo, ya que cada uno de ellos posee características particulares.

Por otro lado, se tomaron muestras de sedimento en una ocasión, ya que se trata de un sistema por definición conservativo, del cual se analizó su granulometría, fineza y contaminantes.

Para el análisis de contaminantes en agua se obtuvieron muestras combinadas, para lo que se tomó una fracción en cada uno de los días de muestreo, formando así una muestra representativa de cada parámetro por punto de muestreo. La evaluación de coliformes (fecales y totales) se realizó tomando dos muestras por sitio durante dos días de muestreo. El esquema de toma de muestras se resume en la Tabla 2.

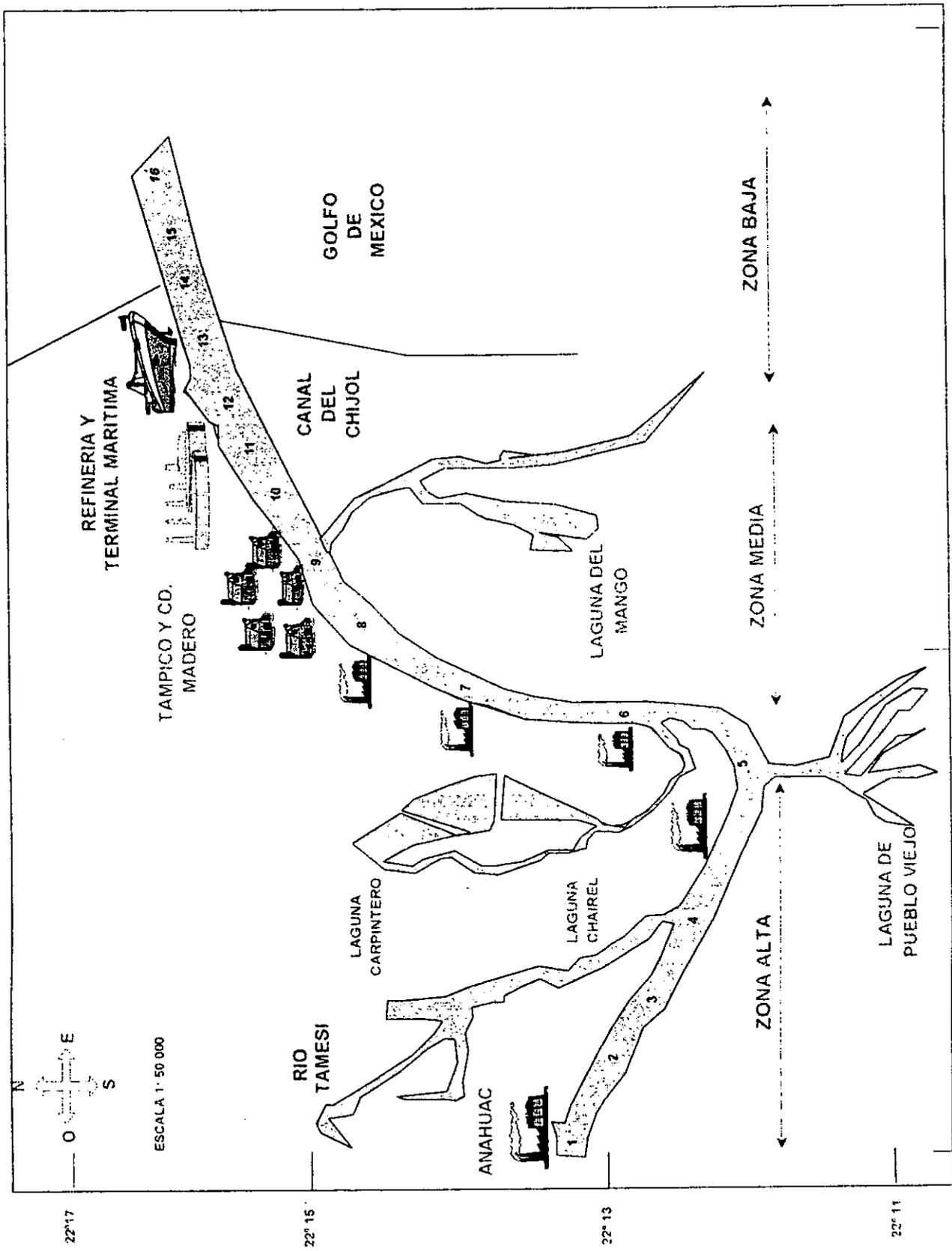


FIGURA 1. UBICACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN EL RIO PANUCO, TAMAULIPAS, MEXICO.

TABLA 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en las temporadas de secas y nortes.

SECAS			NORTES		
ESTACIÓN	LOCALIZACIÓN LAT. N - LONG. W	PROFUNDIDAD (m)	ESTACIÓN	LOCALIZACIÓN LAT. N - LONG. W	PROFUNDIDAD (m)
7*	22°14.392'	4.0	1	22°13.087'	7.5
	97°49.830'			97°55.041'	
7**	22°14.392'	5.0	2	22°13.227'	7.5
	97°49.830'			97°53.324'	
8	22°14.707'	12.0	3	22°12.827'	8.5
	97°49.430'			97°52.270'	
9*	22°14.980'	10.0	4	22°12.543'	9
	97°49.998'			97°51.736'	
9**	22°14.980'	7.0	5	22°12.370'	9.5
	97°49.998'			97°50.368'	
10*	22°15.176'	4.0	6	22°13.847'	9
	97°48.723'			97°50.224'	
10**	22°15.176'	4.0	7	22°14.392'	9.5
	97°48.723'			97°49.830'	
11*	22°15.121'	10.0	8	22°14.707'	10
	97°48.588'			97°49.430'	
11**	22°15.121'	12.0	9	22°14.980'	9.8
	97°48.588'			97°49.998'	
12*	22°15.415'	9.0	10	22°15.176'	12
	97°47.966'			97°48.723'	
12**	22°15.415'	7.0	11	22°15.121'	14
	97°47.966'			97°48.588'	
13*	22°15.450'	8.0	12	22°15.415'	12
	97°48.088'			97°47.966'	
13**	22°15.450'	7.0	13	22°15.450'	16
	97°48.088'			97°48.088'	
14	22°15.666'	12.0	14	22°15.666'	12
	97°47.387'			97°47.387'	
15	22°15.700'	8.0	15	22°15.700'	4
	97°46.562'			97°46.562'	
16	22°15.850'	8.0			
	97°46.562'				

*Margen izquierdo. ** Margen derecho.

TABLA 2. Esquema metodológico de muestreo.

AGUA/SEDIMENTO	TOMA DE MUESTRAS	NIVEL
AGUA Caracterización fisicoquímica	3 zonas, 5 puntos/zona, 3 días (2 días).	Superficie/fondo
AGUA Contaminantes	3 zonas, 5 puntos/zona, 1 muestra combinada, 3 días (2 días).	Superficie
AGUA Microbiológicos	3 zonas, 5 puntos/zona, 1 muestra/día, 2 días.	
SEDIMENTO Caracterización física	3 zonas, 5 puntos/ zona, 1 muestra/ día, 1 día.	Puntual
SEDIMENTO Contaminantes	3 zonas, 5 puntos/ zona, 1 muestra combinada, 3 días.	Puntual
BENTOS	3 zonas, 5 puntos /zona, 1 muestra, 1 día.	Puntual

Entre paréntesis se indica el número de días para la temporada de nortes.

TRABAJO DE CAMPO.

Una vez establecidos los sitios de muestreo, y el número de muestras se procedió como sigue:

Las muestras de agua fueron obtenidas con botellas muestreadoras tipo Van Dorn, a profundidad variable, fueron conservadas a -4° C y transportadas al laboratorio para su análisis posterior.

Los parámetros que se midieron *in situ* fueron los mencionados a continuación.

- 1. Profundidad:** Se obtuvo mediante una sondaleza con cuerda marcada cada 10 cm.
- 2. Temperatura:** Se determinó con un termómetro de mercurio con escala mínima de 0.1° C, como es recomendado por el método APHA 212 (APHA, 1995). Los resultados se reportan en grados Celsius.
- 3. Salinidad:** Se utilizó un salinómetro de inducción marca Beckman, modelo RS9, con compensación automática de temperatura y una precisión de ± 0.003 partes por mil. Los resultados fueron reportados en partes por mil (o/oo).
- 4. pH del agua :** Se empleó un potenciómetro digital marca INDUMEX modelo M 822, con división mínima de 0.1 y una repetibilidad de 0.05 (APHA, 1985).
- 5. Oxígeno disuelto:** Se utilizó la técnica de Winkler modificada con azida de sodio para la eliminación de interferencias, método APHA 420-F (APHA, 1985), con una precisión de ± 0.01 ppm. Los resultados se reportan en partes por millón (ppm).
- 6. Turbiedad:** Se empleó un espectrofotómetro HACH DREL/5 con escala para turbiedad de 0 a 1000 FTU, efectuándose las lecturas a 450 nm (APHA, 1995). El límite de detección depende de la regleta empleada en el espectrofotómetro, teniéndose 0.01, 0.1, 1.0 y 10 FTU como divisiones mínimas. Los resultados se reportan en Unidades de Turbiedad a la Formazina (FTU).

Las muestras de sedimento se obtuvieron sin réplica con una draga tipo Van Veen de 0.1 m^2 de capacidad, de la cual se separan dos fracciones iguales: la primera de ellas para su análisis granulométrico y la segunda para su análisis biológico.

La primera fracción se deposita en bolsas de plástico previamente etiquetadas y sin ningún preservador. La segunda fracción se coloca en bolsas de plástico con formaldehído al 10% para su fijación. Luego se mide el volumen de sedimento en una cubeta graduada. Posteriormente el sedimento se cierra a través de un tamiz de 0.50 mm de luz de malla con el fin de retener la fauna macrobéntica. El sedimento retenido en el tamiz se vierte en un frasco de vidrio de un litro previamente etiquetado, el cual se preserva en alcohol etílico al 70% para su análisis biológico ulterior.

TRABAJO DE LABORATORIO.

En esta sección se mencionan de manera sucinta los parámetros y su método de obtención, mismo que se detalla en el Anexo I.

I. Caracterización fisicoquímica del agua.

1. Sólidos suspendidos, disueltos y totales : Siguiendo el criterio de la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-34-1981, con una precisión de +/- 0.1 mg/l.

2. Nutrientes.

a) Nitratos: Por el método de reducción a nitritos, empleando columnas de cadmio cubiertas con cobre coloidal, método APHA 418-C (APHA, 1985), con una precisión de +/- 0.5 ppb.

b) Fosfatos: Por el método del ácido ascórbico, cuyo rango de detección es de 10 a 500 ppb con repetibilidad de 4 a 10%, método APHA 424-F (APHA, 1985), con una precisión de +/- 2 ppb.

II. Contaminantes en el agua.

1. Hidrocarburos aromáticos y material orgánico extraíble (MOE): Para los hidrocarburos aromáticos el principio del análisis se basa en la determinación de las concentraciones de compuestos aromáticos por fluorescencia entre los 300 y 400 nm del espectro en emisión del ultravioleta con un máximo a los 310 nm del espectro de excitación. Las muestras se toman de los extractos, sustituyendo a los solventes empleados (hexano en agua) y se obtiene el espectro ultravioleta correspondiente, con una precisión de +/- 0.1 ppb. Los resultados se reportan en ppb. Con respecto al MOE en agua, se evaluó por espectroscopía de infrarrojo con un equipo Unicam modelo SP-2000, con una sensibilidad de 0.0001 ppm.

2. Metales pesados: La evaluación analítica del níquel se realizó por absorción atómica utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 403. El vanadio se determinó por medio de la técnica de espectroscopía de absorción atómica descrita por Crums *et. al.* en 1971, utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 403. Los resultados se reportan en ppb. El límite de detección del instrumento para el níquel es de 0.02 mg/l y para el vanadio 0.2 mg/l.

3. Demanda Química de Oxígeno (DQO): Según el método NOM-AA-30-1981. Dependiendo de la DBO estimada y del % de dilución, la precisión del método oscila alrededor de los 7 mg/l.

4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Según el método NOM-AA-28-1981. Dependiendo de la DBO₅ estimada y del % de dilución, la precisión del método oscila alrededor de los 7 mg/l.

5. **Fenoles:** Se miden fotométricamente bajo el criterio de la norma NOM-AA-50-1978. La precisión del método es de 0.001 mg/l.
6. **Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM):** El método se basa en la NOM-AA-38-1976. La precisión del método varía de 0.025 a 1.0 mg/l, dependiendo de la concentración de detergentes.

III. Caracterización microbiológica del agua:

1. **Coliformes fecales y totales :** Se obtuvieron según el método NOM-AA-42-1987 y NMX-AA-102-1987. El límite de detección depende de la combinación de los tubos positivos, al 95% de confianza.

IV. Caracterización física del sedimento: El método empleado para la caracterización fue el de **Granulometría** correspondiente a Folk (1969) y modificada por Pérez *et al*, 1990 (ver Anexo I).

V. Contaminantes en el sedimento.

1. **Hidrocarburos aromáticos y material orgánico extraíble (MOE):** Se realiza una extracción con cloroformo empleando un equipo soxhlet durante 5 horas, el cloroformo se evapora a sequedad y se sustituye por tetracloruro de carbono para evaluar el MOE y por hexano para hidrocarburos aromáticos. Luego se evalúan por espectroscopía de fluorescencia en un equipo Perkin-Elmer modelo MPF-44b, con sensibilidad de 0.0001 ppm. Los resultados de hidrocarburos aromáticos se reportan en ppm, el MOE en mg/Kg de sedimento.
2. **Metales pesados:** La evaluación se realizó por espectrofotometría de absorción atómica de acuerdo con los métodos detallados para metales (Perkin Elmer, 1976), método EPA 3050 A. El límite de detección del instrumento para el níquel es de 0.02 mg/l y para el vanadio 0.2 mg/l.

VI. Identificación de los poliquetos: A las muestras de sedimento tamizadas y preservadas en formaldehído al 10% se les añade rosa de Bengala, con el fin de facilitar la separación de los organismos, ya que este colorante tiñe de rosa la materia orgánica (Mason y Yevich, 1967; API, 1977). Una vez llevada a cabo la tinción (30 min. aproximadamente), se colocan fracciones de sedimento con una cucharilla sobre placas de vidrio, cada una con 4 canales y, con la ayuda de unas pinzas de relojero bajo el microscopio estereoscópico, se separan con precaución a los poliquetos completos (es decir, con todas sus estructuras o la mayoría de ellas que permitan su identificación). Empleando el microscopio estereoscópico y óptico, y haciendo uso de diversas claves de identificación dicotómicas (Banse y Hobson, 1974; Fauchald, 1977; Foster, 1972; Frithsen y Doering, 1986; Granados-Barba, 1994; González-Ortiz, 1994; Hernández-Alcántara, 1992; Hutchings, 1984; Ochoa, 1996 y Salazar-Vallejo, 1981 y 1987), se identificaron a nivel de especie a la mayoría de los ejemplares.

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Estadística Descriptiva: A los resultados obtenidos del trabajo de campo y análisis fisicoquímico y de contaminantes en el laboratorio, se les calculó su estadística descriptiva (media, desviación estándar, coeficiente de variación e intervalo) tanto para agua como para sedimento (Daniels, 1984). El resumen estadístico se presenta en el Anexo II para la temporada de secas, y en el Anexo III para la temporada de nortes.

Calidad del Agua: Consiste en un índice que se utiliza con el fin de agrupar simplificadaamente algunos parámetros capaces de indicar algún deterioro en la calidad del agua y se conoce como ICA (Índice de Calidad del Agua), su descripción se detalla en el Anexo I.

En este estudio se incluyeron los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de contaminantes sugeridos por CNA para clasificar la calidad del agua como apropiada para la vida acuática (SEDUE, 1986): temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitratos, fosfatos, DBO, SAAM, coliformes fecales y coliformes totales.

Los resultados nominales por día fueron promediados, con el fin de obtener el ICA para cada estación, ya que no se encontraron diferencias substanciales entre los índices obtenidos para cada día.

Debido a que el Índice de la Calidad del Agua incluye un valor de importancia que el evaluador le da a cada parámetro, se trató de dar valores de importancia diferentes (Anexo I), con el fin de observar si existían cambios significativos en el índice, manejándose los siguientes casos:

- a) Mantener los valores de importancia como constantes (con el valor de 1).
- b) Valores variables de importancia, del 1 al 5.
- c) Valores variables de importancia, del 1 al 5, con mayor peso a los parámetros fisicoquímicos, y menor a los microbiológicos.
- d) Los empleados por la CNA, los cuales son valores decimales (CNA/IMTA, 1996).

Los valores de importancia empleados fueron los del inciso c (Anexo I), por utilizarse este índice con el fin de evaluar la calidad del agua para la "vida acuática", y no con el fin de utilizar al agua del río como potable.

Una vez obtenidos los valores de ICA parciales para cada parámetro, se obtuvo el ICA final para el agua superficial y de fondo por cada estación. El valor obtenido se comparó en la escala de calificación general con el fin de conocer la calidad del agua presente en el río Pánuco para la vida acuática.

Índice de Fineza: A los resultados del análisis granulométrico del sedimento se les aplicó el Índice de Fineza propuesto por Satsmadjjs y Voutsinou-Taliadouri (1983). Este índice toma en cuenta los porcentajes de arcilla y limo presentes en el sedimento, y se basa en el supuesto de que los sedimentos que presentan dominancia de partículas de diámetro fino, son más propensos a la acumulación de los contaminantes. Se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$F = g + t / (0.2 g + 5), \text{ donde:}$$

F = Índice de Fineza

g = Porcentaje de Arcillas (<0.004 mm)

t = Porcentaje de Limos (0.0004-0.062 mm)

El índice de fineza puede indicar de una manera sencilla cuáles áreas están más propensas o son más susceptibles de sufrir la acumulación de sustancias contaminantes en los sedimentos, dependiendo de sus características físicas. Los valores bajos denotan la presencia de granos más gruesos (arenas) y el índice se incrementa con la elevación de la proporción de granos finos (limos y arcillas), señalando una mayor tendencia a la captación y acumulación de contaminantes en aquellas áreas con más altos índices de fineza.

Análisis de la comunidad: Los parámetros considerados para describir a la comunidad de poliquetos fueron los siguientes (Begon *et. al.*, 1988):

- 1. Densidad:** Para el cálculo de la densidad (organismos/m²) fueron considerados únicamente aquellos ejemplares que estuvieran completos o que presentaran la mayoría de sus estructuras para su identificación. Esta abundancia se dividió entre el área total de la draga empleada (0.1 m²) y se multiplica por 2, debido a que se considera la mitad de la fracción de sedimento tomada para el análisis granulométrico y de contenido de hidrocarburos y metales pesados. Esta densidad de organismos por m² se corrige incorporando el valor de la eficiencia de muestreo de la draga, considerando el volumen máximo en litros muestreado en cada campaña como 100%, y relacionando éste con los volúmenes parciales tomados en cada dragado por estación.
- 2. Riqueza (S):** Corresponde al número de taxa diferentes presentes en la comunidad.
- 3. Diversidad de Shannon y Weaver (H')**: calculada mediante la siguiente ecuación:

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i, \text{ donde:}$$

$$\sum P_i = 1.$$

P_i = # individuos por especie / # total de individuos en la muestra.

Este índice es uno de varios que se basa en la teoría de la información, centrándose en el concepto de incertidumbre, es decir, en un conjunto de baja diversidad uno puede estar más o menos seguro de la identidad de una especie elegida al azar, pero en un ensamble de alta diversidad, es difícil predecir la identidad de un individuo tomado al azar, y por ende, la diversidad es una medida de la incertidumbre, o de la cantidad de información mínima requerida para explicar cualquier fenómeno. Este índice de diversidad fue elegido además debido a que los datos representan una muestra aleatoria (Odum, 1973).

4. Equitatividad (J), es la medida que refleja la homogeneidad relativa de los taxa en cada estación, considerando el valor de H máxima:

$$J = H / H_{\text{máx}}, \text{ donde:}$$

J= Equitatividad.

H= Diversidad de especies observadas.

H_{máx}= Diversidad de especies máxima.

5. Dominancia (D): La cual corresponde a la diferencia entre la unidad y la equitatividad, es decir son complementarios:

$$D = 1 - J$$

Así mismo se aplicó la prueba de asociación de **Olmstead-Tukey** para cada una de las temporadas de muestreo. Este es un método gráfico que permite determinar la existencia de una correlación, aún cuando no determina la magnitud de la misma. Toma en cuenta a la abundancia y a la frecuencia de aparición de los taxa en relación a la mediana de éstas características. Utilizando esta representación gráfica que divide en cuatro cuadrantes, se clasifica a las especies como dominantes, ocasionales, constantes ó raras. Las especies dominantes poseen una abundancia y frecuencia mayores a la mediana, las constantes tienen una abundancia menor a la mediana, pero su frecuencia es mayor, las especies ocasionales tienen una abundancia mayor pero frecuencia menor a la mediana, y las especies raras poseen abundancias y frecuencias menores a la mediana (Sokal y Rohlf, 1979).

También se llevo a cabo la prueba **Log-normal** para probar el ajuste de las muestras a curvas de comportamiento conocido, permitiendo además la selección de posibles organismos indicadores de acuerdo a su presencia en intervalos de alta densidad (Gray, 1981).

Finalmente con el fin de conocer la relación entre la comunidad de poliquetos y el medio se realizan dos pruebas: el **índice trófico de la infauna (ITI)** y el análisis multivariado de **componentes principales (ACP)**. La descripción de ambos análisis se detalla en el Anexo I.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se presentan a continuación ordenados en cuatro puntos principales: I. Caracterización fisicoquímica del agua de fondo e Índice de la Calidad del Agua (ICA), II. Caracterización física y de contaminantes del sedimento, III. Parámetros de la comunidad de poliquetos, IV. Relación entre la comunidad de poliquetos y el medio.

I. Caracterización fisicoquímica del agua e ICA.

Dada la gran complejidad de los factores que determinan la calidad del agua, se pueden observar grandes variaciones entre ríos, con características similares y en distintas regiones hidrológicas. En forma similar la respuesta al impacto antropogénico podría ser también muy diferente. Como consecuencia, no hay una manera estándar o universal que permita definir los valores que deben tener los parámetros fisicoquímicos y biológicos de un cuerpo de agua. En el mejor de los casos, lo que podrá indicarse será una comparación dentro de un marco homogéneo y su descripción casi cualitativa, y en forma cuantitativa, los límites máximos permisibles para no poner en riesgo la salud humana, la vida acuática y el ecosistema en general (León-Vizcaino *et. al.*, 1993).

1. Variación espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos del agua de fondo. En este punto se presenta el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua de fondo, ya que ésta la que se relaciona directamente con el sedimento, y sólo con el fin de observar el efecto de gradiente que algún parámetro fisicoquímico pudiera tener, el área de estudio se analizará por zonas (alta, media y baja).

Los resultados nominales de cada parámetro se presentan en el Anexo II para la temporada de secas (Tablas A-D), y en el Anexo III para la temporada de nortes (Tablas J-L).

TEMPERATURA.

La temperatura para el agua de fondo, de manera global, varió en un intervalo de 24.0 a 27.0 ° Celsius, siendo ésta más alta durante la temporada de secas que en la temporada de nortes.

Con relación a la temperatura del agua de fondo registrada durante la época de secas (Figura 2), se aprecia un valor casi constante de tipo cálido a lo largo de todo el río (zona media y baja), con valores promedio de 25.34 +/- 0.93 °C, siendo la temperatura máxima alcanzada 27 °C (en la estación 7), y la mínima 24°C (en la estación 16). Los valores máximos y mínimos observados corresponden únicamente a variaciones de tipo puntual, sin embargo, todos estos

valores caen dentro de los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996, y corresponden típicamente a la temporada de secas.

Respecto a la temporada de nortes, únicamente en dos estaciones (6 y 9) se observa un incremento en la temperatura. Esto quizá se deba más bien a descargas de tipo térmico sobre el cuerpo de agua (producidas por ejemplo por la Termoeléctrica cercana a estos sitios) que a condiciones meteorológicas, ya que las condiciones particulares de la temporada de nortes permiten una homogeneización de la columna de agua, observables en todas las demás estaciones.

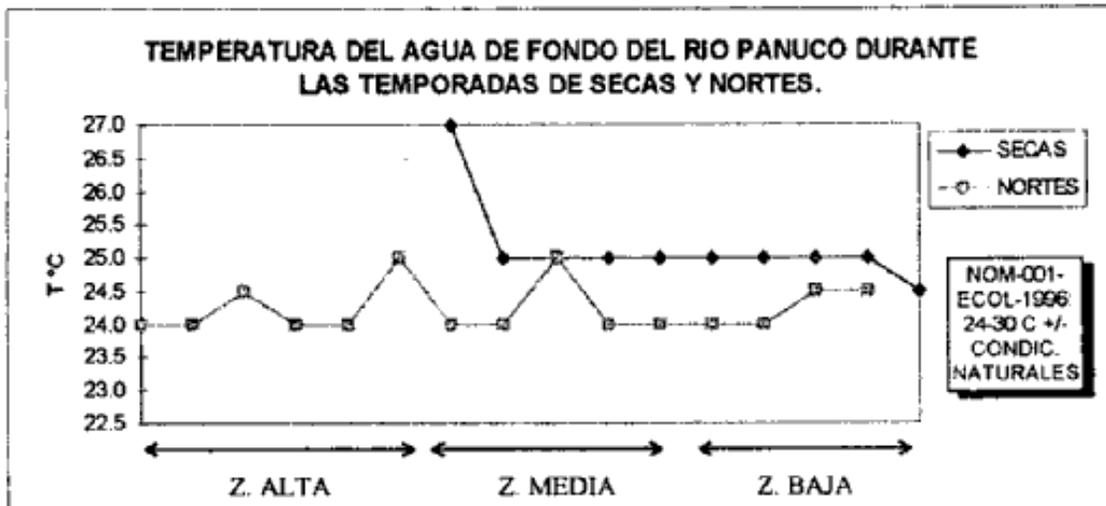


FIGURA 2. Variación espacial y temporal de la temperatura.

Así mismo, las temperaturas máxima y mínima (25 y 24 °C, respectivamente), así como el valor promedio alcanzado (24.43 °C +/- 0.39°C) caen también dentro de las condiciones naturales, según la NOM-001-ECOL-1991 para ríos en su apartado de protección a la vida acuática.

De manera general, los valores de temperatura no presentan una variación estacional muy amplia, mientras que los cambios temporales se deben precisamente a las condiciones particulares prevalecientes en cada época de muestreo (abril-mayo y diciembre).

SALINIDAD.

La salinidad en términos generales varió de 15 a 37 0/00, siendo durante la temporada de secas más alta en comparación a la temporada de nortes (Figura 3), estando ambos valores dentro del intervalo de salinidad registrado para el río Pánuco durante 1995, ya que la comparación se realizó con base a estudios anteriores realizados por el IMP en la zona de estudio.

Durante la época de secas, las estaciones 9 a la 16 presentaron una salinidad homogénea, sin embargo es en las estaciones 7 y 8, donde los valores

decrecen. Esto podría deberse a la localización propia de las estaciones, ya que estas son las más alejadas de la desembocadura del río, por lo que la influencia del mar hacia el río en estos sitios es mínima.

En la temporada de nortes, se observa un aumento gradual en la salinidad, en el que la zona baja (la más cercana a la desembocadura), presenta los valores más altos. Esto se explica si se considera que durante la época de nortes se tuvieron las primeras estaciones de muestreo más alejadas de la desembocadura del río (zona alta), por lo que esta zona no está influenciada por la entrada de la cuña de mar. Sin embargo, en la zona media y baja del río, las condiciones que se presentan son las de un estuario, debido a la influencia del agua de mar. Ecológicamente un estuario es la manifestación de un proceso de mezcla: el agua dulce se mueve hacia fuera en superficie y se mezcla progresivamente con el agua de mar, generándose como compensación una corriente profunda de agua marina en dirección al río (Margalef, 1983).

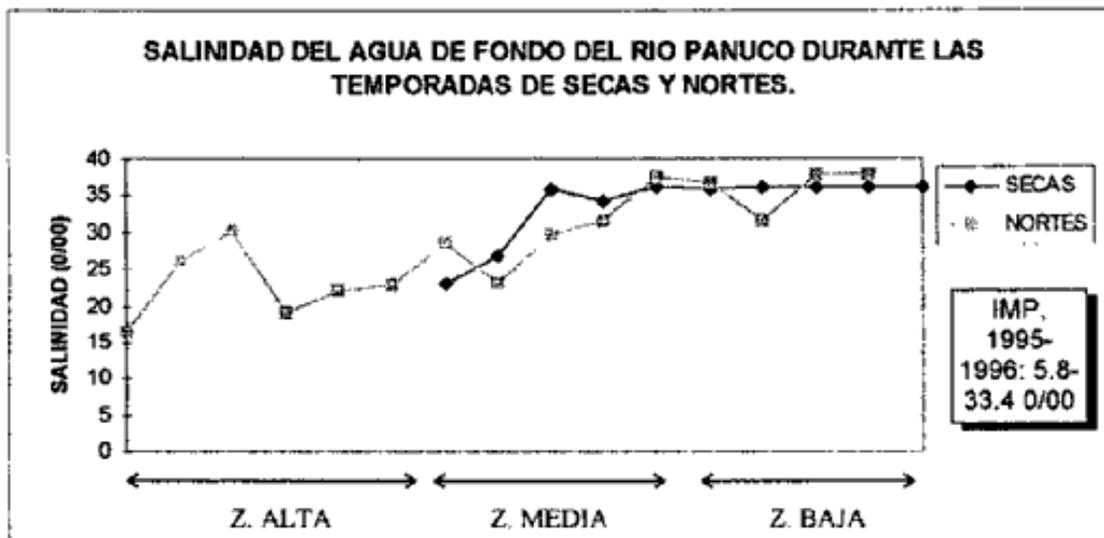


FIGURA 3. Variación espacial y temporal de la salinidad.

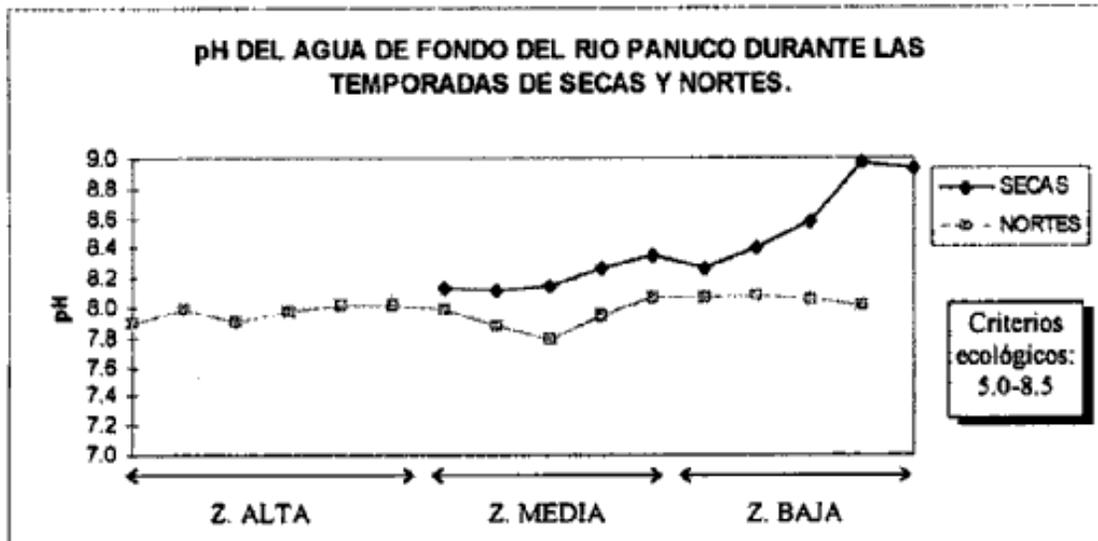
La variación temporal existente muestra la influencia de las condiciones particulares de cada época, ya que en la temporada de secas, la influencia del agua de mar en el río, provoca condiciones estuarinas, mientras que durante la época de nortes, la influencia del agua marina es menor, y la salinidad se mantiene más homogénea a lo largo del río.

pH.

El pH en términos generales varió de 7.8 a 9.0, siendo durante la temporada de secas más alto que en la temporada de nortes (Figura 3).

Durante la temporada de secas el valor promedio del potencial de hidrógeno del agua de fondo fue de 8.27 ± 0.31 , con un máximo y mínimo respectivamente de 9.1 y 8.1 (Figura 4). En términos generales el comportamiento

del pH fue muy homogéneo, excepto en la zona baja del río, en la que el valor máximo alcanzado (9.08) está fuera del límite máximo permisible y su ocurrencia, aunque puntual, posiblemente se deba a descargas de la industria petrolera de tipo alcalino, mismas que dan una señal de alarma sobre la calidad del agua. Esto es importante debido a que a valores altos de pH ocurre un sinergismo entre contaminantes. Además, bajo condiciones demasiado básicas, la vida de los organismos en general se ve afectada (Margalef, 1983).



Con relación a la época de nortes (Figura 4), el pH promedio fue de 7.98 \pm 0.08, siendo 8.12 el valor máximo durante la temporada, y 7.78 el valor mínimo registrado. Todos estos datos caen dentro del límite máximo permisible, y esto es congruente si se toma en cuenta que durante la temporada de nortes hay una homogeneización del medio, por lo que concentraciones muy altas de iones H^+ son difíciles de encontrar por la presencia de una mayor dilución .

El pH aumenta durante la temporada de secas debido a que es en esta época donde hay una menor cantidad de aporte de agua, y mayor actividad de degradación de la materia orgánica, y en nortes por las lluvias hay más aporte de agua de origen fluvial, que corresponde además a un efecto de dilución antes mencionado, además en nortes es menor la actividad de degradación. Por otra parte, en los nortes es cuando se da el mayor aporte de material, el cual en la época de secas va a ser degradado principalmente en las partes bajas y laderas donde habrá la mayor depositación.

OXIGENO DISUELTO.

El oxígeno disuelto en el agua del río Pánuco de manera general osciló entre los 1.9 a 9.1 ppm, siendo mayor su concentración durante la temporada de nortes, en relación a la época de secas.

Para la época de secas el valor promedio fue 4.97 +/- 1.51ppm, siendo los valores máximos y mínimos de 7.86-1.95 ppm, respectivamente. Aunque el intervalo de estos valores cae dentro del registrado en estudios anteriores por parte del IMP en la zona de estudio durante 1995 (5.4-7.0 ppm).

Cabe destacar que el valor permisible para la vida acuática es de 5 ppm, por lo que los valores de oxígeno promedio no alcanzaron el mínimo valor permisible, mientras que el valor máximo presentado durante el presente estudio escasamente alcanzó 7.86 ppm. La tendencia de este parámetro es el disminuir gradualmente conforme se llega a la desembocadura (Figura 5).

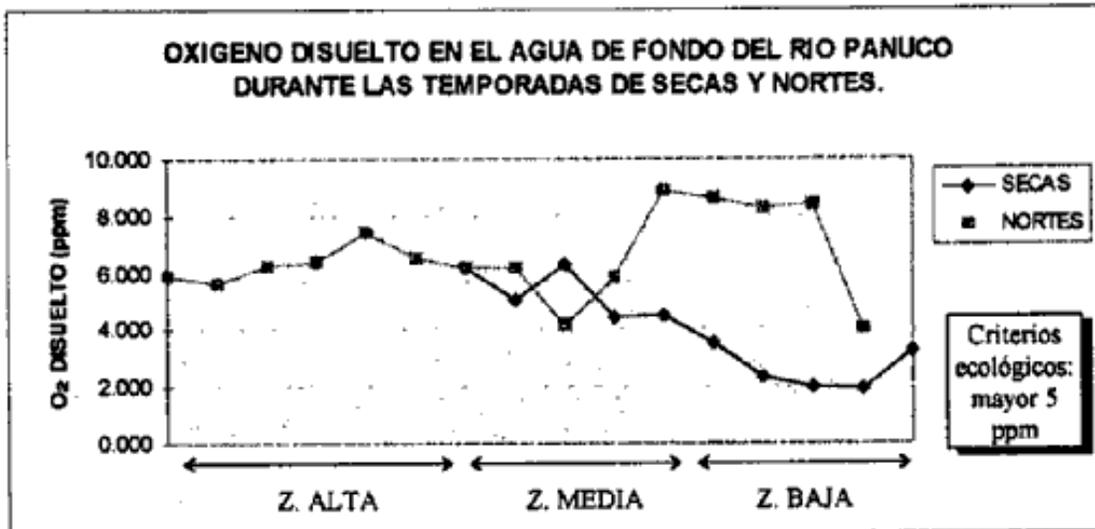


FIGURA 5. Variación espacial y temporal del oxígeno disuelto.

Para la temporada de nortes, la concentración de oxígeno disuelto se incrementa notablemente en la zona media y baja. En promedio, el oxígeno alcanzó un valor de 6.35 +/-1.51 ppm (mínimo 4.1 y máximo 9.1 ppm). Aunque el valor mínimo está por debajo del límite permisible, el valor promedio y el máximo están por arriba del mismo, por lo que en esta temporada se pueden considerar como óptimas las condiciones de oxígeno disuelto para la sobrevivencia de la vida acuática en términos generales.

Evidentemente la cantidad de oxígeno disuelto en la temporada de nortes fue mayor que en la de secas. Esto se debe esencialmente tanto a la temperatura característica de cada temporada, como a la oxigenación de las aguas provocada por los "nortes".

La variación espacial se podría dar principalmente debido a que en las partes altas del río el agua lleva mayor velocidad, por lo que esta tiene mucho oxígeno disuelto, mientras que en las partes bajas aunque el río lleva más cauce, tiene menor movimiento de mezclado, y por tanto, de oxígeno disuelto. Así mismo, la penetración del mar provoca un incremento en la demanda de oxígeno durante la época de secas, además de considerar que existen concentraciones diferentes

de materia orgánica a lo largo del río, mismas que conllevan a un consumo desigual de oxígeno.

TURBIEDAD.

La turbiedad osciló en términos generales de un valor mínimo de 2 FTU a 27.5 FTU como valor máximo, siendo la turbiedad más alta en la temporada de nortes en comparación a la temporada de secas.

En la temporada de secas el valor promedio de turbiedad del agua de fondo fue de 7.48 ± 0.36 FTU (Figura 6), siendo el máximo valor alcanzado 28 unidades, y el mínimo 2 FTU. Dichos valores caen dentro de las condiciones normales de turbiedad para un cuerpo receptor de agua dulce. Este parámetro mostró un comportamiento muy homogéneo durante esta temporada.

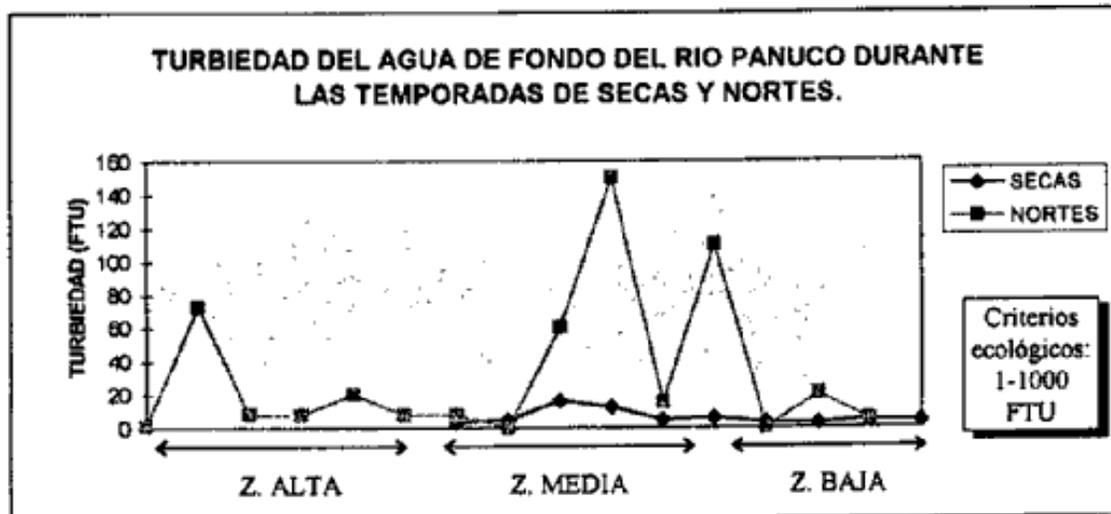


FIGURA 6. Variación espacial y temporal de la turbiedad.

Durante la temporada de nortes, la turbiedad se mostró variable, aumentando a partir de la estación 9 y comportándose de manera inconsistente hasta la desembocadura. Esto se podría deber esencialmente a la considerada zona de mezcla (ya reflejada en la salinidad y en el oxígeno disuelto), en la que el agua dulce se mezcla progresivamente con el agua de mar, generándose condiciones estuarinas más acentuadas a medida que se llega a la desembocadura del río. Sin embargo, todos estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables.

En contraste a las dos temporadas cabe destacar el hecho de que la turbiedad aumentó gradualmente hacia la desembocadura durante la época de nortes tanto por el aporte de material terrígeno como consecuencia de procesos de erosión, como por la entrada de la cuña de mar, esencialmente. Además, el incremento de turbiedad en la llamada época de nortes es explicable en términos de las condiciones propias de la temporada, tales como los fenómenos de

elevados pueden deberse también a los aportes por parte de la Laguna el Mango y del Canal del Chijol, respectivamente.

Los valores altos presentes en la zona de dilución a partir de la estación 9 en la época de nortes son atribuibles a la entrada de la cuña de mar, misma que provoca una zona de mezcla. Sin embargo, otro aumento puntual de los sólidos no explicado en términos de la entrada del agua marina, es el que presenta la estación 2 (zona referencia) con 880 ppm, valor que podría asociarse a la presencia tan cercana del "Muelle de cementos Anáhuac". Esto es importante, ya que el California State Water Pollution Control Board considera que valores de 50 a 250 mg/l de sólidos suspendidos son considerados aceptables para especies filtradoras de materia en suspensión (Van der Leeden *et. al.*, 1990), tipo de alimentación frecuente para los poliquetos.

NITRATOS.

Los nitratos se presentaron en un intervalo de 11.63 a 516 ppm, siendo en términos generales su concentración más alta únicamente de manera puntual durante la temporada de secas en comparación a la temporada de nortes.

Durante la temporada de secas los nitratos tuvieron una concentración promedio en el agua de fondo de 60.97 +/- 39.87 ppm (valor máximo y mínimo de 515.74 y 12.2 ppm, respectivamente). En la temporada de nortes, la concentración promedio de nitratos fue similar a la presentada en la época de secas, con valor máximo de 423 y mínimo de 11.63 ppm.

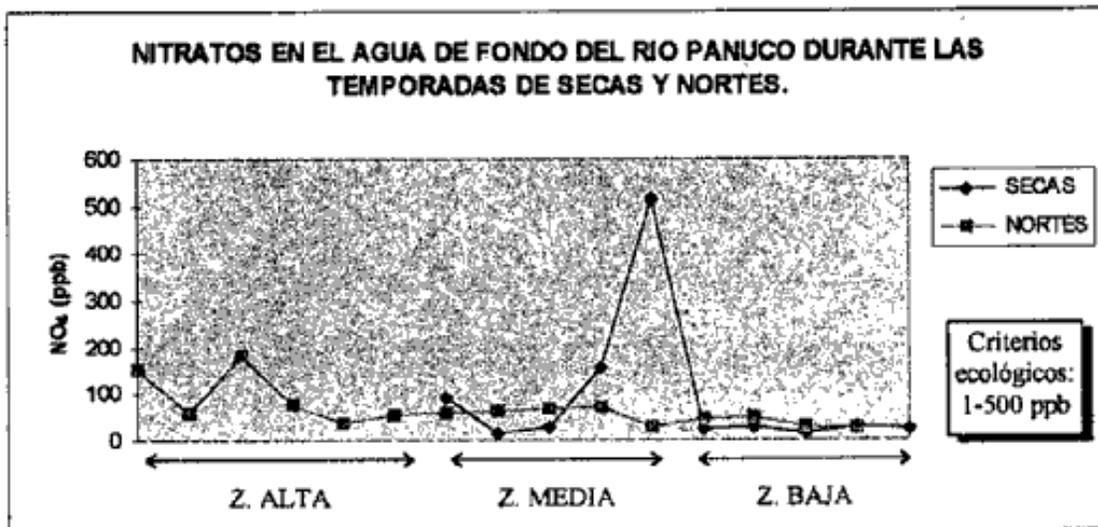


FIGURA 8. Variación espacial y temporal de los nitratos.

Los nitratos durante las dos temporadas permanecieron fuera de los límites óptimos para la vida acuática (Figura 8), aunque cabe aclarar que este intervalo se propuso para sistemas templados, donde las condiciones ambientales son diferentes, y donde los ciclos de nutrientes se llevan a cabo a una velocidad mayor por efecto de la temperatura.

El comportamiento de los nitratos en secas fue homogéneo, excepto en las estaciones 7 y 10 (277.13 y 515.74 ppb), de acuerdo con Weihaupt (1984), según el cual niveles naturales de 0.1 mg/l pueden verse incrementados por descargas municipales e industriales. Además, al existir influencia antropogénica, los nitratos aumentan por excretas humanas o por fertilizantes. Con relación a la temporada de nortes, el comportamiento fue en general homogéneo, y sólo un poco menor que en secas, fenómeno atribuible a la mayor dilución presente en la temporada de nortes.

FOSFATOS.

La concentración de los fosfatos en el agua de fondo del río Pánuco osciló de 11.63 como valor mínimo a 515.74 como valor máximo. En términos generales los fosfatos se presentaron de forma puntual en mayor cantidad durante la temporada de nortes que en secas.

En la época de secas la concentración de fosfatos máxima registrada fue de 234.4, mínima 11.36, y promedio de 71.0 ± 46.02 ppm (Figura 9), mientras que en la época de nortes el promedio de fosfatos presentes en el agua de fondo fue de 48.73 ± 41.87 , con un valor máximo y mínimo registrado de 192.7 y 0.95, respectivamente.

En el caso de los fosfatos y su relación con los límites permisibles se puede decir que el promedio global durante las dos temporadas no rebasa al límite óptimo, sin embargo, las concentraciones máximas alcanzadas durante las dos temporadas si lo rebasan, aunque no de manera excesiva.

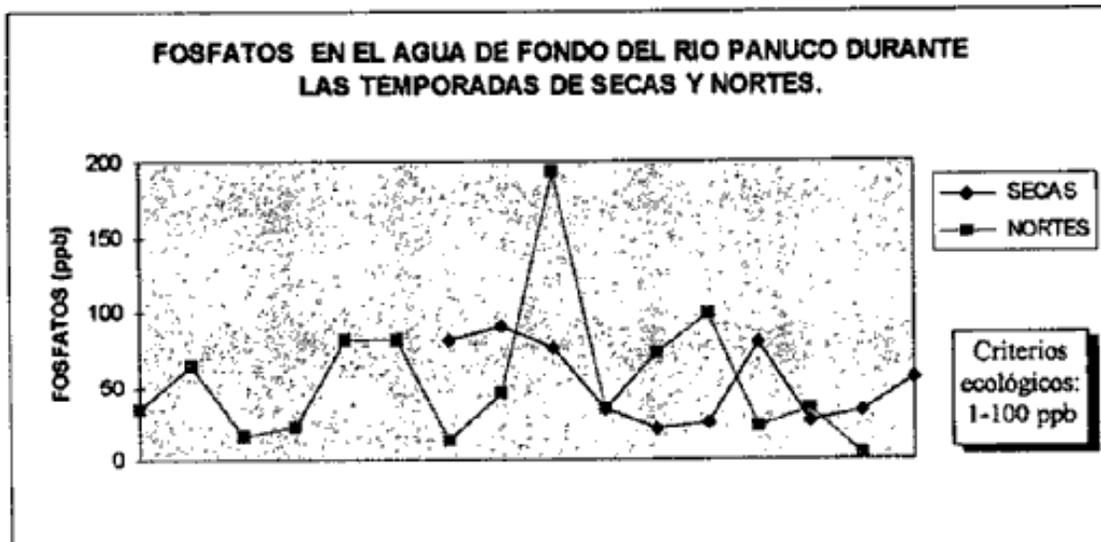


FIGURA 9. Variación espacial y temporal de los fosfatos.

Con respecto a la temporada de secas se observan diferentes comportamientos. En la parte media del río los valores de fosfatos decrecen conforme se acerca a la desembocadura, y al parecer tienden a aumentar progresivamente en la zona baja.

En la época de nortes, la concentración se presenta inconsistente, con aumentos puntuales en cada zona. Posiblemente las variaciones estacionales se deban a descargas puntuales, que indican la presencia de materia orgánica y demás desechos más que industriales, de tipo municipal, tales como los detergentes.

De manera general, el comportamiento de los nutrientes parecen indicar la presencia de una masa de agua heterogénea, fenómeno observable dada la influencia del mar sobre el río en su zona media y baja, lo que de alguna manera contribuirá a la distribución espacial y temporal de sus habitantes.

Discusión global de la caracterización fisicoquímica del agua.

Los parámetros fisicoquímicos que se registraron fuera de los límites máximos permisibles ó de los criterios ecológicos en su caso fueron el pH elevado y el bajo contenido de oxígeno disuelto durante la temporada de secas, así como la concentración elevada de los sólidos suspendidos y fosfatos durante ambas temporadas.

Con relación a la variación temporal, los parámetros fisicoquímicos del agua de fondo corresponden típicamente a las variaciones estacionales propias de cada temporadas de estudio, es decir, parámetros tales como la temperatura, y la salinidad mantuvieron un valor mayor durante la época de "estiaje", ya que condiciones tales como menor dilución y mayor influencia de la cuña de mar son típicas de esta temporada. En contraste, la mayor homogeneización de las condiciones fisicoquímicas como resultado de un movimiento de mezclado, así como la máxima dinámica en la columna de agua (ambas típicas de la temporada de nortes), provocan valores elevados de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos y turbiedad en el agua de fondo, de tal suerte que es durante la época de nortes durante la cual se ubica una tendencia depuradora por parte del estuario, contando siempre con concentraciones aceptables de oxígeno disuelto.

Cabe resaltar el comportamiento de la salinidad, ya que es un parámetro fundamental dentro de la dinámica espacial y temporal de un estuario, la cual durante este estudio correspondió a las variaciones típicas producidas por la influencia de la cuña de mar, dando como resultado un gradiente positivo hacia la desembocadura del río, con breves pulsos frente a la confluencia de las lagunas costeras (laguna Carpintero y del Mango), y una baja influencia de la cuña de mar en la zona alta del río, tanto por su lejanía como por el aporte del río Tamesí.

La variación espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos, entre ellos la salinidad, así como la calidad del agua y del sedimento, deberán tomarse en cuenta para su relación con la distribución y abundancia de los poliquetos.

2. Índice de la Calidad del Agua (ICA).

Con el fin de conocer la calidad del agua de superficie y de fondo, se obtuvieron los valores del Índice de la Calidad del Agua, incluyéndose los siguientes parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitratos, fosfatos, DBO, SAAM, coliformes fecales y coliformes totales. Los resultados nominales por día fueron promediados, con el fin de obtener el ICA para cada estación, mientras que los valores de importancia empleados para la ponderación fueron del 1 al 5.

Para ambas temporadas los resultados se presentan por estación y por zonas respectivas, con su interpretación en la escala de calificación general, en las Figuras 10 y 11 para secas, Figuras 12 y 13 para la época de nortes.

SECAS.

Los valores del ICA en términos generales para el agua superficial oscilan de 44 a 78, es decir, en la escala de calificación general para uso de pesca y vida acuática el agua va de ser propia "sólo para organismos muy resistentes" a ser "aceptable para todos los organismos". Con relación al agua de fondo, el intervalo del ICA osciló de 47 a 78, correspondiendo estos valores a la misma clasificación dentro de la escala global registrada para el agua superficial.

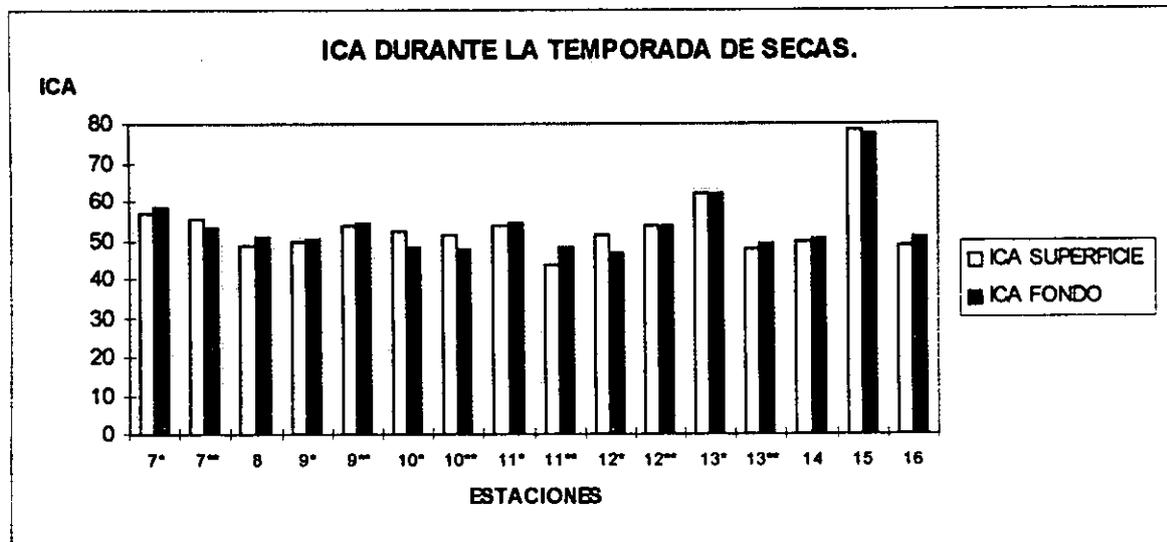


FIGURA 10. Resultados del ICA por estación para el agua superficial y de fondo.

De la Figura 10 se aprecia que prácticamente no existe diferencia entre la calidad del agua de superficie y de fondo, muy posiblemente por la profundidad registrada a lo largo del río, mientras que las diferencias esenciales se dan entre estaciones (variación espacial). Así, la estación con el ICA más alto fue la 15 (zona baja), la cual se considera como "aceptable para todos los organismos", mientras que la menor calidad más se puede encontrar en la estación 11 (zona baja).

Así mismo se puede apreciar que no existen diferencias substanciales entre la calidad del agua del río en su margen izquierdo y derecho, ya que los sitios de muestreo correspondientes a cada orilla del río presentan valores de parámetros fisicoquímicos y de contaminantes (y por ende del ICA) muy similares (Figura 10).

En términos de la calidad del agua (superficial y de fondo) por zonas dentro del río, se encontraron los siguientes porcentajes que caen dentro de cada categoría de clasificación :

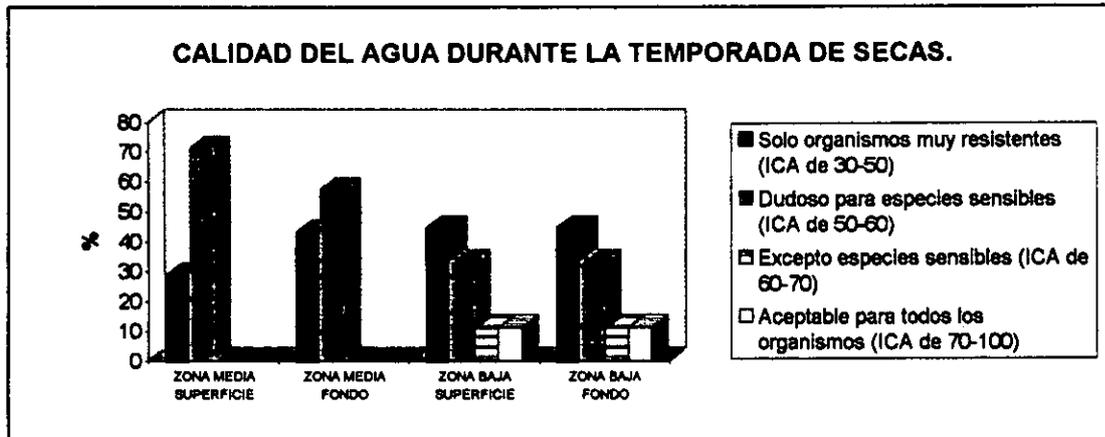


FIGURA 11. Resultados del ICA por zona para el agua superficial y de fondo.

Con relación al agua superficial la zona alta posee la calidad más baja, ya que la mayoría de sus estaciones posee una calidad "dudosa para especies sensibles" o "sólo para organismos muy resistentes", mientras que la zona con una calidad variable por estación es la zona baja, siendo ésta la única zona con apenas una estación con calidad "aceptable para todos los organismos" (Figura 11).

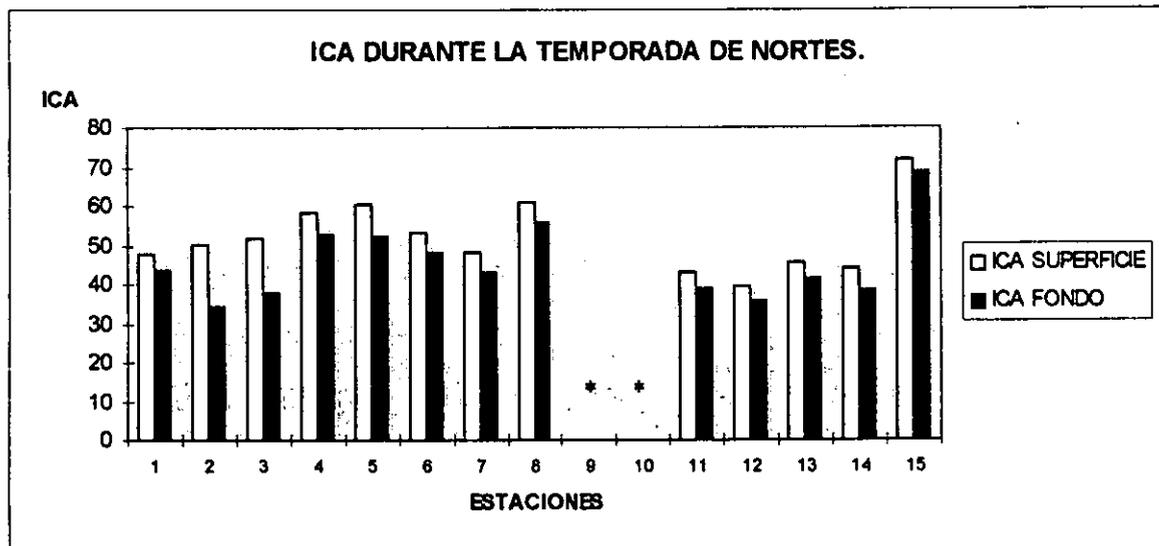
Tomando en cuenta la variación de la calidad del agua de forma espacial se observa que dicha calidad (a nivel superficial y de fondo) es mala para la vida acuática, y no sólo es exclusiva de alguna zona, sino a lo largo de todo el río Pánuco durante la temporada de secas.

NORTES.

Los valores del ICA en términos generales para el agua superficial oscilan de 40 a 72, es decir, en la escala de calificación general para uso de pesca y vida acuática el agua va de ser propia "sólo para organismos muy resistentes" a "aceptable para todos los organismos".

Con respecto al agua de fondo, el intervalo varió de 35 a 70, correspondiendo estos valores a la misma clasificación dentro de la escala global que para el caso anterior. Cabe destacar que los valores máximos durante esta temporada caen fuera de la escala de clasificación general (de 0 a 100),

específicamente para las estaciones 9 y 10 en las que el ICA rebasó el intervalo establecido posiblemente por la combinación de los valores fisicoquímicos (turbiedad, oxígeno disuelto y DBO₅) y microbiológicos en ambas estaciones, donde prevalece la zona de mezcla.



• Valor fuera de intervalo.

FIGURA 12. Resultados del ICA por estación para el agua superficial y de fondo.

De la Figura 12 se observa que existe una diferencia mínima entre la calidad del agua superficial y de fondo, siendo el agua de fondo la que posee en todas las estaciones, los valores más bajos de calidad en relación al agua superficial. Dichos valores la mayoría de las veces no son tan alejados entre sí como para ocasionar una clasificación diferente en la escala de calificación general para uso de pesca y vida acuática.

Además se observan diferencias entre la calidad del agua superficial y de fondo por estaciones, y por ende, entre zonas.

La estación con el ICA mayor para el agua superficial fue la 15 (zona baja), la cual se considera como "aceptable para todos los organismos" de manera similar a la temporada de secas, mientras que la calidad más baja se puede encontrar en la estación 12 (zona baja), considerada "sólo para organismos muy resistentes".

Para el agua de fondo, la estación 9 posee la calidad más alta e incluso sale fuera del intervalo, mientras que la estación 2 (zona alta) es la de peor calidad con un valor de ICA de 34.5 que corresponde a una agua apta "sólo para organismos muy resistentes".

En lo referente a la calidad del agua por zonas, los porcentajes que corresponden a cada categoría son los siguientes:

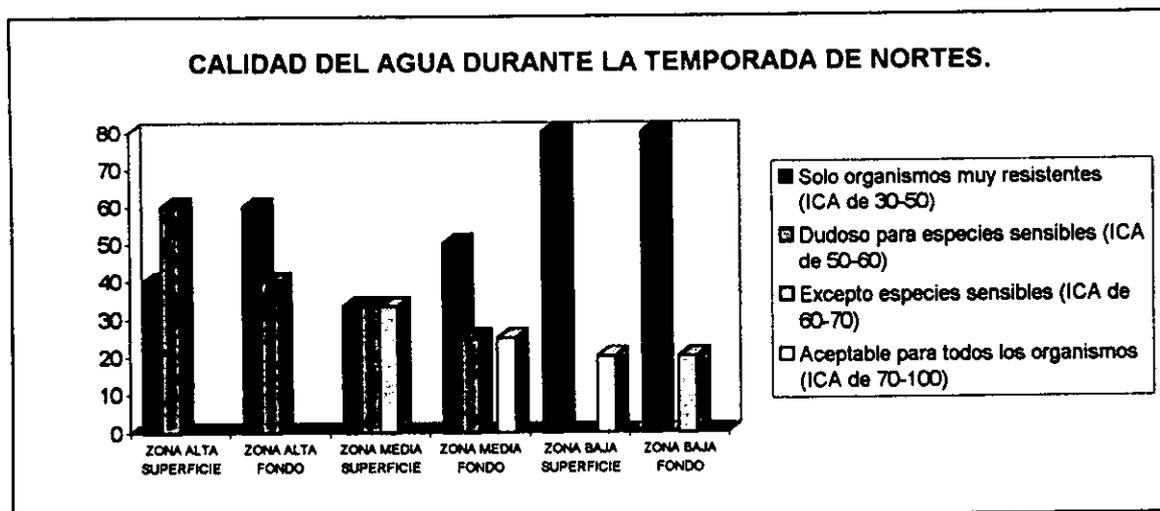


FIGURA 13. Resultados del ICA por zona para el agua superficial y de fondo.

En este caso se observa un gradiente en la calidad del agua superficial y de fondo, en el que la primera zona posee una calidad muy baja, misma que se mejora sólo un poco en la parte media del río, hasta decrecer en la parte baja. En esta temporada por tanto la alteración mayor sufrida en la calidad del agua se aprecia en la zona baja.

Dado que el agua de fondo es la que se encuentra en contacto íntimo con el sedimento, y los posibles bioindicadores que se pretenden identificar son habitantes del sedimento, se comparó la calidad del agua de fondo en ambas temporadas con el fin de resaltar su variación temporal, encontrándose que la calidad del agua de fondo durante la temporada de secas, en términos generales, fue mejor que durante la temporada de nortes, aunque las diferencias numéricas son mínimas, por lo que la categoría de clasificación dentro de la cual caen estos valores es prácticamente la misma. Esto esencialmente se cree es debido a que el Índice de la Calidad del Agua no es tan sensible para considerar efectos de temporalidad.

De los datos obtenidos se pueden apreciar los siguientes aspectos:

- 1) De manera general la calidad del agua del río Pánuco, en su nivel superficial no varía mucho con respecto al agua de fondo, e incluso la mayoría de las veces su valor numérico cae dentro de la misma categoría en la escala de clasificación del agua con uso para pesca y vida acuática.
- 2) La calidad obtenida para el agua del río es baja, por lo que apenas especies sensibles u organismos muy resistentes pueden tener posibilidades de vida. A este respecto, cabe señalar que el agua puede tener diferentes usos, y sólo en el caso particular de uso para pesca y vida acuática la calidad es mala.

3) Además de la calidad del agua, se debería de considerar un índice para la calidad del sedimento (mismo que no existe) que evalúe las condiciones existentes para los habitantes del mismo. Sin embargo, el tener una idea de la calidad del agua de fondo permite obtener una visión general de la posible calidad del sedimento.

4) Para el caso del uso del agua para pesca y desarrollo de la vida acuática, el valor del ICA no cambia significativamente si se varía o no la importancia dada a cada parámetro, por lo que el criterio del evaluador no repercute en el valor final.

5) El Índice de la Calidad del Agua, aunque es un índice que presenta algunas deficiencias, tales como el de no tomar en cuenta condiciones de temporalidad, o ser poco sensible a los valores de importancia dada a cada parámetro, constituye una manera sucinta de dar a conocer la situación del río, en términos de parámetros fisicoquímicos y contaminantes, y dependiendo de un uso determinado.

Se debe considerar que en la calidad del agua intervienen diversos factores, tales como sustancias orgánicas e inorgánicas, así como el estado y la composición de la biota encontrada en el río. Si la calidad del medio fisicoquímico y en materia de contaminantes es mala, el medio ambiente para la biota no será el propicio. Estas condiciones con el tiempo propiciarán que la capacidad de autopurificación del sistema en general se vea afectada, por lo que su recuperación a largo plazo estará en peligro.

II. Caracterización física y de contaminantes del sedimento.

1. Caracterización física del sedimento. En este punto se describen los resultados obtenidos del análisis granulométrico correspondiente para cada temporada.

La cantidad y la granulometría de las partículas que se asientan en un cuerpo acuático están determinadas por numerosos factores, entre los que destacan la geografía y la geología, el grado de influencia humana en el área, las características hidrológicas e hidrodinámicas, las entradas alóctonas y la producción autóctona, la tasa de sedimentación, la dinámica del fondo y la sedimentaria. La interacción de dichos factores no sólo determina el tipo y cantidad del sedimento, sino también las diferencias espacio-temporales en su distribución horizontal y vertical, en su composición fisicoquímica y en el tipo de biota que soportan (Sría. de Marina, 1990), por lo que es importante caracterizar al sedimento desde el punto de vista físico y después en su relación con la distribución de los poliquetos.

Se simbolizará al tipo de grano de la siguiente manera: AMG= arena muy gruesa, AG= arena gruesa, AM= arena mediana, AF= arena fina, AMF= arena muy fina, LG= limo grueso, LM= limo mediano, LF= limo fino, LMF= limo muy fino y ARC= arcillas.

SECAS.

Los resultados nominales se presentan en la Tabla D, Anexo II, mientras que las gráficas descriptivas del tipo de grano (arenas, limos y arcillas) en cada zona, así como su índice de fineza se presenta a continuación.

Con base al análisis de la Figura 14 se observa que durante la temporada de secas el tamaño de grano predominante en la zona media del río fueron los limos, mientras que en la zona baja predominaron principalmente las arcillas y las arenas.

El índice de fineza varió de una zona a otra en un intervalo de 4.1 a 15.6 en la parte media del río, mientras que en la zona baja la variación se mostró menos amplia, ya que sus valores fluctuaron de 4 a 8.5 (Tabla D). En promedio (Figura 14), la fineza fue mayor en la zona media (9.8) que en la zona baja del río (6.2).

En la zona media existe un predominio de limos (40%), esencialmente del tipo de LF y LMF, siguiendo en orden decreciente las arenas, y las arcillas con un porcentaje similar entre sí (30%).

En la zona baja se registró un predominio de las arcillas y las arenas (AF y AMF), en porcentajes similares de 36 y 35%, respectivamente, y por último los limos (28%).

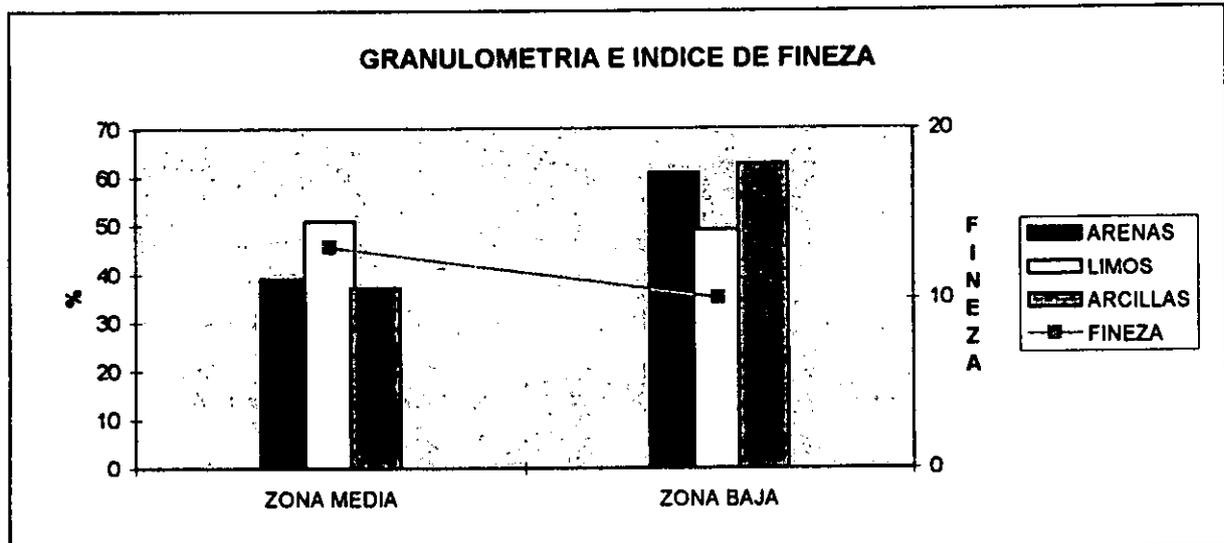


FIGURA 14. Granulometría e índice de fineza (Satsmadjis y Voutsinou-Taliadouri, 1983) durante la temporada de secas.

De manera general, el sedimento es del tipo de los LMF y LF seguido de las AMF, AF y ARC. Esto coincide con un ambiente de depósito típico en el que la variación estacional puede ser debida, entre otros factores, al aporte de las áreas litorales y márgenes estuarinos, en la zona media del río, mientras que hacia la desembocadura (parte baja) la entrada de la cuña de mar aporta sedimentos del tipo de las arenas, además de considerar el aporte por erosión que también acarrea sedimentos hacia el río.

Con respecto al índice de fineza, la zona media tuvo una fineza promedio mayor que la zona baja, y se cree es debido a la resuspensión de sedimentos más finos presentes en la columna de agua, mismos que no fueron detectados en el sedimento por la técnica granulométrica, tal y como lo señala Burton (1991) para el cual la hidrodinámica desempeña un papel fundamental en el transporte, resuspensión y deposición de los sedimentos de grano fino, con velocidades variables de asentamiento en la columna de agua.

NORTES.

Los resultados nominales se presentan en la Tabla M, Anexo III, mientras que las gráficas descriptivas del tipo de grano (arenas, limos y arcillas) por zona, así como su fineza se presenta a continuación en la Figura 15.

Con base al tamaño de grano e índice de fineza se puede apreciar en términos globales que durante la temporada de nortes hubo un predominio marcado de arcillas y arenas en la parte alta del río, mientras que en la parte

media los limos fueron predominantes hasta llegar a la parte baja donde las arcillas fueron el tipo de grano más abundante.

De la Tabla M se aprecia que el índice de fineza varió de una zona a otra en un intervalo de 10.6 a 14.8 en la zona alta del río, mientras que en la zona media la fineza osciló de manera similar de 11.7 a 15.8, registrándose en la parte baja los valores más reducidos (de 7.8 a 11).

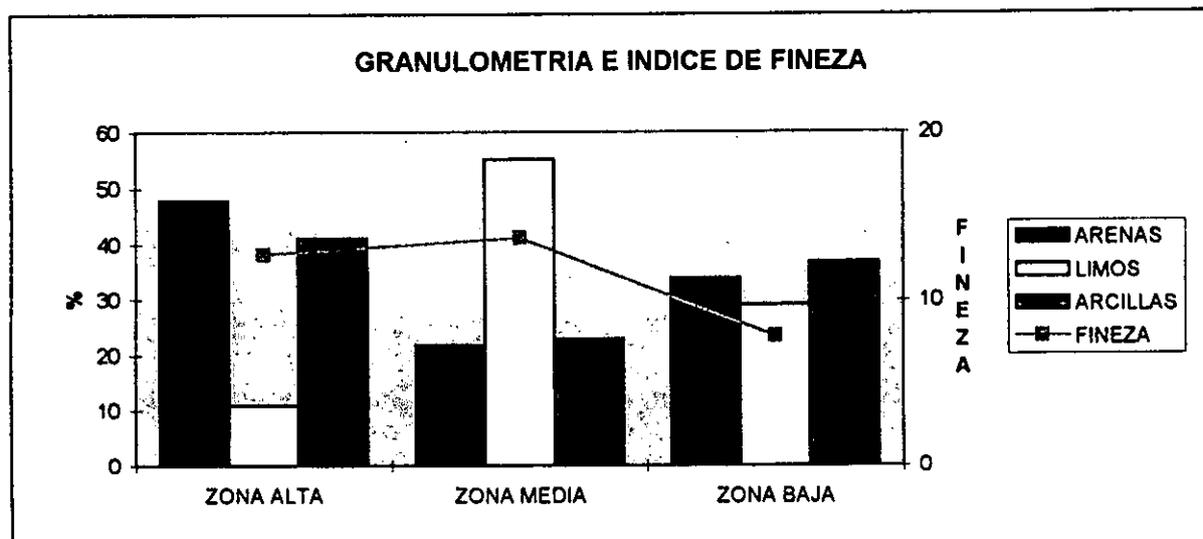


FIGURA 15. Granulometría e índice de fineza (Satsmadjis y Voutsinou-Taliadouri, 1983) durante la temporada de nortes.

En la zona alta del río (Figura 15) los porcentajes estuvieron repartidos entre las arenas (48%) y las arcillas (41%) como tipos de grano preponderantes, y los limos en un porcentaje muy bajo del 11%.

En la parte media del río el tipo de grano predominante fueron los limos (55%) del tipo de los LF y LMF, mientras que en menor grado se presentan las arcillas (37%) y las arenas (34%) del tipo de las AMF y AF (Figura 15).

En la parte baja del río (Figura 15), las arcillas fueron las predominantes (37%), luego en orden decreciente siguieron las arenas (34%) del tipo de AF y AM, y por último los limos del tipo de LF y LM con el 29%.

Con respecto al índice de fineza promedio (Figura 15), éste fue más alto en la zona media y alta (12.7 y 13.7, respectivamente), mientras que la zona baja presentó el valor promedio menor de fineza (9.4). En la parte alta y media del río no se aprecia una variación tan amplia dadas las condiciones de homogeneización propias de la temporada, y al igual que en la temporada de secas, el índice de fineza más pequeño se encontró en la zona baja del río, por el fenómeno de resuspensión y deposición de los sedimentos de grano fino antes mencionado.

El tamaño de grano de manera general presentado en el sedimento del río durante ambas temporadas sigue el patrón de los ambientes de depósito para sistemas lóticos: el marino (arenoso), fluvial (arcillo-limoso) y un ambiente marino-transicional, marino-fluvial (limo-arcillosos) controlado por las condiciones hidrodinámicas y climáticas propias del río. Así mismo sucede en la temporada de nortes, sin embargo, el tamaño de grano es más uniforme a lo largo del río por las condiciones de homogenización propias de la temporada.

Por otro lado la obtención del índice de fineza es importante no sólo para conocer las características del medio físico que habitan los poliquetos, sino que además, un sedimento más fino es más susceptible de acumular contaminantes, de manera tal que los sedimentos finos además de brindar una superficie para la adsorción de materia orgánica, proveen de un sustrato, a manera de trampa, en el que se depositan también materiales contaminantes. A continuación se analizará al sedimento desde este punto de vista.

2. Contaminantes presentes en el sedimento. A continuación se describe el comportamiento estacional de los contaminantes durante las dos temporadas de muestreo.

MATERIAL ORGÁNICO EXTRAÍBLE (MOE).

El MOE incluye a todo el material orgánico susceptible de extracción por medio de un disolvente, tetracloruro de carbono (CCl_4) en este caso (IMP, 1996). Este parámetro permite hacer una evaluación preliminar de los sitios contaminados por petróleo, ya que los métodos analíticos convencionales describen detalladamente la composición de los hidrocarburos que forman parte de esta fracción. Así este parámetro considera de forma global todos los compuestos orgánicos provenientes del petróleo.

Dado que su origen es muy variable, y no existe una norma para regular la concentración de este compuesto en el sedimento, los valores de referencia empleados serán las de la región costera del río Coatzacoalcos, con concentraciones del orden de 166 ppm (IMP, 1984), y los niveles de las chapopoterías del Golfo de México, donde la presencia de hidrocarburos es natural, y el intervalo varía de los 212 a 1642 ppm (González-Macías, 1997).

Durante la temporada de secas, la concentración promedio de MOE fue de 2951 +/- 3229 ppm, con un máximo de 11529, y un mínimo de 383 ppm. Con respecto al valor máximo y al promedio, los valores caen dentro del intervalo registrado para el río en 1995, sin embargo, el valor mínimo registrado excede por casi cinco veces al referido en la misma fecha para el río Pánuco (Figura 16).

En la temporada de nortes, el promedio fue de 1168 +/- 396.38, con valores de 2341 ppm como máximo, y 712 ppm como mínimo (Figura 16). De manera similar a la temporada de secas, únicamente el valor mínimo registrado en este estudio rebasa los límites encontrados en 1995 en la misma zona.

Ambos análisis muestran que hay un aumento en la concentración de hidrocarburos de manera temporal, del periodo de octubre de 1995 a diciembre de 1996. Además, los valores de ambas temporadas rebasan por mucho los límites de referencia, incluso los de las chapopoterías del Golfo de México (212-1642 ppm), donde la presencia de hidrocarburos de origen del petróleo es natural, o los de la región costera del río Coatzacoalcos (166 ppm), tan fuertemente influenciada por la industria petrolera.

Cabe destacar que durante la temporada de secas, el intervalo de variación de la concentración de MOE fue amplio, notándose que la cantidad de este contaminante presenta variabilidad espacial. Esto se refleja en virtud de que es mucho mayor la cantidad de material orgánico extraíble encontrado en la zona media, debido a las actividades de la industria petrolera (Refinería y Terminal Marítima Madero).

En la temporada de nortes, el intervalo es mucho menor, ya que se dan las condiciones particulares de esta época (mayor corriente y volumen de agua, entre otras), lo cual favorece a la disminución del MOE en el sedimento, mientras que en condiciones de estiaje, la acumulación se ve favorecida.

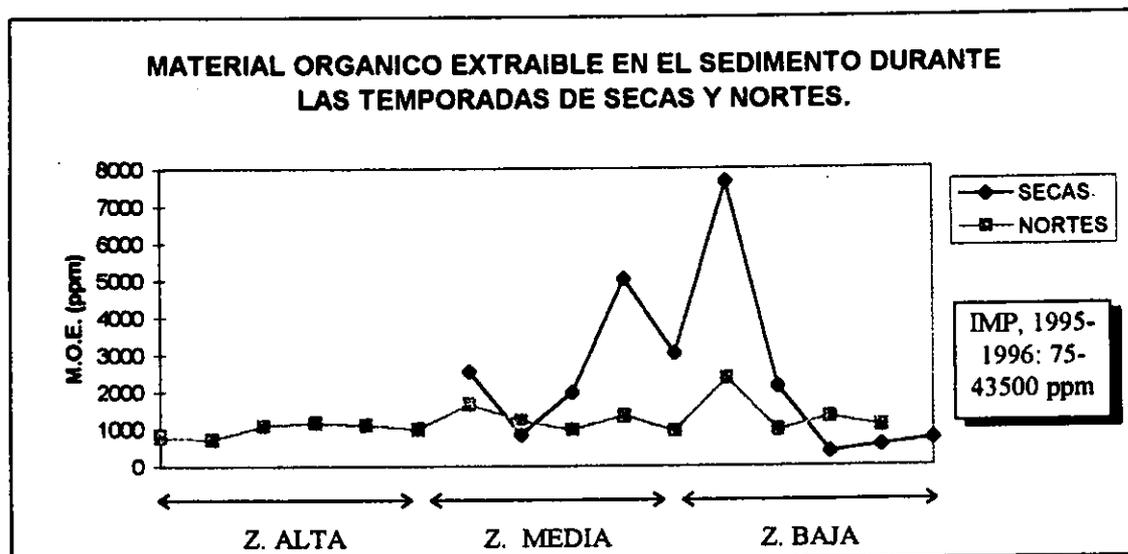


FIGURA 16. Variación espacial y temporal del MOE.

La concentración de material orgánico extraíble en el sedimento del río Pánuco muestra por un lado que, las cantidades rebasan por mucho los límites presentados, tanto en zonas naturales (chapopoterías) como en el río Coatzacoalcos y, por otro, que dicha concentración se presenta en mayor proporción en la zona de influencia petrolera, aunque los valores a lo largo de todo el río salgan fuera de los valores de referencia.

Este último hecho puede deberse a que la materia orgánica tiene diversos orígenes, es decir, diferentes al de la industria petrolera, tales como efluentes costeros de tipo municipal (aguas domésticas y aguas residuales de servicios) e industrial (aguas residuales industriales), las cuales, dentro de su proceso natural de descomposición, son fuente de compuestos orgánicos de diversos tipos. Además existen aportes de materia orgánica diferentes a los antropogénicos, es decir, por procesos naturales en la zona, tales como las aguas de escorrentía (Metcalf y Eddy, 1986), típicas en la temporada de nortes.

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS.

Los hidrocarburos aromáticos son subproductos del proceso y combustión del petróleo. Neff en 1990 menciona que los hidrocarburos aromáticos pueden ingresar al medio acuático directamente, por derrames, procedentes de los efluentes de procesos industriales, y por vía atmosférica gracias a la combustión incompleta de los combustibles fósiles (Baek *et. al.*, 1991).

Una vez en el medio acuático, los hidrocarburos sufren una serie de transformaciones, tales como evaporación, oxidación fotoquímica, degradación microbiológica, dispersión y disolución en el agua, y depositación en el sedimento (Neff, 1979). En general, las concentraciones más altas se encuentran en el compartimiento sedimentario, y son mayores hasta por 1000 veces a los de la columna de agua, mientras que dentro de la propia columna de agua las concentraciones mayores se encuentran a nivel superficial. Típicamente las aguas frías y con sedimentos finos poseen más altas concentraciones de hidrocarburos que las aguas cálidas con sedimentos menos finos (Beyer *et. al.*, 1996).

Muchos de estos compuestos poseen un carácter altamente carcinogénico en niveles relativamente bajos. Aunque por lo general son insolubles en agua, su naturaleza altamente peligrosa justifica su monitoreo (APHA, 1985). Una vez que los organismos acuáticos se exponen a estos hidrocarburos, se manifiestan diversas respuestas xenobióticas. En general, el proceso es más complejo en los organismos vertebrados que en los invertebrados (Beyer *et. al.*, 1996), centrándose las investigaciones sobre sus efectos en peces, moluscos y mamíferos, esencialmente.

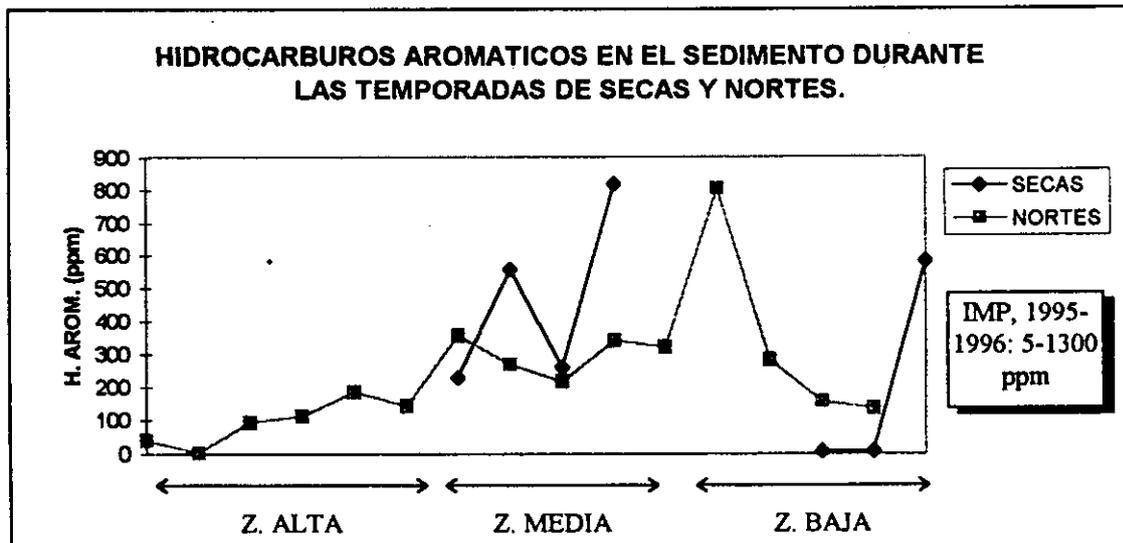


FIGURA 17. Variación espacial y temporal de los hidrocarburos aromáticos.

Durante la temporada de secas (Figura 17), el valor promedio de este contaminante fue de 338 ± 389.6 ppm, con 1342 y 7 ppm como valores máximo y mínimo, respectivamente, destacando el hecho de que en las estaciones 11 a la 13 no fue posible determinar la concentración de los hidrocarburos aromáticos, debido a que en el método analítico hubo interferencia por polímeros.

En la época de nortes, la concentración promedio de hidrocarburos aromáticos fue 230.1 ± 192 ppm, con 805 como valor máximo y 1.3 como valor mínimo alcanzados.

Durante la temporada de secas hubo mayor intervalo de variación que durante la de nortes, sin embargo, las concentraciones durante ambas épocas rebasan los límites obtenidos para el área de estudio en 1995 por el IMP e incluso durante las dos temporadas sobrepasan por mucho los valores que se consideran normales para sitios no contaminados, es decir, inferiores a 100 ppm (Frose y Mattson, 1977; Marchand, 1979).

Además se ha observado que concentraciones de 0.1 a 1 ppm de hidrocarburos aromáticos en el sedimento, corresponden al intervalo de concentración a partir de la cual son detectados, en organismos vertebrados y/o invertebrados, diversos efectos fisiológicos y bioquímicos a nivel laboratorio (Beyer *et. al.*, 1996).

Aunque los efectos en la biota acuática dependerán del tipo de hidrocarburos aromáticos, de su concentración y de los organismos expuestos, la concentración promedio de hidrocarburos aromáticos en el río Pánuco es rebasada por el triple en secas y por el doble en la época de nortes, a los valores que se consideran para sitios no contaminados.

METALES PESADOS (Ni y V).

El Ni y el V son de los metales más tóxicos para los organismos acuáticos, además de su potencial altamente carcinogénico. El daño y sus dimensiones dependen directamente de su concentración. Son acumulables en los organismos, y bajo ciertas condiciones, también lo son en el sedimento (APHA, 1995).

Estos dos metales pesados son indicadores de contaminación procedente esencialmente de la industria petrolera, ya que son componentes típicos de los hidrocarburos, por lo que sus concentraciones reflejarán en cierta medida la acción de este tipo de industria sobre el sedimento del río Pánuco.

NIQUEL.

Durante la temporada de secas, el promedio de Ni fue de 24.8 +/- 5.9, con un máximo de 30.7 y un mínimo de 11.5 ppm. En la temporada de nortes, la media para el Ni fue de 24 +/- 2.85 ppm, con un máximo y mínimo respectivamente de 29.4 y 20 ppm (Figura 18).

Tanto en temporada de secas como en la de nortes, el comportamiento de este metal pesado fue muy similar, sin embargo, las máximas concentraciones se localizan en la zona media del río.

Las concentraciones promedio fueron menores a las encontradas por Bryan (1976) en arcillas marinas de regiones profundas (225 ppm), pero mayores a las de sedimentos someros de Japón (14 ppm). Según Langston (1990) las concentraciones de níquel en sedimentos contaminados están en un intervalo de

19.4 a 920 ppm, mientras que para ambientes costeros del Golfo de México los niveles promedio se encuentran entre 36 y 98 ppm (Botello *et. al.*, 1992).

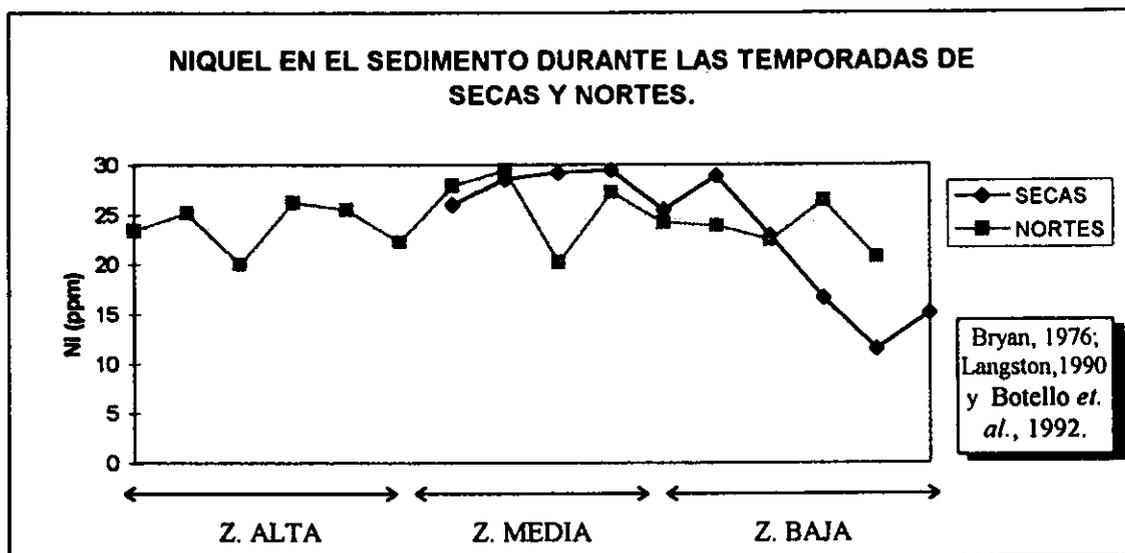


FIGURA 18. Variación espacial y temporal del níquel.

Considerando el intervalo de referencia de Langston (1990) y Bryan (1976) el río Pánuco posee un sedimento contaminado, sin embargo, en términos generales bajo todos los niveles de referencia antes descritos, lo que se observa es que algunos niveles son sobrepasados en ambas temporadas (aunque la concentración mayor se observa durante la temporada de secas) en la zona media, lo que refleja la influencia de la industria petrolera.

VANADIO.

En época de secas, la concentración media del vanadio tuvo un valor de 96.2 +/- 11, con un máximo de 109.1, y un mínimo de 65 ppm (Figura 19).

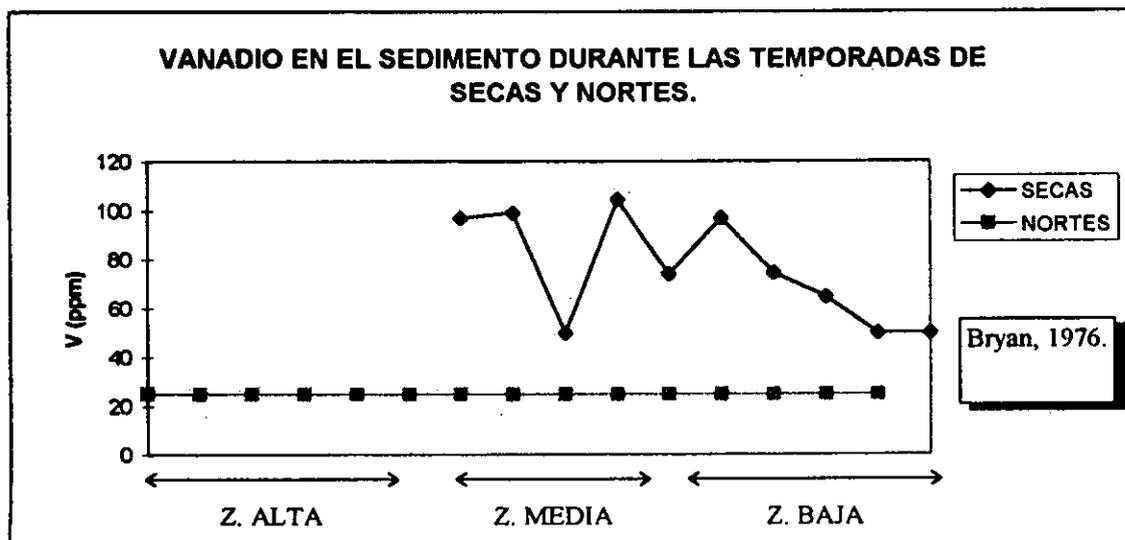


FIGURA 19. Variación espacial y temporal del vanadio.

El comportamiento general de este metal fue de pulsos y descensos en su concentración a lo largo del río, sin embargo, las concentraciones más altas se registraron en la zona de influencia de la industria petrolera, es decir, zona media e inicio de la zona baja.

Para la temporada de nortes este metal pesado en todos los puntos de muestreo se mantuvo constante a una concentración menor de 25 ppm (Figura 19), lo que nuevamente hace pensar en una condición de homogeneización propia de la temporada.

Los valores promedio encontrados en este estudio durante la temporada de secas sobrepasan a las observadas en sitios no contaminados en Japón (39 ppm) y Escocia (63 ppm) reportados por Bryan en 1976. La concentración constante de 25 ppm durante la temporada de nortes no rebasa los límites de referencia utilizados. En sedimentos de la costa de Tamaulipas, frente a la zona industrial de Altamira, no se han encontrado valores detectables de este metal (Ortiz-Gallarza *et. al.*, 1994).

Discusión global de la caracterización física y de contaminantes del sedimento.

La granulometría del sedimento del río Pánuco es típica de los sistemas de depositación que se presentan en cuerpos de agua de tipo lótico, sin embargo, la situación en materia de contaminantes y metales pesados indica la influencia de diversas industrias (petrolera y de otros giros) situadas a lo largo del río Pánuco.

La concentración de hidrocarburos aromáticos registrados en el sedimento durante este estudio, reflejaron la influencia de la industria petrolera sobre el río y aunque no se sabe específicamente que tipo de hidrocarburos son, debe de tomarse en consideración que la mayoría de ellos son tóxicos y mutagénicos, por lo que la calidad del sedimento, las condiciones del habitat y la calidad de vida de sus habitantes deben verse fuertemente influenciada por estos parámetros.

La mayoría de los metales pesados, tales como el Ni y el V, se encuentran en ambientes estuarinos de manera natural, sin embargo, el incremento en su concentración se debe esencialmente a los efluentes de origen industrial, más que a las fuentes naturales. Caso contrario ocurre con el aporte de materia orgánica, ya que si bien es cierto el aporte industrial, la mayor parte de ella proviene de efluentes municipales (domésticos y de servicios), así como de origen natural (aportes terrígenos).

Otro proceso interesante descrito por Zutic y Legovic (1987) puede ocurrir bajo las condiciones estuarinas que se registran en el río Pánuco. Cuando la materia orgánica arrastrada por un río hacia un estuario alcanza condiciones que permiten la estratificación, o que reducen la mezcla con el agua de mar, se forma una película bien definida en la interfase de agua dulce-marina, que contribuye a la estabilidad de la interfase, acumula materiales alimenticios y contaminantes.

Por el efecto del remanso, tanto la materia orgánica como los contaminantes, son atrapados en los estuarios y esto explica la gran abundancia de materia orgánica presente en ellos, así como la predominancia de los contaminantes. La otra posible causa de la abundancia de materia orgánica radica en la producción en los márgenes y en el fondo del estuario por parte de vegetales muy productivos (Salazar-Vallejo, 1991).

Así el sedimento bajo ciertas circunstancias funciona como trampa de contaminantes, esencialmente de tipo orgánico y metales pesados, y aunque la fineza del sedimento se ha observado que repercute ampliamente en este fenómeno (Ortiz-Gallarza, 1994; Aguilera-Lozano, 1995; Beyer *et. al.*, 1996), en este caso la correlación entre fineza y concentración de contaminantes fue muy baja (Tabla 3).

	HIDROCARBUROS AROMATICOS	M.O.E.	Ni	V
INDICE DE FINEZA SECAS	0.04	-0.24	0.50	-0.26
INDICE DE FINEZA NORTES	-0.15	-0.12	0.30	-0.18

TABLA 3. Valores de correlación entre el índice de fineza y los contaminantes del sedimento.

La acumulación de materiales alimenticios y contaminantes observada durante este estudio se fundamenta más bien por la estabilidad de la interfase de agua dulce-marina, siendo la probabilidad de captación y la acumulación de hidrocarburos y metales pesados en los organismos bénticos muy alta. Esto repercute finalmente en la magnificación de los contaminantes (hidrocarburos aromáticos, Ni y V) mediante la bioacumulación a lo largo de uno o más eslabones de la cadena trófica.

III. Parámetros de la comunidad de poliquetos.

1. Inventario y características de la comunidad. Los datos nominales de los organismos identificados y sus características se presentan en las Tablas 3 (temporada de secas) y 4 (época de nortes). Cabe destacar que este es el primer estudio a nivel de poliquetos que se lleva a cabo sobre el río Pánuco y su estuario.

Se determinaron un total de 14 taxa, los cuales correspondieron a 11 familias, 12 especies, y dos géneros, estos últimos no se identificaron al nivel de especie por el mal estado de los ejemplares, los cuales carecían de algunas de las estructuras principales requeridas para su identificación.

RIQUEZA (S).

La riqueza específica varió en un intervalo global de 10 a 12 taxa, correspondientes a la temporada de nortes y secas, respectivamente.

Durante la época de secas, de las 16 estaciones estudiadas, sólo en la estación 7 (zona media) no se encontró ningún poliqueto y de manera particular, las estaciones con la mayor riqueza fueron la 11*, 14 y 15 (zona baja), cada una de ellas con 7 especies. Las de menor riqueza fueron las estaciones 7** (zona media) y 11** (zona baja), con dos especies cada una (Tabla 3).

De las 15 estaciones estudiadas en la época de nortes, las estaciones 3 (zona alta), 11 y 12 (zona baja) no presentaron ningún poliqueto. Las estaciones con mayor riqueza fueron la 15, perteneciente a la zona baja, (con 7 especies diferentes) y las estaciones 2 y 6 con 5 especies cada una (Tabla 4), mientras que las de menor riqueza fueron las estaciones 7, 8 y 9 (zona media) con sólo una especie.

Para la interpretación de la riqueza, y con el fin de comparar las distintas zonas dentro del río, se definieron tres intervalos de acuerdo a los valores máximos y mínimos por estación durante las dos temporadas, los cuales se presentan a continuación:

RIQUEZA	INTERVALO
Alta	4.66-7.0
Media	2.33-4.66
Baja	0-2.33

La Figura 20 corresponde a la riqueza de especies encontrada durante la temporada de secas, y la Figura 21 a la registrada durante la época de nortes.

TABLA 5. Inventario y características de la comunidad de poliquetos durante la temporada de nortes.

GRUPOS	ZONA ALTA					ZONA MEDIA					ZONA BAJA					DENSID. ABS.	DENSID. REL. %	FREC. ABS.	FREC. REL. %	OMSTEAD-TUKEY
	1	2	4	5	6	7	8	9	10	13	14	15	ABS.	REL. %	FREC.					
Org/m ²	140	70	28	35	460	28	93	70	308	690	837	2759	64.33	11	73.33	Dominante				
Cossuridae																				
<i>Cossura brunnea</i> (2)																				
Ctenodrilidae																				
<i>Ctenodrilus sp.</i> (13)	47										47	47	1.15	1	6.66	Rara				
Eunicidae																				
<i>Lysidice ninetta</i> (14)					40					69		109	2.54	2	13.33	Ocasional				
Lumbrineridae																				
<i>Lumbrinerides sp.</i> (5)											47	47	1.15	1	6.66	Rara				
Nereidae																				
<i>Nereis pelagica</i> (7)											93	93	2.17	1	6.66	Ocasional				
Onuphidae																				
<i>Diopatra ornata</i> (8)											47	47	1.10	1	6.66	Rara				
Pilargidae																				
<i>Parandalia ocularis</i> (9)		350			60						47	457	10.66	3	20.00	Dominante				
<i>Sigambra tentaculata</i> (10)					40					35		75	1.75	2	13.33	Constante				
Spionidae																				
<i>Paraprionospio pinnata</i> (11)	35	23		35								93	2.17	3	20.00	Constante				
<i>Sireblospio benedicti</i> (12)	70	70	28		20				84	35	69	562	13.10	8	53.33	Dominante				
TOTAL	245	560	56	70	620	28	93	70	392	70	828	4289	100.00	33	220.00					
D. REL.% POR ESTACION	5.71	13	1.3	1.6	14.45	0.7	2.2	1.6	9.1	1.6	19.3	100								
DIVERSIDAD	1.38	1.66	1.00	1.00	1.31	0.00	0.00	0.00	0.75	1.00	0.82	1.61	1.83							
DIVERSIDAD MAXIMA	1.59	2.32	1.00	1.00	2.32	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.59	2.59	3.32							
EQUITATIVIDAD	0.870	0.716	1.0	1.0	0.567	0.000	0.000	0.000	0.750	1.0	0.515	0.622	0.550							
RIQUEZA	3	5	2	2	5	1	1	1	2	2	3	7	10							
DOMINANCIA	0.137	0.293	0.000	0.000	0.447	0.000	0.000	0.000	0.257	0.000	0.493	0.385	0.453							

Con base en los intervalos de clase, se observa que durante la temporada de secas (Figura 20) la mayoría de las estaciones de la zona media (aproximadamente el 70%), presentaron una riqueza intermedia, en tanto que en la zona baja del río, predominó una riqueza específica mínima. Es decir, se aprecia un gradiente en el que la riqueza va de media a baja al aproximarse a la desembocadura.

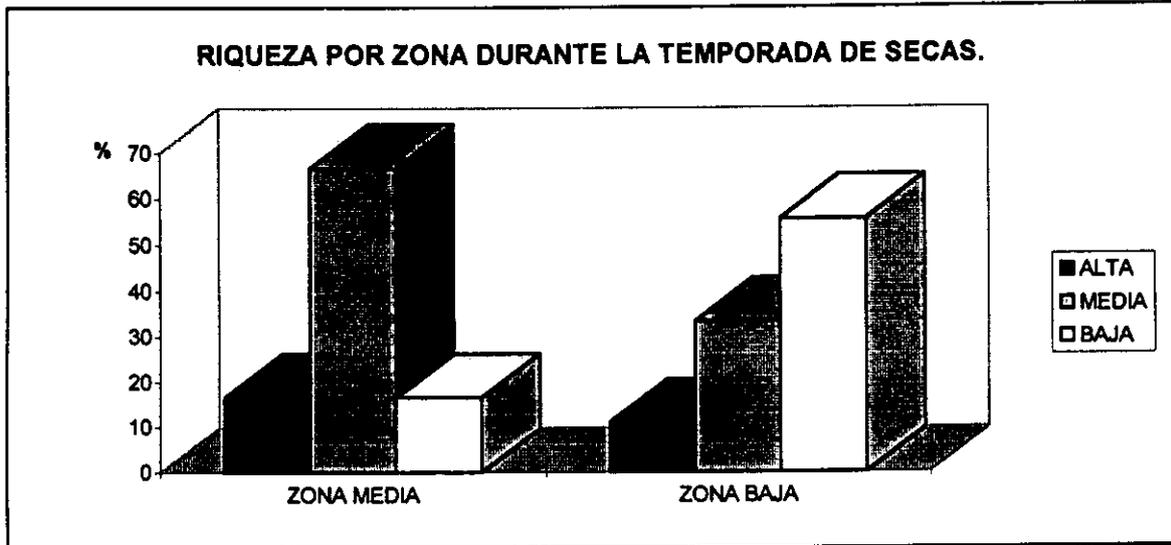


FIGURA 20. Riqueza de la comunidad de poliquetos en el río Pánuco.

En la temporada de nortes ninguna zona tuvo una riqueza alta en la mayoría de las estaciones. La zona alta tuvo el 50% de sus estaciones con riqueza media, y el resto con riqueza baja, mientras que en la zona media el 80% de las estaciones tuvieron una riqueza baja. La zona baja del río Pánuco presentó una riqueza variable con valores altos, medios y bajos (Figura 21), presentando los mismos porcentajes (33.33%).

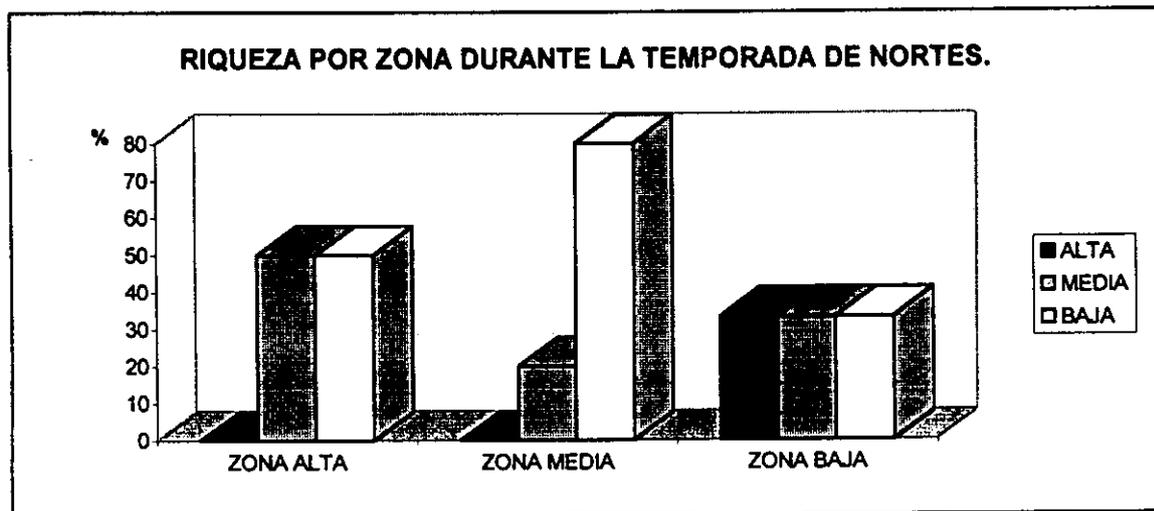


FIGURA 21. Riqueza de la comunidad de poliquetos en el río Pánuco.

De manera general, se tuvo una variante espacial y temporal, en la que durante la temporada de secas la riqueza fue disminuyendo a medida que se aproximaba a la desembocadura, mientras que en la época de nortes, la zona que permitió el mayor número de taxa diferentes fue la zona baja, en comparación a la zona media en la cual predominó una riqueza baja.

Cabe destacar que la riqueza específica máxima durante la época de secas fue de 12 taxa, y para la temporada de nortes de 10. Esto sugiere una riqueza variable en secas, según su ubicación espacial, y durante la época de nortes una riqueza menor que en secas, pero con un comportamiento similar por zona, mismo que se presenta por la dinámica comunitaria bajo condiciones ambientales diferentes propias de cada época, así como por el tamaño de grano variable en cada zona de estudio.

DENSIDAD (n).

La densidad global promedio durante la temporada de secas fue de 5, 972 organismos/m², mientras que para la época de nortes ésta es considerablemente menor (429 organismos/m²).

Densidad relativa por zona:

Con el objeto de comparar el comportamiento de la densidad por zonas durante cada temporada, se analizó la densidad relativa (Figuras 22 y 23). En la época de secas (Figura 22) la zona baja presentó el porcentaje más alto de densidad relativa (60%), con un intervalo de 201 a 7, 345 organismos/m², seguida de la zona baja con el 40%, con un intervalo de 160 a 21, 982 organismos/m².



FIGURA 22. Densidad relativa de la comunidad de poliquetos en el río Pánuco.

En la época de nortes (Figura 23) el 50% de la densidad total se registró en la zona baja, con un intervalo de 70 a 1, 257 organismos/m², seguida de la zona

media con el 28% (de 28 a 620 organismos/m²), y por último la zona alta con el 22% (56 a 560 organismos/m²).

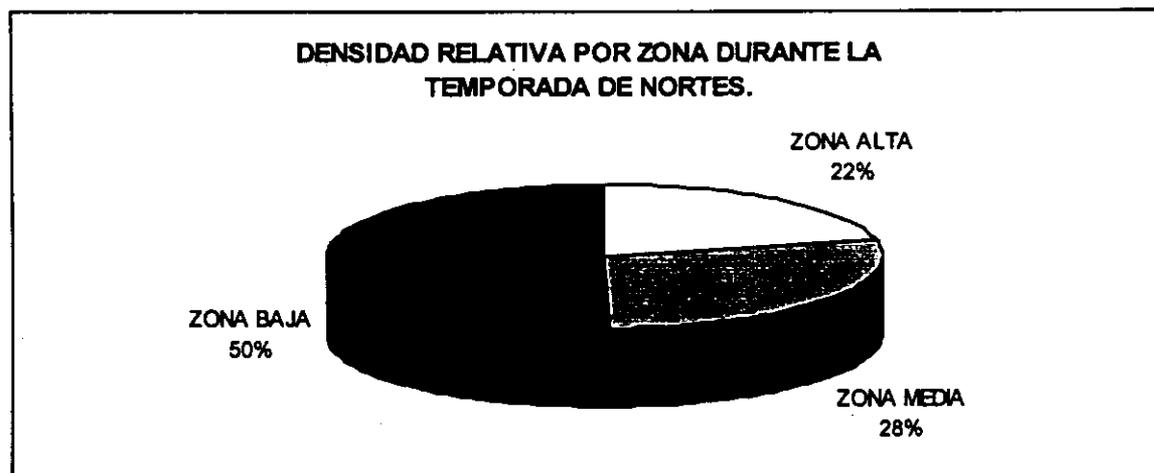


FIGURA 23. Densidad relativa de la comunidad de poliquetos en el río Pánuco.

Con relación a la densidad relativa porcentual se aprecia que durante las dos temporadas, la mayor cantidad de organismos se encontraron en la zona baja, esto muy posiblemente se relaciona con la entrada de la cuña de mar, en la que las condiciones estuarinas constituyen el ambiente más común para los poliquetos. En efecto, el número de especies de poliquetos de agua dulce en el mundo es muy reducido cuando se compara con el vasto número de especies marinas, de las cuales algunas viven siempre bajo condiciones salobres, y otras poseen intervalos amplios de tolerancia a la salinidad, como es el caso de los representantes de la familia Nereidae (Foster, 1972).

Densidad relativa por taxa:

Una vez analizada la densidad por zona, se obtuvo la densidad relativa por taxa, con el fin de detectar las especies más abundantes, y la repercusión que tenía cada una de ellas sobre la densidad total (Figuras 24 y 25).

En la temporada de secas se observa que *Streblospio benedicti* fue la especie con mayor densidad con 44, 090 organismos/m² (61.53%), seguida de *Capitella capitata* con 1, 3943 organismos/m² (19.46%) y *Cossura brunnea* con 2522 organismos/m² (3.52%). *Glycera convoluta* fue la especie menos abundante con tan sólo el 0.03% (Figura 24).

Con respecto a la frecuencia absoluta durante la época de secas, nuevamente las especies con valores más altos corresponden a *Streblospio benedicti* con frecuencia de 15 veces (93.75%), *Capitella capitata* 11 veces (69.75%), *Cossura brunnea* con 7 veces (43.75%), *Nereis pelagica* 6 veces (37.50%), *Sigambra tentaculata* y *Lumbrineris inflata* con 5 veces cada una (Tabla 4).

Los taxa con menor frecuencia absoluta durante la época de secas fueron *Glycera convoluta*, *Gyptis brevipalpa*, *Lumbrinerides sp.* y *Parandalia ocularis*.

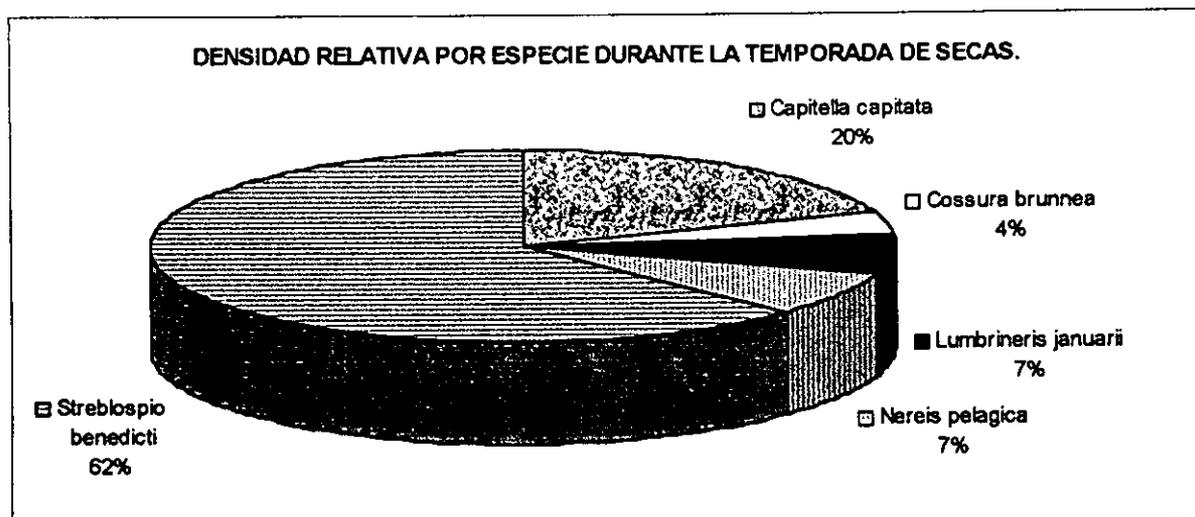


FIGURA 24. Densidad relativa por especie en el río Pánuco.

En la temporada de nortes (Figura 25) *Cossura brunnea* tiene las mayores densidades tanto absoluta como relativa, con valores de 2759 organismos/m² (64.33%), seguida de *Streblospio benedicti* con 562 organismos/m² (13.10%) y *Parandalia ocularis* con 457 organismos/m² (10.66%). *Ctenodrilus sp.*, *Lumbrinerides sp.* y *Diopatra ornata* fueron los taxa menos abundantes con 47 organismos/m² cada uno (1.15%).

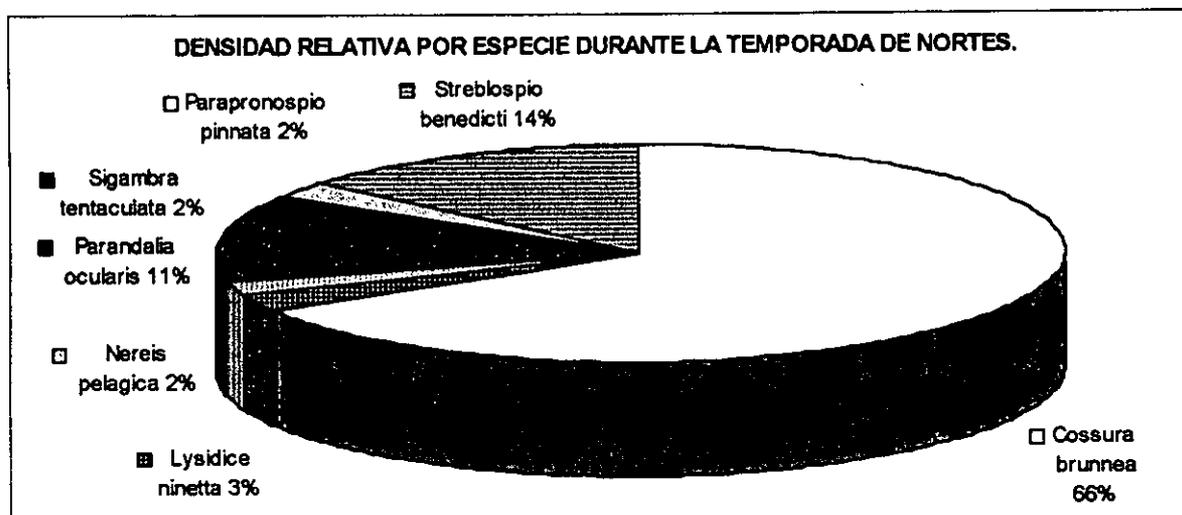


FIGURA 25. Densidad relativa por especie en el río Pánuco.

Con respecto a la frecuencia absoluta, *Cossura brunnea* nuevamente fue la especie más alta (11 veces, 73.33%), seguida de *Streblospio benedicti* (8 veces, 53.33%), mientras que *Ctenodrilus sp.*, *Lumbrinerides sp.*, *Nereis pelagica* y *Diopatra ornata* fueron los taxa menos frecuentes con tan sólo el 6.66% (Tabla 5).

Cabe destacar la presencia durante la temporada de secas de *Capitella capitata*, especie que fue considerada ya desde principios de siglo por Wilhelmi (1916) como indicadora de áreas enriquecidas por materia orgánica (Salazar-Vallejo, 1991), aunque anteriormente Simon y Dauer (1977) y Tsutsumi (1987) la consideraron como una especie oportunista y tolerante, en virtud de que su abundancia no era, necesariamente, correspondiente a los sitios de mayor impacto ambiental por la presencia de una elevada cantidad de materia orgánica, situación que posiblemente ocurrió durante la época de nortes.

Aunque esta especie es difícil de distinguir morfológicamente y quizá se hable de diferentes especies como una sola entidad taxonómica, brinda indicaciones sobre la calidad ambiental del entorno (Salazar-Vallejo, 1991).

EQUITATIVIDAD.

Durante la temporada de secas (Tabla 4) la estación con el máximo valor de equitatividad fue la 11** (zona baja), mientras que el menor valor se presentó en la estación 7** (zona media).

Para la época de nortes las estaciones con la equitatividad máxima (1.0) fueron la 4, 5 (zona alta) y la 13 (zona baja), mientras que el valor mínimo de equitatividad (0.0) se presentó en las estaciones 7, 8 y 9, todas ellas pertenecientes a la zona media (Tabla 5).

Con el fin de comparar por zonas dentro del río e interpretar los valores de equitatividad, se definieron tres intervalos de acuerdo a los valores máximos y mínimos por estación durante las dos temporadas como sigue:

DIVERSIDAD	INTERVALO
Alta	0.68-1.0
Media	0.34-0.67
Baja	0.0-0.33

La Figura 26 corresponde a la equitatividad registrada durante la temporada de secas y la Figura 27 a la registrada durante la época de nortes.

Durante la temporada de secas se registró una equitatividad similar, es decir, el 33% de las estaciones tuvieron una diversidad alta, media y baja, respectivamente, en tanto que en la zona baja, el 77% de las estaciones presentaron una equitatividad media (Figura 26). Lo anterior concuerda con las condiciones ambientales presentes en la zona media, bajo las cuales únicamente algunos taxa pueden persistir.

Por otro lado, bajo concentraciones menores de contaminantes en el sedimento se pueden apreciar valores medios de equitatividad.

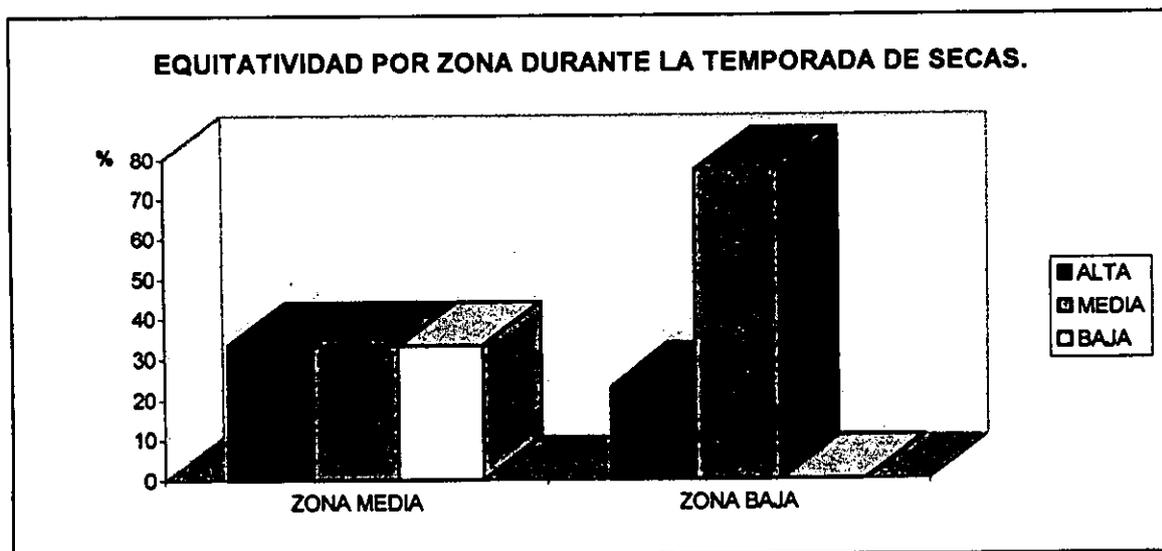


FIGURA 26. Equitatividad de la comunidad de poliquetos en el río Pánuco.

En la época de nortes se puede observar un predominio total (100%) de valores elevados de equitatividad en la zona alta, mientras que en la zona media el 60% de las estaciones tuvieron una equitatividad baja.

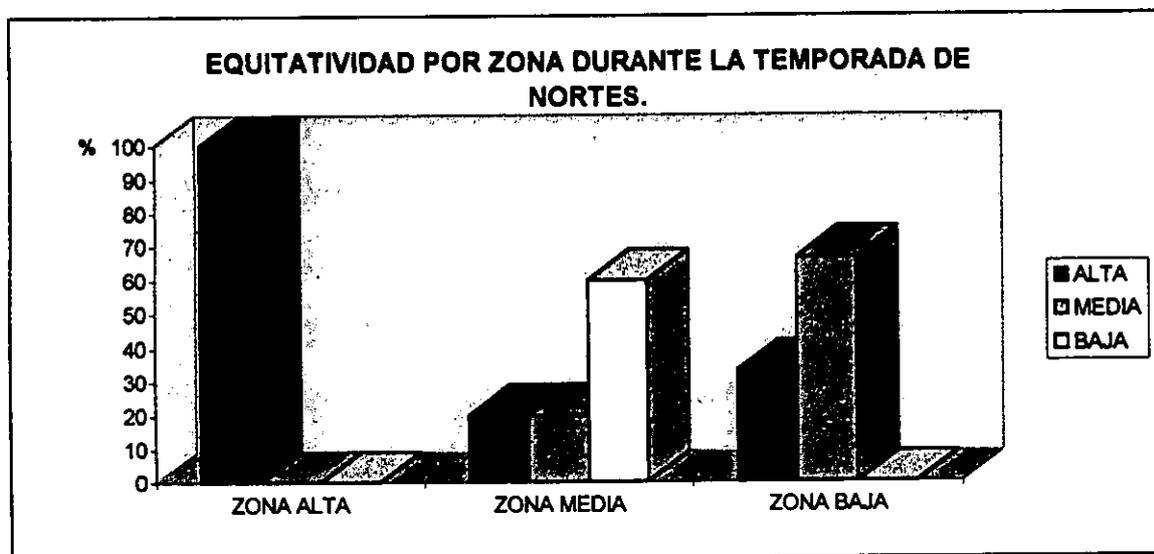


FIGURA 27. Equitatividad de la comunidad de poliquetos en el río Pánuco.

En la zona más cercana a la desembocadura (zona baja), el 66.6% de las estaciones tuvieron valores intermedios de equitatividad (Figura 27). Posiblemente la equitatividad alta al inicio del río (zona alta) estuvo moderada por factores ambientales entre los que destaca la salinidad, ya que en las zonas media y baja la entrada de la cuña de mar suministró un ambiente más salino, mismo que un mayor número de taxa pudieron habitar.

DIVERSIDAD.

Durante la época de secas (Tabla 4) la estación con los valores de mayor diversidad correspondió a la 9** (zona media) con 1.733, seguida de las estaciones 11* (1.566) y 10** (1.532), 13** (1.437) y 15 (1.445), las cuales pertenecen a la zona baja. La estación con los valores menores de diversidad fue la 7** (zona media). Para la temporada de nortes la estación con la mayor diversidad fue la 2 (zona alta) con 1.663, seguida de la 15 (zona baja) con 1.608. La diversidad más baja se presentó en la estaciones 7, 8 y 9 (zona media), con valor de cero, ya que en éstas sólo se registró una especie (Tabla 5).

Para la interpretación de la diversidad, y con el fin de comparar por zonas dentro del río, se definieron tres intervalos de acuerdo a los valores máximos y mínimos por estación durante las dos temporadas como sigue:

DIVERSIDAD	INTERVALO
Alta	1.87-2.80
Media	0.935-1.871
Baja	0-0.935

La Figura 28 corresponde a la diversidad encontrada durante la temporada de secas y la Figura 29 a la registrada durante la época de nortes.

En la época de secas se aprecia una diversidad media que disminuye gradualmente en la zona baja del río (Figura 28).

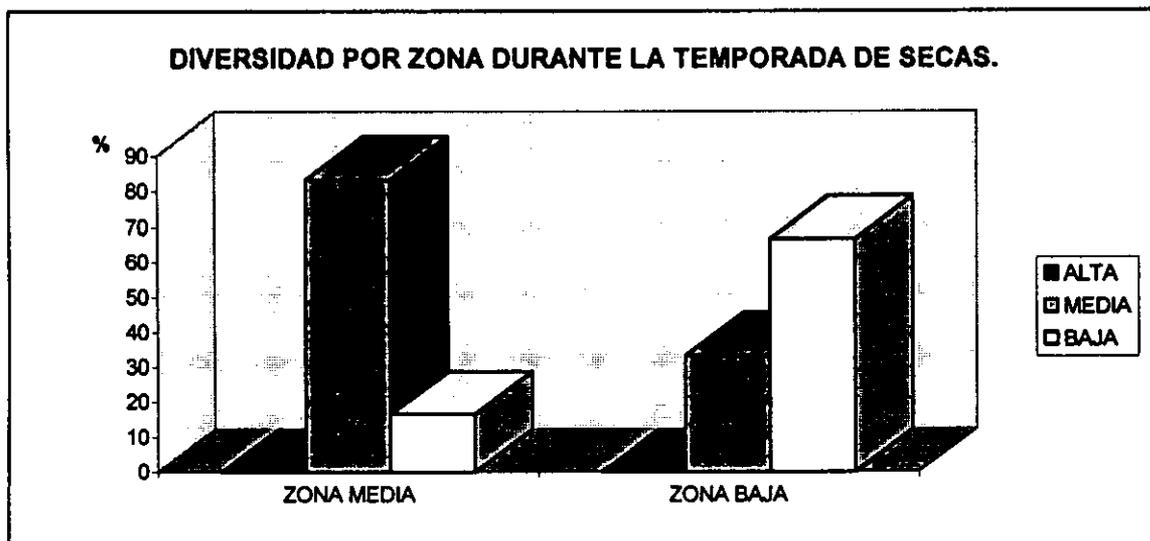


FIGURA 28. Diversidad de la comunidad de poliquetos en el río Pánuco.

La diversidad media se mantuvo en el 85% de las estaciones aproximadamente, en tanto que la diversidad baja se registró en el 67% de las estaciones. Así, a lo largo del río se registró una diversidad media que hacia la desembocadura fue tornó baja.

En la época de nortes, la zona alta presentó en su mayor parte estaciones con diversidad media (Figura 29), mientras que las estaciones de la zona media tuvieron predominantemente una diversidad alta hasta llegar a la zona baja del río en la que la diversidad alta y media fueron las preponderantes.

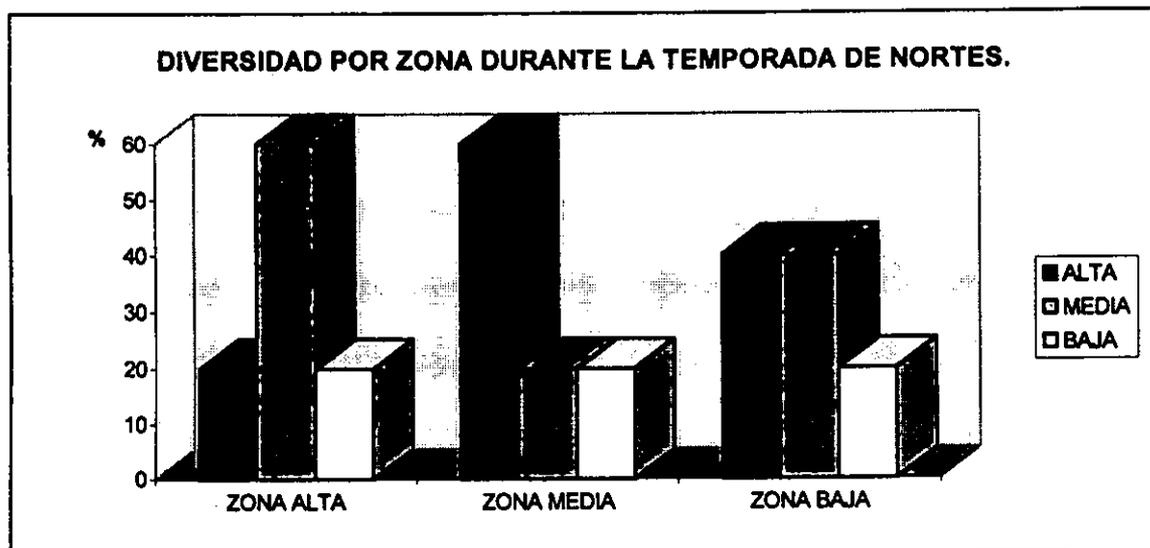


FIGURA 29. Diversidad de la comunidad de poliquetos en el río Pánuco.

De manera general, la diversidad durante ambas épocas presentó una variación espacial y temporal. En la temporada de secas se parte de una diversidad media hasta llegar a un índice de diversidad bajo hacia la desembocadura, sin registrarse una diversidad alta en ningún caso, en tanto que en la época de nortes, la diversidad varía respecto a la zona de estudio, pero nunca se presentó un índice de diversidad bajo que fuera predominante en la mayoría de las estaciones.

Dado que los componentes de la diversidad son: la riqueza (número de taxa que se presenta en cada estación), y la equitatividad (relación de densidad que guardan los taxa entre sí), es esencial establecer la correlación existente entre la diversidad y sus componentes, con el objeto de identificar que componente la define. Además es importante caracterizar la dominancia, la cual proporciona una idea de las condiciones de equilibrio de la comunidad, considerando que una alta dominancia es indicativa del desarrollo exitoso de un solo taxon a expensas del resto de la comunidad, motivado por uno o más factores que le dan rasgos de resistencia (González-Macías, 1997), como sería en este caso la presencia de los contaminantes en el sedimento, el tamaño de grano diferencial entre las zonas de estudio ó los cambios estacionales en los que se presenta una dinámica propia.

Durante las dos temporadas el coeficiente de correlación entre la diversidad y la riqueza se estimó para la época de secas en 0.5460 y para la temporada de nortes en 0.8542, mientras que la relación entre la diversidad y la equitatividad tuvo un valor de 0.663 para secas y 0.7525 para nortes.

Con base en estos coeficientes de correlación se aprecia que durante la época de secas la equitatividad influyó principalmente en los valores de diversidad, lo que indica una alta dominancia de algún taxa particular y corresponde a la dominancia observada anteriormente de *S. benedicti*, *C. capitata*, *C. brunnea* y *N. pelagica*, en tanto que durante la temporada de nortes el número de taxa por estación (riqueza) fue esencialmente lo que determinó la diversidad.

2. Prueba de asociación de Olmstead-Tukey.

Dado que no todos los organismos de la comunidad son igualmente importantes desde el punto de vista de la caracterización de la comunidad entera, son por lo regular unas pocas especies las que ejercen su mayor influencia en virtud de sus números, su tamaño o sus actividades (Odum, 1973), por lo que es esencial identificar a dichas especies, que influyan en este caso por su número, sobre la estructura de la comunidad.

Tomando en cuenta a la abundancia y a la frecuencia de aparición de las especies en relación a la mediana aritmética de éstas características, se clasificaron como especies dominantes aquellas con abundancia y frecuencia mayores a la mediana, dichas especies fueron *Streblospio benedicti*, *Capitella capitata*, *Cossura brunnea* y *Nereis pelagica* durante la temporada de secas, en tanto que en la temporada de nortes las especies dominantes fueron *C. brunnea*, *S. benedicti* y *Parandalia ocularis*.

Las Figuras 30 y 31 corresponden a las gráficas resultantes de la prueba de asociación de Olmstead-Tukey para cada temporada.

Las especies constantes (abundancia menor a la mediana, pero con frecuencia mayor) en la temporada de secas y también en la de nortes fueron *Sigambra tentaculata* y *Paraprionospio pinnata*.

Las especies ocasionales, con abundancia mayor pero frecuencia menor a la mediana, correspondieron para la temporada de secas a *Lumbrineris inflata* y *Diopatra ornata*, para la temporada de nortes a *Nereis pelagica* y *Lysidice ninneta*.

Los taxa considerados como raros (abundancias y frecuencias menores a la mediana) fueron en época de secas *Glycera convoluta*, *Gyptis brevipalpa*, *Lumbrinerides sp.* y *Parandalia ocularis* y en nortes los taxa catalogados como raros fueron *Lumbrinerides sp.*, *Diopatra ornata* y *Ctenodrilus sp.*

De manera general, el porcentaje de organismos dominantes no se incrementó significativamente de una temporada a otra. Esto podría entenderse si se toma en cuenta que algunas de las especies dominantes son comunes para ambas temporadas, las cuales ejercen una influencia poderosa sobre el control y establecimiento de otras especies (Krebs, 1978).

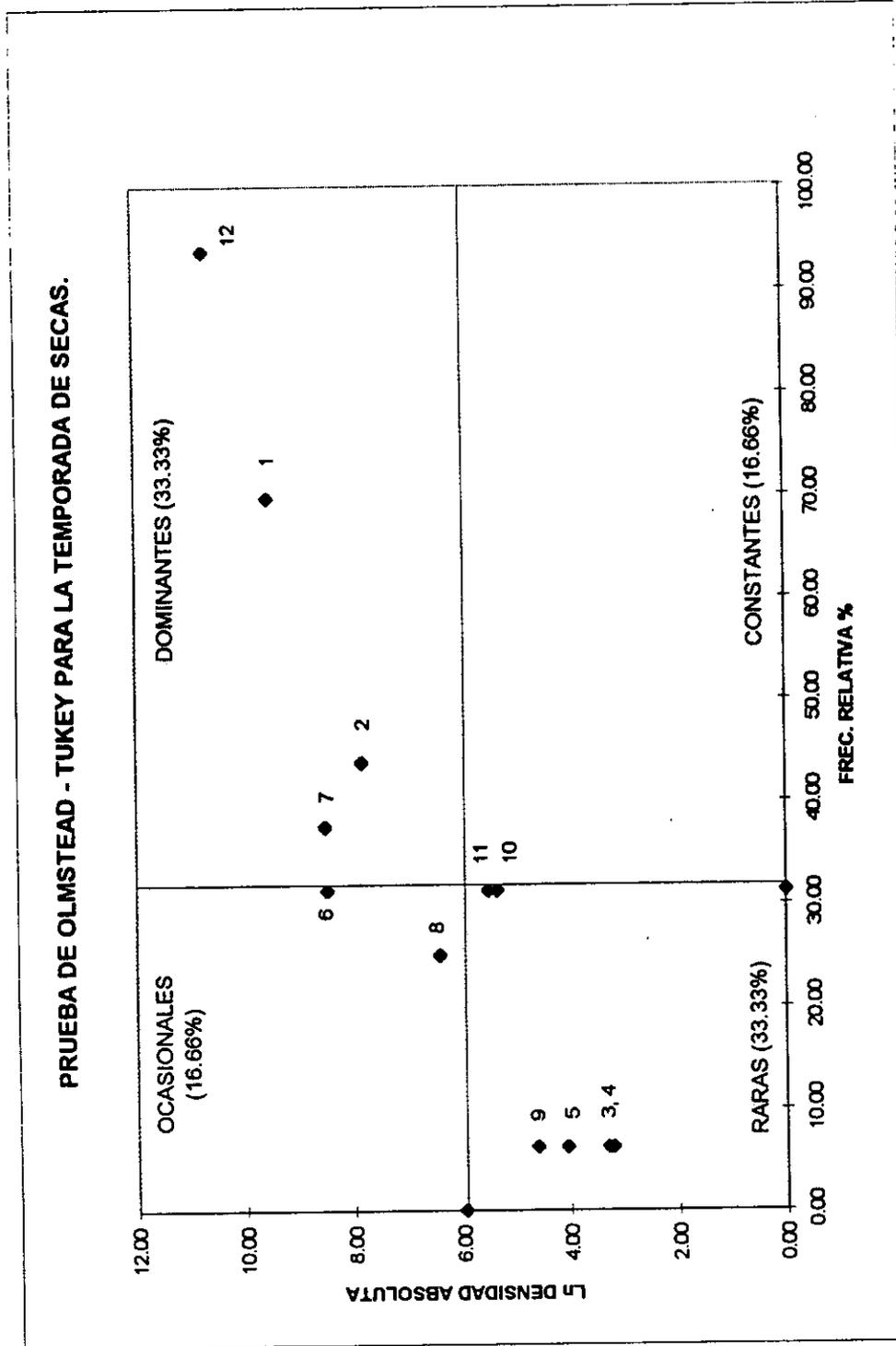


FIGURA 30. Análisis bidimensional de Olmstead-Tukey para la comunidad de Poliquetos durante la temporada de secas.

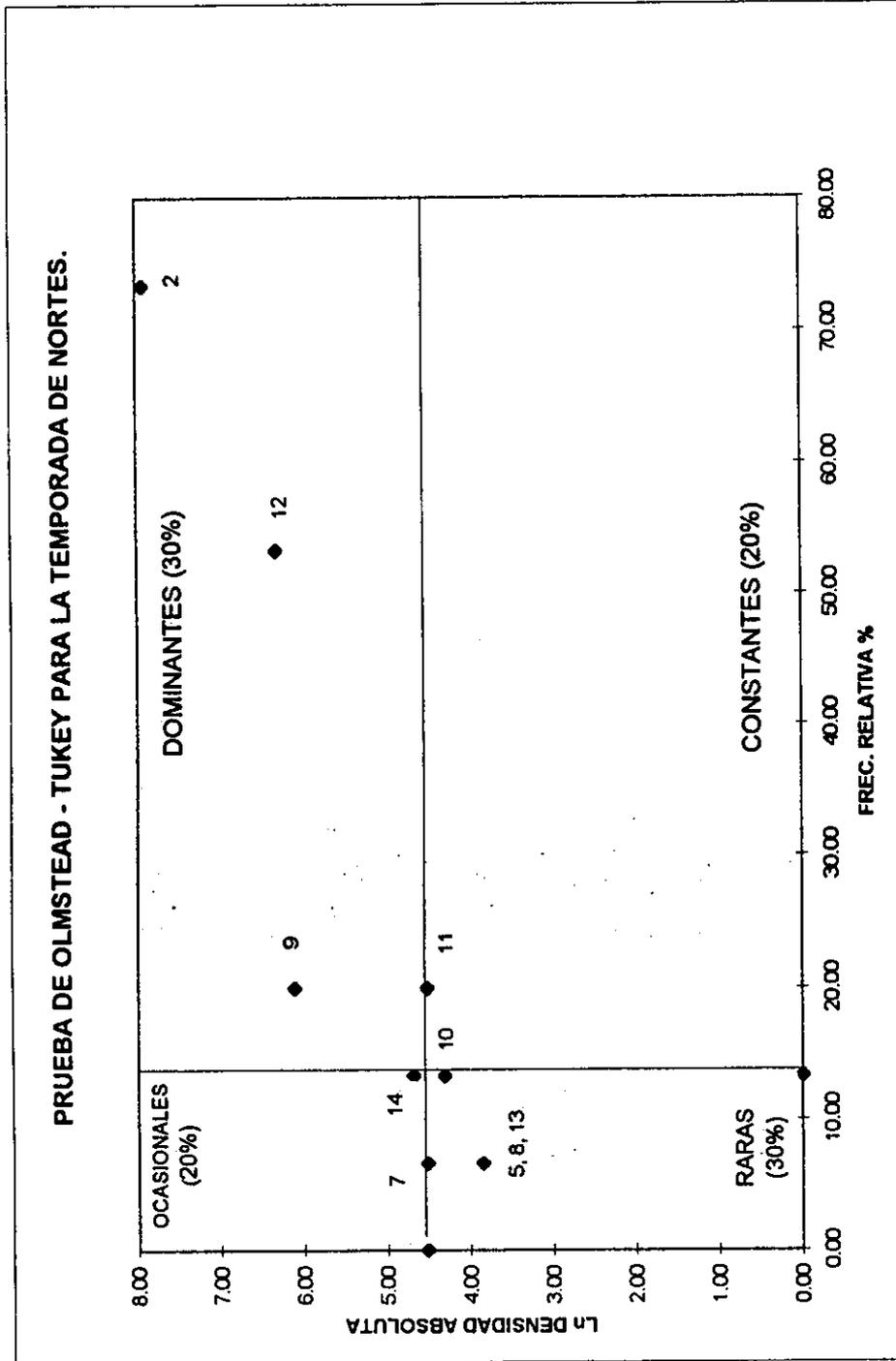


FIGURA 31. Análisis bidimensional de Olmstead-Tukey para la comunidad de Poliquetos durante la temporada de nortes.

3. Distribución Log-Normal (L - N).

La distribución de organismos por especie del tipo Log-Normal es una distribución normal truncada del lado izquierdo, e ilustra en que condiciones de disturbio moderado, la mayoría de las especies tienen abundancias bajas o medianas. A falta de un sustrato estable o permanente, el bentos se ajusta a una distribución normal (Gray y Mirza, 1979; Gray, 1981; May, 1986 en Salazar-Vallejo, 1991). La curva permite la selección de posibles organismos indicadores de acuerdo a su presencia en intervalos de alta densidad (Gray, 1981).

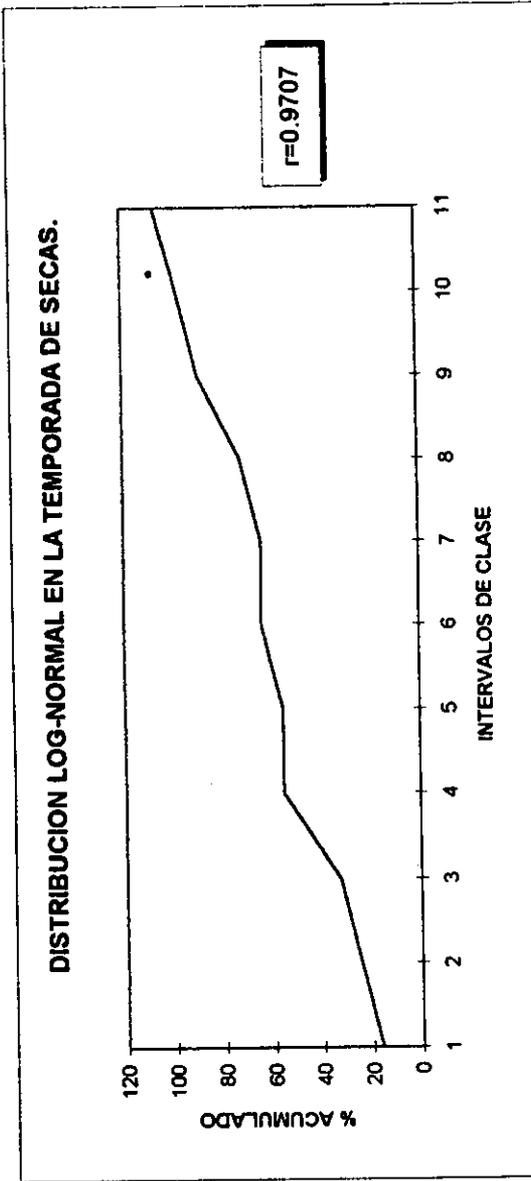
Después de condiciones de disturbio o contaminación, las especies tolerantes u oportunistas alcanzan gran abundancia, lo que modifica el patrón gráfico y puede emplearse para la evaluación ambiental. La pendiente de la línea, es decir, la proporción de especies abundantes, indica el estado del ambiente (Salazar-Vallejo, 1991), por lo que sirven para detectar cambios espacio-temporales en las comunidades bénticas por efecto de la contaminación (Salazar-Vallejo, 1991).

Con base en la Figura 30 se observa que durante la temporada de secas, la comunidad se muestra impactada, en tanto que para la época de nortes (Figura 31) se muestra un comportamiento transitorio, es decir, entre normal e impactado.

El comportamiento observado en la curva Log-Normal quizá sea el resultado de las condiciones ambientales prevalecientes. Cambios en la abundancia relativa de las especies pueden deberse a las altas concentraciones de contaminantes en el sedimento que se registraron durante la temporada de secas en comparación a la época de nortes. Es decir, aunque en ambas temporadas los contaminantes presentes en el sedimento salen fuera de los valores de referencia, es en la época de secas donde aumenta mucho más su concentración, principalmente en lo que se refiere al vanadio (Figura 19) y al material orgánico extraíble (Figura 16). Así mismo es en la temporada de secas cuando el pH y el oxígeno disuelto del agua de fondo salen del rango permisible (Figuras 4 y 5).

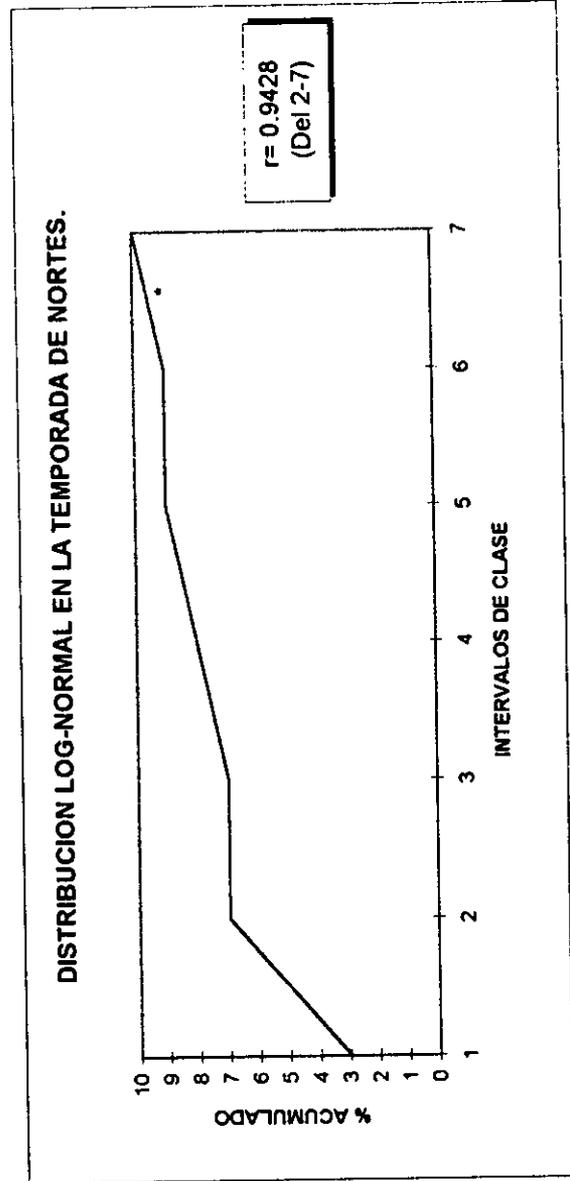
Ansari (1986) hizo notar que con aportes moderados de materia orgánica, se incrementa la producción béntica, pero cuando el aporte es alto, se aprecia una tendencia a la reducción del número de especies y al aumento del número de individuos, ya que se traspone el umbral de tolerancia (Salazar-Vallejo, 1991).

Muy probablemente las condiciones propias de estiaje y la concentración tan alta de contaminantes presentes en el sedimento, favorezcan a una comunidad impactada, mientras que en la temporada de nortes, la baja en la concentración de contaminantes (MOE y V, principalmente) así como el mayor aporte de agua (y por tanto de dilución), propicien una recuperación de la estructura comunitaria.



• En este intervalo se localizan las siguientes especies en orden creciente: *C. brunnea*, *N. Pelagica*, *C. capitata* y *S. benedicti*.

FIGURA 32. Curva logaritmo-normal para la comunidad de poliquetos durante la temporada de secas.



• En este intervalo se localizan las siguientes especies en orden creciente: *P. ocularis*, *S. benedicti* y *C. brunnea*.

FIGURA 33. Curva logaritmo-normal para la comunidad de poliquetos

Mattson y Notini (1985) han observado que la riqueza y la abundancia, pueden recuperarse con mayor facilidad y rapidez en áreas más o menos impactadas, que en sitios impolutos, por que la colonización se debe a que las especies oportunistas se ajustan a un ambiente fluctuante. La rápida recuperación ocurre con el componente estuarino de vida corta (poliquetos), ya que el componente de vida larga, tardaría más en recuperarse (Salazar-Vallejo, 1991).

Aunque el cambio de la pendiente en este tipo de curvas es un buen indicador del cambio en la composición de las especies, y muchas veces no puede estar asociado a la contaminación sino a la intrusión de especies (Salazar-Vallejo, 1991), en este caso no sería tan aplicable el término de intrusión ya que las mayoría de las especies registradas lo hacen en ambas temporadas.

De acuerdo a Gray y Pearson (1982) los organismos que aparecen en los extremos del eje de las X en las curvas Log-Normal, son típicos de etapas sucesionales iniciales que tienden a desaparecer en la medida que la variedad de recursos incrementa, dando lugar al crecimiento exitoso de organismos más selectivos y especializados.

En este estudio, las especies que se localizan en el extremo del eje de las abscisas corresponden a las clasificadas como dominantes en la prueba de asociación de Olmstead-Tukey, tomando en cuenta su abundancia y frecuencia de aparición. Con base a las dos pruebas anteriores, así como a la densidad relativa, las especies sugeridas como bioindicadoras son:

Capitella capitata
Nereis pelagica
Parandalia ocularis
Streblospio benedicti
Cossura brunnea

Si se considera que *N. pelagica* en la temporada de nortes fue clasificada como ocasional, *P. ocularis* en secas fue catalogada como rara, y *C. capitata* no apareció en la época de nortes, las especies en común para ambas temporadas que podrían ser más tolerantes a las variaciones ambientales son *S. benedicti* y *C. brunnea*.

Tomando en consideración las condiciones de salinidad por la influencia de la cuña de mar, granulometría (dinámica batimétrica y aportes terrígenos), y contribuciones de materia orgánica (con una consecuente degradación diferencial), se piensa en un medio en transición, bajo el cual según Cairns y Niederlehner (1993) no sólo hay un cambio funcional sino también taxonómico, en el que la disminución de la capacidad de algunos organismos por habitar ese medio es compensada por el incremento de la actividad de otros, de manera tal que la riqueza y la diversidad disminuyen.

Bajo este concepto, mientras que la presencia de *Capitella capitata* se muestra dependiente de la materia orgánica, la fluctuación de las abundancias de *Nereis. pelagica* y *Parandalia ocularis* podría considerarse como indicadora de procesos sucesionales en los que la inconsistencia temporal de la abundancia merece a un ambiente en cambio.

A continuación se menciona a cada especie indicadora y su relación con el ambiente, detallando el habitat registrado y la distribución previa en el Anexo IV. Además se muestran fotografías tomadas bajo el microscopio estereoscópico de cada organismo.

Capitella capitata (Figura 34) fue una especie considerada como dominante durante la temporada de secas, en la que las condiciones del medio de la zona baja parecieron ser las más adecuadas para la especie.

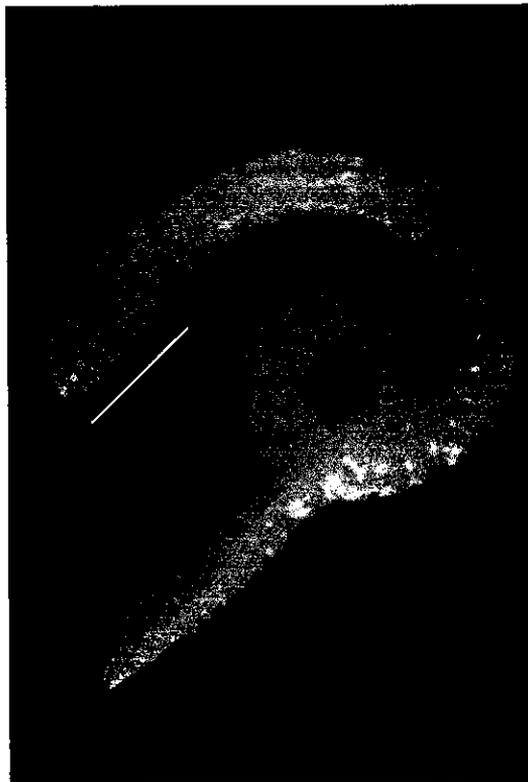


FIGURA 34: *Capitella capitata*, 10X, barra de referencia = 0.1 mm.

Su ausencia durante la temporada de nortes podría señalar por una parte un cambio drástico en el medio, y por otra, un decremento en el material orgánico extraíble en el sedimento. En efecto, concentraciones elevadas del MOE, específicamente en la zona baja del río, corresponden al aumento en la abundancia y frecuencia de aparición de este organismo, por lo que una vez más se confirma a *C. capitata* como indicadora de materia orgánica.

Nereis pelagica (Figura 35) en la temporada de secas fue dominante, es decir, a pesar de un ambiente en el que algunas condiciones ambientales salen fuera de límite (pH elevado, oxígeno disuelto bajo y contaminantes en sedimento altos) fue una especie capaz de mantener su abundancia alta, encontrándose siempre bajo condiciones de salinidad elevadas, sin embargo, bajo un cambio en las condiciones fisicoquímicas del medio, tales como la salinidad, pH y oxígeno disuelto, la abundancia de la especie se reduce hasta considerarse como ocasional. De manera opuesta ocurre con *Parandalia ocularis* (Figura 36), la cual en época de secas fue una especie catalogada como rara, mientras que condiciones fisicoquímicas del medio menos drásticas y más homogéneas presentes en la época de nortes permitieron su dominancia.



FIGURA 35. *Nereis pelagica*, 10X,
barra de referencia = 0.1 mm.

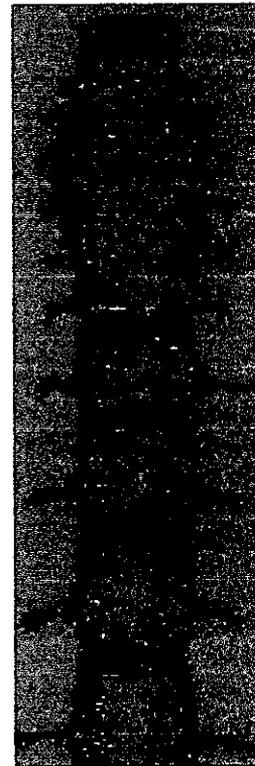


FIGURA 36. *Parandalia ocularis*
(Parker, 1996).

Así, el cambio en la abundancia y frecuencia de aparición de estas dos especies pueden señalar cambios drásticos en el ambiente, siendo las condiciones de la temporada de secas más idóneas para *N. pelagica* y las de nortes más propicias para *P. ocularis*.

IV. RELACIÓN ENTRE LA COMUNIDAD DE POLIQUETOS Y EL MEDIO.

El primer análisis utilizado para este aspecto fue el índice trófico de la infauna (ITI), de la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

1. INDICE TRÓFICO DE LA INFAUNA.

Durante la época de secas (Figura 39), el 50% de las estaciones de la zona media estuvieron contaminadas, el 33.33% en un estado subnormal y el resto permanecieron contaminadas, mientras que para la zona baja, el 90 % de las estaciones tuvieron un estado contaminado.

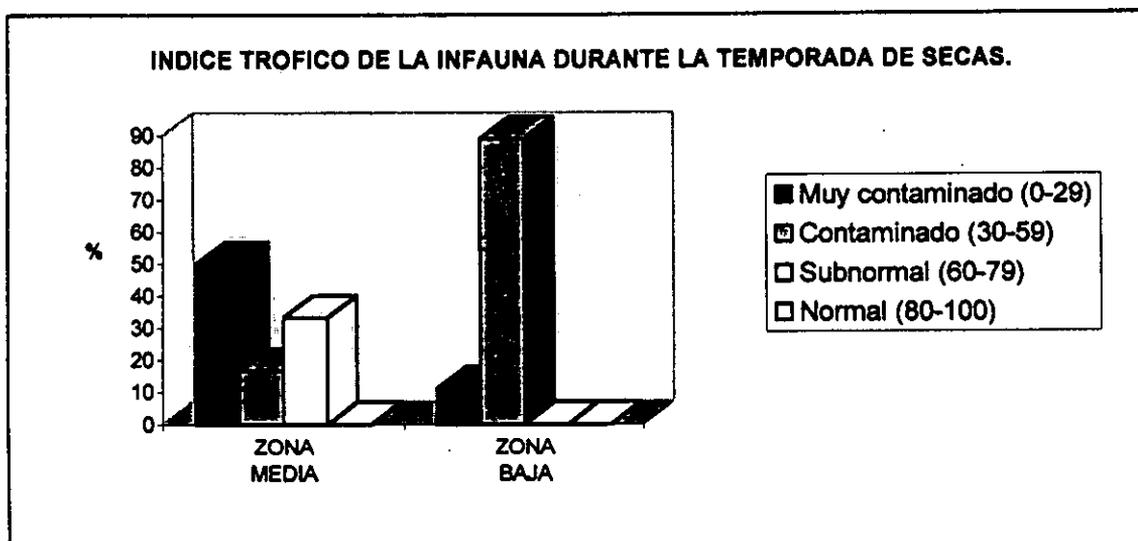


FIGURA 39. Índice trófico de la infauna (Word, 1978) durante la temporada de secas.

Comparando con las condiciones fisicoquímicas del medio y el ICA del agua de fondo se observa que los datos arrojados por el ITI son congruentes para ambas zonas e incluso más sensibles. Mientras que en términos del ICA las condiciones de la zona media del río no distan mucho de la parte baja, el ITI pone de manifiesto a la parte media del río más contaminada que la zona baja, y esto es congruente con la presencia de la refinera y terminal marítima en la zona media.

Durante la época de nortes, el índice trófico de la infauna (Figura 40) mostró un ambiente totalmente contaminado en las tres zonas del río Pánuco, siendo la zona alta del río la más contaminada. Esto también concuerda con las condiciones de homogeneización dadas por la propia temporada y encontradas anteriormente mediante el ICA y las condiciones fisicoquímicas, mediante las cuales se observó que la dinámica dada por la cuña de mar aumentaba a mayor cercanía a la desembocadura del río, por lo que la zona media y baja, a pesar de también encontrarse contaminadas, lo estarían en menor grado dada la mayor dilución.

Comparando los resultados del ITI para ambas temporadas se observa que estos concuerdan con lo analizado anteriormente en la parte fisicoquímica y mediante el Índice de la Calidad del Agua, e incluso este índice trófico parece ser más sensible a las condiciones ambientales prevalecientes.

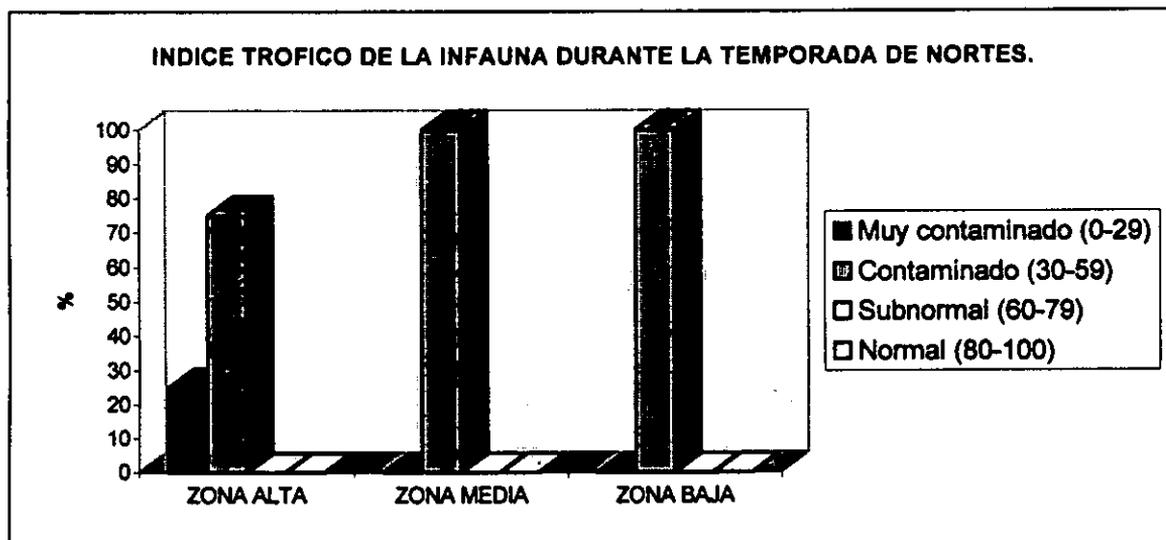


FIGURA 40. Índice trófico de la infauna (Word, 1978) durante la temporada de nortes.

Según Dauer (1983) el empleo de los grupos tróficos de los poliquetos han sido seriamente cuestionados como herramienta biomonitora, esencialmente por la simplificación de los hábitos alimenticios, carencia de información de estos hábitos para algunas especies y dificultad para la clasificación en este grupo tan diversificado.

Cairns y Niederlehner (1993) mencionan que a niveles considerables de contaminación no sólo es apreciable un cambio en la composición de la comunidad, sino un cambio en la estructura trófica, sin embargo, otros piensan que la capacidad funcional de la comunidad puede verse afectada antes de que cualquier mecanismo compensatorio opere. Posiblemente puedan ocurrir ambos casos dependiendo de la estructura de la comunidad, del tiempo y del grado de afectación ambiental. Sin embargo, en este caso, el índice trófico de la infauna mostró ser más susceptible a los cambios ambientales presentes entre una y otra zona del río Pánuco.

2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.

La segunda prueba estadística empleada para conocer la relación entre la comunidad biológica y el medio fue el análisis multivariado de componentes principales (ACP), en el cual se consideraron las características de la comunidad en relación al ICA del agua de fondo, así como a los contaminantes presentes en el sedimento y a su fineza. La Figura 41 corresponde al ACP para la temporada de secas y la Figura 42 para la época de nortes.

ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Rotation: Unrotated

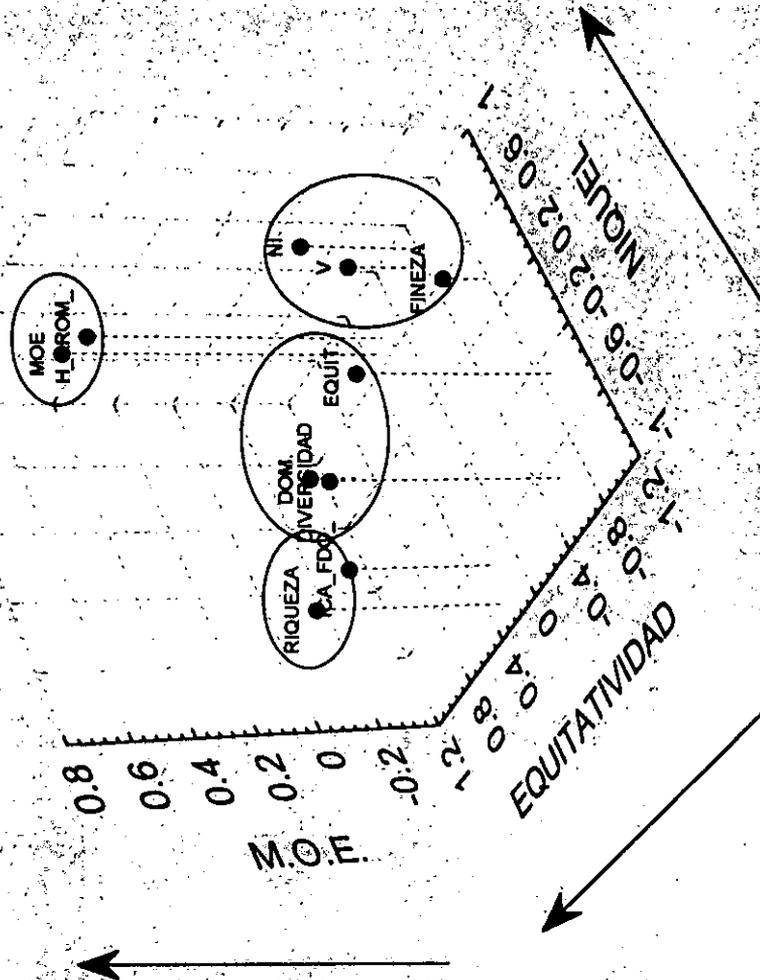


FIGURA 41. Analisis multivariado de componentes principales para la temporada de secas.

ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Rotation: Unrotated

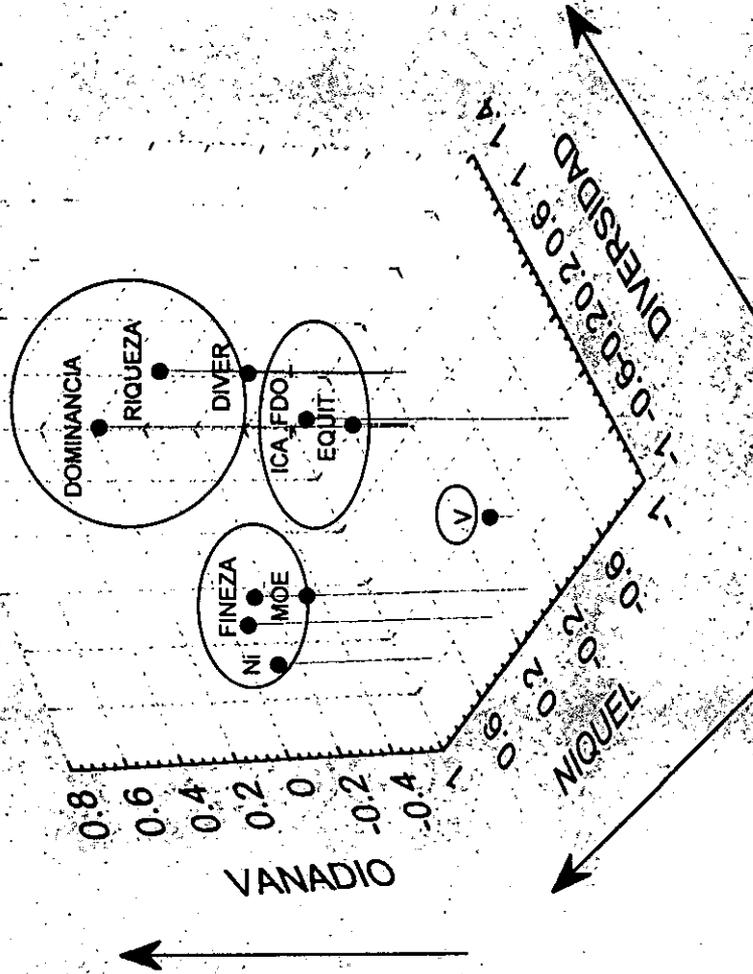


FIGURA 42. Análisis multivariado de componentes principales para la temporada de nortes.

Los resultados obtenidos para la temporada de secas se resumen a continuación:

VALOR	EIGENVALOR	%TOTAL DE LA VARIANZA	EIGENVALOR ACUMULADO	ACUMULACION %
1	4.26	42.62	4.26	42.62
2	3.09	30.99	7.36	73.61
3	1.11	11.12	8.47	84.74

Tabla 6. Eigenvalores obtenidos para representar la varianza en el ACP para la temporada de secas.

FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
0.80	-0.89	0.645
Ni	Equitatividad	M.O.E.

Tabla 7. Eigenvalores obtenidos para los tres factores principales en el ACP para la temporada de secas.

El 84.74 % de la variación de los datos fue debida a tres factores principales que fueron el contenido de Ni, la equitatividad y los valores de material orgánico extraíble (Tablas 6 y 7).

Con base en el ACP se observa que el aumento en la concentración de Ni está relacionado con una mayor fineza en el sedimento. Con respecto a la equitatividad se advierte que a medida que la calidad del agua de fondo es mejor, la equitatividad y la riqueza son más altas. El tercer factor (MOE) guarda una relación directa con los hidrocarburos aromáticos (Figura 41).

En términos generales se puede considerar que la estructura de la comunidad de poliquetos durante la temporada de secas está relacionada con dos contaminantes presentes en el sedimento: Ni y material orgánico extraíble, mientras que la característica comunitaria que se relaciona con los demás factores ambientales, y que explica la variación comunitaria, es la equitatividad.

El resultado obtenido mediante el ACP concuerda con el análisis de los parámetros comunitarios realizado en el punto III-1, en el que la equitatividad influyó principalmente en los resultados de la diversidad obtenida durante la época de secas.

Para la temporada de nortes los resultados obtenidos fueron los siguientes:

VALOR	EIGENVALOR	%TOTAL DE LA VARIANZA	EIGENVALOR ACUMULADO	ACUMULACION %
1	4.35	43.50	4.35	43.50
2	1.62	16.22	5.97	59.73
3	1.215	12.15	7.18	71.88

Tabla 8. Eigenvalores obtenidos para representar la varianza en el ACP para la temporada de nortes.

FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
0.97	0.79	-0.50
Diversidad	Níquel	Vanadio

Tabla 9. Eigenvalores obtenidos para los tres factores principales en el ACP para la temporada de nortes.

El 71.88 % de la variación de los datos obedece a tres factores principales que fueron la diversidad, y los contenidos de níquel y vanadio.

Con base en el ACP para la temporada de nortes se observa una relación inversamente proporcional entre la diversidad y la concentración de vanadio, es decir, la diversidad disminuye conforme éste aumenta, en tanto que el incremento en la concentración de Ni y V está relacionada con una mayor fineza en el sedimento (similar a la temporada anterior) y con el material orgánico extraíble. En relación a la equitatividad se observa que guarda una relación directa y proporcional con la calidad del agua de fondo (Figura 42).

En términos generales durante la temporada de nortes, al parecer la estructura de la comunidad está más relacionada con el contenido de metales pesados, de los cuales la concentración de níquel presente en el sedimento, es la que repercute en la diversidad.

De forma concreta, el ACP refleja que:

- La calidad del agua de fondo se relaciona con la riqueza en la temporada de secas y con la equitatividad en la temporada de nortes.
- El níquel fue el contaminante del sedimento más importante durante ambas temporadas, mantiene su concentración persistente a lo largo del tiempo e indica la presencia de hidrocarburos.
- La fineza del sedimento está relacionada directamente con la concentración de los contaminantes presentes en éste.

Discusión global de los parámetros comunitarios y su relación con el ambiente.

El índice trófico de la infauna pone de manifiesto un ambiente contaminado, en el que el tamaño de grano y su fineza, así como el transporte de sedimentos presentaron una variación espacial y temporal, por lo que las distintas especies tuvieron diferentes valores de abundancia, así como diferente ubicación a lo largo del río, sin embargo, las condiciones de la zona baja parecieron ser las más propicias para una densidad relativa mayor de las especies indicadoras. Además particularmente en cada una de las épocas estudiadas se aprecian dos tendencias claras dentro de la estructura de la comunidad:

- Durante la temporada de secas existe una baja riqueza específica, con la presencia de altas abundancias, donde la equitatividad es el componente que mayoritariamente influye en una diversidad de media a baja dada en esta época, y en la que únicamente algunas especies tuvieron la capacidad de aprovechar el recurso en el medio impactado, como es el caso de *S. benedicti* y *C. brunnea*.

- En la temporada de nortes la comunidad presentó una riqueza alta favorecida por la presencia de un medio en transición (de normal a impactado), en el que la diversidad (de alta a media) se encontró preferentemente influenciada por la riqueza.

Por su parte el índice de fineza mostró un comportamiento discordante en su relación con los contaminantes del sedimento, es decir, mientras que mediante el análisis de correlación múltiple (Tabla 3) no se evidenció una relación estrecha, el ACP muestra una correspondencia entre estos factores. Sin embargo, se debe hacer notar que mediante la correlación múltiple únicamente se analizó la relación entre la fineza y los contaminantes, mientras que en el ACP se perseguía agrupar los factores ambientales y comunitarios, identificando cuales de ellos se agrupaban entre sí. Por tal motivo, dado el efecto de la estabilidad de la interfase agua dulce-marina observada anteriormente, el sedimento tiende a acumular los contaminantes, y esta depositación no sólo depende de su textura, sino también de la dinámica estacional y puntual presente en el ambiente.

Con respecto a los demás factores ambientales analizados, los que más se relacionaron con la estructura de la comunidad fueron, por una parte, los metales pesados presentes en el sedimento en ambas épocas, y por otro lado, el ICA del agua de fondo, el cual estuvo relacionado con los componentes complementarios de la diversidad en cada una de las temporadas, es decir, con la riqueza en la época de secas, y con la equitatividad en la temporada de nortes. Esto podría indicar que no sólo las condiciones particulares del sedimento son las que influyen a la comunidad, sino también la calidad del agua de fondo repercute en el elemento complementario de la diversidad.

CONCLUSIONES

- 1) El pH elevado y el bajo contenido de oxígeno disuelto durante la temporada de secas, así como la concentración elevada de los sólidos suspendidos y fosfatos en ambas temporadas, son los parámetros fisicoquímicos del agua de fondo que estuvieron fuera de los criterios ecológicos ó de los límites máximos permisibles.
- 2) El agua del río Pánuco en los niveles superficial y de fondo no presenta una calidad muy diferente entre sí, la cual según el ICA, es dudosa para especies sensibles en la mayoría de las estaciones, bajo el uso de pesca y vida acuática, durante ambas temporadas de estudio.
- 3) El ICA constituye una forma resumida de dar a conocer la calidad ambiental del río, en términos de parámetros fisicoquímicos y de contaminantes, aunque no toma en cuenta condiciones de temporalidad. El asignar valores de importancia a cada parámetro no interfiere de manera importante en el valor final del Índice para uso de pesca y vida acuática.
- 4) Físicamente el sedimento del río Pánuco presenta ambientes de depósito típicos de río, controlados por condiciones hidrodinámicas y climáticas propias de cada temporada. Sin embargo, en materia de contaminantes, el sedimento está influenciado por la industria petrolera, ya que excede los valores de referencia de hidrocarburos aromáticos, material orgánico extraíble y metales pesados (Ni y V).
- 5) La capacidad de acumulación de contaminantes por parte de un sedimento fino depende no sólo de su textura, sino de la dinámica estacional y puntual presente en el ambiente.
- 6) En términos de la comunidad de poliquetos se observaron características particulares según la temporada: en secas existe una baja riqueza específica, con altas abundancias, donde la equitatividad es el componente que mayoritariamente influye en una diversidad de media a baja, y en la que únicamente algunas especies son capaces de aprovechar recursos en el medio impactado, en tanto que en la temporada de nortes, la comunidad tuvo una riqueza alta mediada por un medio en transición, en el que la diversidad estuvo preferentemente influenciada por la riqueza.
- 7) Durante la temporada de secas, la comunidad se mostró impactada, y en la época de nortes, mostró un comportamiento transitorio (entre normal e impactado). Esto habla de una variación temporal, así como de la dinámica de la comunidad fluctuante en términos del medio impactado.

- 8) Las especies dominantes fueron *Streblospio benedicti* y *Cossura brunnea* en ambas temporadas, *Nereis pelagica* y *Capitella capitata* en la temporada de secas, y *Parandalia ocularis* en la temporada de nortes.
- 9) Los organismos sugeridos como indicadores, por su abundancia, dominancia, densidad relativa y frecuencia de aparición son:
- *Capitella capitata*, la cual bajo concentraciones elevadas de MOE, presentó un aumento en su abundancia y frecuencia de aparición.
 - *Nereis pelagica* y *Parandalia ocularis*, indicadoras de procesos sucesionales en los que la inconsistencia temporal de sus abundancias merecieron a un ambiente en cambio.
 - *Streblospio benedicti* y *Cossura brunnea*, consideradas como dos especies tolerantes a las variaciones de salinidad presentes bajo la influencia de la cuña de mar en un ambiente estuarino típico.
- 10) El ITI mostró ser índice sensible a las condiciones ambientales prevalecientes en cada zona del río. Además este indicador trófico reveló al Pánuco como un cuerpo de agua contaminado.
- 11) El contenido de metales pesados y el ICA de fondo son los dos factores ambientales más relacionados con los elementos complementarios de la diversidad.

RECOMENDACIONES

El uso de especies bioindicadoras no debe considerarse como una herramienta única de monitoreo ambiental, es decir, con el fin de conocer la calidad de un cuerpo de agua es necesario caracterizarlo no sólo desde un punto de vista particular, sino incluir el aspecto físico, químico y biológico.

Con relación al esquema metodológico, se recomienda continuar con el proceso de evaluación, diagnóstico y reporte de las condiciones ambientales presentes en el río, con el objeto de emplear dichos datos para establecer patrones y tendencias futuras de calidad ambiental.

Con el fin de alterar lo menos posible la calidad natural del río Pánuco como cuerpo de agua receptor se sugiere implementar nuevas tecnologías "limpias" mediante las cuales se eliminen, reduzcan o mejoren la calidad de las descargas industriales y municipales. Por otra parte, se requiere de una estricta vigilancia por parte de las autoridades competentes acerca de la calidad y tipo de efluentes que recibe el río Pánuco, con el fin de evitar su deterioro paulatino.

Llevar a cabo los estudios pertinentes con el fin de proponer un "Índice de la Calidad del Sedimento", el cual incluya parámetros tales como metales pesados, hidrocarburos, contenido de materia orgánica y toxicidad.

Incluir dentro de la legislación mexicana normas oficiales que por un lado regulen la calidad del sedimento, y por otro, determinen límites máximos permisibles.

Realizar estudios complementarios al de bioindicadores, tales como bioensayos de toxicidad o contenido de metales pesados e hidrocarburos en los organismos, que permitan analizar una respuesta ecológica y funcional del ecosistema acuático.

LITERATURA CITADA

Aguilera-Lozano, G. 1995. Evaluación del contenido de algunos metales pesados en once bancos ostrícolas en la laguna de San Andrés, Tamaulipas, México. Tesis profesional, FES-Zaragoza, UNAM. 67pp.

APHA, AWWA, WPCF. 1985. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. Washington, D.C.

APHA, AWWA, WPCF. 1995. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. Washington, D.C.

Alvarez, L. R. y M.C. González-Macías. 1986. Niveles actuales de hidrocarburos y metales pesados en aguas costeras del Océano Pacífico Mexicano. **Revista del IMP**. XVIII (3): 59-68.

American Petroleum Institute (API). 1977. Oil spill studies: Strategies and Techniques. API Publications No. 4286.

Ansari, Z. A., B. S. Ingole y A. H. Parulekar. 1986. Effect of high organic enrichment on benthic polychaete population in a estuary. **Mar. Poll. Bull.** 17: 136-365.

Arias-González, J. E. 1984. Diversidad, distribución y abundancia de anélidos (poliquetos) en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, durante un ciclo anual. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 102pp.

Baek, S. O., R. A. Field, M. E. Goldstone, P. W. Kirk, J. J. Lesterand, and R. Perry. 1991. A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate, and behavior. **Water Air Soil Pollut.** 60: 279-300.

Banse, K. y K. Hobson. 1974. Benthic errantiate Polychaetes of British Columbia and Washington. Bolletin 185, Canadá. 111pp.

Begon, M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 1988. Ecología, individuos, poblaciones y comunidades. Omega, España. 613pp.

Bellan, G. 1964. Influence de la pollution sur la faune annelidienne des substrats meubles. **Comm. Intern. Explor. Sci. Mer. Medit.** 1964: 123-126.

Beyer, W. N., G. H. Heinz y R. Worwood. 1996. Environmental contaminants in wildlife. Chapter 9. **Setac Special Publications Serial**. Lewis Publishers, USA.

Botello, A. V., G. Ponce, A. Toledo, G. Díaz y S. Villanueva. 1992. Ecología, recursos costeros y contaminación y contaminación en el Golfo de México. **Ciencia y Desarrollo XVII** (102): 28-48.

- Bryan, G. 1976. Heavy metal contamination in the sea. *In*: Johnston, R. (ed.). Marine Pollution. Academic Press, England. 1805-302.
- Burton, A. G. 1991. Assessing the toxicity of freshwater sediments. *Annual Review. Environmental Toxicology and Chemistry* 10: 1585-1627.
- Cairns, J. Jr. y B. R. Niederlehdner. 1993. Ecological Function and Resilience: Neglected Criteria for Environmental Impact Assessment and Ecological Risk Analysis. *The Environmental Professional* 15: 116-124.
- Calderón-Aguilera, L. E. 1992. Análisis de la infauna béntica de Bahía San Quintín, Baja California en su utilidad en la evaluación del impacto ambiental. *Ciencias Marinas* 18(4): 27-46.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 1996. Estudio de la clasificación del río Coatzacoalcos, Veracruz. CNA, IMTA, PEMEX-Petroquímica e IMP. 204pp.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1996. Sistema Nacional de Información de la Calidad del Agua. Gerencia de calidad del agua. Reporte de la calidad del agua. Gerencia Tamaulipas centro y sur. CNA, México.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). 1964. Cuencas de la Vertiente del Golfo de México. *Boletín Hidrométrico* No.5. México. 384pp.
- Crums-Wiesner, H., H. R. Felds y W. C, Purdy. 1971. The determination of vanadium in brines. *Anal. Chem. Act.* 55: 29-36.
- Daniels, W. W. 1984. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa, México. 485pp.
- Dauer, D. M. y W. G. Conner. 1980. Effects of moderate sewage input on benthic Polychaetae populations. *Estuarine of Marine Science*. 10: 335-346.
- Dauer, D. M. 1983. Functional morphology and feeding behavior of *Scolecopsis squamata* (Polychaeta: Spionidae). *Mar. Biol.* 77: 279-285.
- Diario Oficial de la Federación, 1976. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-38-1976.
- Diario Oficial de la Federación, 1978. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-50-1978.
- Diario Oficial de la Federación, 1981. Norma Oficial Mexicana NOM- AA-28-1981.
- Diario Oficial de la Federación, 1981. Norma Oficial Mexicana NOM- AA-30-1981.
- Diario Oficial de la Federación, 1981. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-34-1981.
- Domínguez-Parra, S. 1986. Estudio de la calidad reglamentaria y ecológica de las

aguas costeras en la bahía de Acapulco, Guerrero, y proximidades, realizado de noviembre de 1978 a marzo de 1979. Tesis de grado (Maestría), ICMYL, UNAM. 150pp.

Emerson, R. R. y K. Fauchald. 1971. A revision of the genus *Loandalia* Monro with description of a new genus and species of pilargiid polychaete. **Bull. Soc. Cal. Acad. Sci.** 70(1): 18-22.

Emilsson, I., M. A. Alatorre, A. Fernández, R. R. Lankford y F. Ruíz. 1973. Investigaciones sobre la contaminación costera en Altamira, Tamps. Reporte Técnico. Instituto de Geofísica, UNAM.

Fauchald, K. 1968. Onuphidae (Polychaeta) from Western Mexico. **Allan Hancock Monogr. in Mar. Biol.** 3: 1-82.

Fauchald, K. 1970. Polychaetous Annelids of the families Eunicidae, Lumbrineridae, Iphitimidae, Arabellidae, Lysaretidae and Dorvilleidae from Western Mexico. **Allan Hancock Monogr. in Mar. Biol.** Los Angeles, California. 335pp.

Fauchald, K. 1972. Benthic Polychaetous Annelids from deep water of Western Mexico and adjacent areas in the Eastern Pacific Ocean. **Allan Hancock Monogr. in Mar. Biol.** 7: 1-575.

Fauchald, K. 1977. The Polychaete worms. Definitions and keys to the orders, families and genera. **Nat. Mus. Hist. of L. A. country. Sci. Ser.** 28: 1-190.

Fauchald, K. y P. A. Jumars. 1979. The diet of worms: a study of Polychaeta feeding guilds. **Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.** 17: 193-284.

Folk, R. L. 1969. Petrología de las rocas sedimentarias. Instituto de Geología, UNAM. México. 236pp.

Foster, N. 1969. New species of spionids (Polychaeta) from the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea, with a partial revision of the genus *Prionospio*. **Proc. Biol. Soc. Wash.** 82 (38): 381-400.

Foster, N. 1971. Spionidae (Polychaeta) of the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. **Studies on the Fauna of Curacao and other Caribbean Islands.** 37 (129): 1-183.

Foster, N. 1972. Freshwater Polychaetes (Annelida) of North America. **Water Pollution Control Research Series.** 18050 ELDO3/72. EPA. 15pp.

Frithsen, J. B. y P. H. Doering. 1986. Active enhancement of particle removal from water column by tentaculate benthic Polychaetes. **Ophelia** 25: 169-182.

Froese, P. L. y J. S. Mattson, 1977. The "Argo Merchant" oil spill. NOAA. Boulder Colorado. Government Printing Office, USA.

Galindo, M. S., J. A. Segovia-Zavala e I. Rivera-Duarte. 1984. Contenido de materia orgánica en sedimentos superficiales de la Bahía de Todos los Santos, Baja California. **Ciencias Marinas** 12(2).

García-Figueroa, E. y M. A. Flores. 1983. Estudio de hidrocarburos totales en agua de mar de la Sonda de Campeche. **Revista del IMP** 15: 101-106.

Gaughan, P. 1981. Metodología de muestreo de sedimentos para obtención de datos químicos y biológicos con relación a la contaminación marina. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C. Informe técnico DOC-81-02.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geofísica, UNAM. México. 246pp.

García de León, A. L. 1988. Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales. Instituto de Geografía, UNAM. 30pp.

Gardiner, S. L. 1976. Errant Polychaete Annelids from North Carolina. **J. Elisha Mitchell Sci. Soc.** 91: 77-220.

Gathof, J. M. 1984. Phyllodocidae, Eunicidae, Amphinomidae, Crysopetalidae. *In* : Uebelacker, J. M. & P. G. Johnson (eds.). 1984. **Taxonomic guide to the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico**. Final Report to the Minerals Management Service, contract 14-12-001-29091. Barry A. Vittor and Associates Inc., Mobile, Alabama.

GESAMP, 1988. "Report of the Eighteenth Session, Paris, April 1988". GESAMP Reports and Studies No. 33, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris. 89pp.

Gobin, J. 1987. Polychaetes as indicators of organic pollution in the Gulf of Paria, Trinidad. **Proc. Ass. Isi. Mar. Lab. Caribb.** 18: 11.

Goldberg, D. E. 1975. The mussel watch a first step of on global marine monitoring. **Mar. Poll. Bull.** 6: 111.

González-Macías, M. C. 1989. Las comunidades bentónicas y su relación con afloramientos naturales de hidrocarburos en el Golfo de México: Crucero Chapo I. **Universidad y Ciencia**, Vol. 6, No. 11: 17-28.

González-Macías, M. C. 1997. Análisis de la comunidad bentónica en una chapopotera del Golfo de México y sus relaciones con la presencia crónica de hidrocarburos del petróleo. Tesis de grado (Maestría), Facultad de Ciencias, UNAM. 76pp.

González-Ortíz, L. 1994. Los Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la Plataforma Continental del Golfo de Tehuantepec, México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 191pp.

Goodnight, C. J. 1973. The use of aquatic macro invertebrates as indicator of stream pollution. **Trans. Amer. Micros. Soc.** 92(1): 1-13.

Granados-Barba, A. 1991. Algunos aspectos ecológicos de los anélidos poliquetos (orden Eunicida) de la región de plataformas petroleras y áreas adyacentes en la Sonda de Campeche, Golfo de México. Tesis profesional, ENEP-Iztacala, UNAM. 99pp.

Granados-Barba, A. 1994. Estudio sistemático de los poliquetos de la región de plataformas petroleras del sur del Golfo de México. Tesis de grado (Maestría), Facultad de Ciencias, UNAM. 284pp.

Gray, J. S. y F. B. Mirza. 1979. A posible method for the detection of disturbance of marine benthic communities. **Mar. Poll. Bull.** 10: 142-146.

Gray, J. S. 1981. The ecology of marine sediments. An introduction to the structure and function of benthic communities. Cambridge Studies in Modern Biology 2. Cambridge University Press. England.

Gray, J. S. y T. H. Pearson. 1982. Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities, 1. Comparative methodology. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 9: 111-119.

Guilbaut, G. G. 1973. Practical Fluorescence: Theory, Methods and Techniques. Marcel Dekker, Inc. New York.

Hartley, J. P. 1982. Methods for monitoring offshore macrobenthos. **Mar. Poll. Bull.** 13(5): 150-154.

Hartman, O. 1944. Polychaetous Annelids. Part 5, Eunicidae. **Allan Hancock Pacific Expedition.** 10(1): 1-237.

Hartman, O. 1950. Polychaetous Annelids: Goniadidae, Glyceridae and Nephtyidae. **Allan Hancock Pack. Exp.** 15: 1-181.

Hartman, O. 1959. Capitellidae and Nereidae (marine Annelids) from the Gulf side of Florida, with a review of freshwater Nereidae. **Bull. Mar. Sci. Gulf Caribb.** 9: 153-168.

Hartman, O. 1963. Submarine canyons of Southern California. Part III. Systematics: Polychaetes. **Allan Hancock Pacific Expedition.** 27: 1-93.

Hartman, O. 1968. Atlas of errantiate Polychaetous Annelids from California. **Allan**

Hancock Foundation. Univ. South. Calif. 828pp.

Hartmann-Schröder, 1959. Zur Ökologie der Polychaeten des Mangrove-Estero-Gebietes von El Salvador. **Beitr. Neotrop. Fauna.** 1(2): 69-133.

Hernández-Alcántara, P. 1992. Los poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la Plataforma Continental del Golfo de California, México. Taxonomía, abundancia numérica y distribución geográfica. Tesis de grado (Maestría), ICMYL, UNAM. 427pp.

Holme, N. A. y A. D. McIntyre (eds.). 1971. Methods for the study of marine benthos. IBP Handbook-16 Oxford. Blackwell, Scientific Publications, USA. p 16.

Hutchings, P. 1984. An Illustrated Guide to the Estuarine Polychaete Worms of New South Wales. **The Australian Museum.** USA. 160pp.

Imajima, M. 1985. Six species of Lumbrinerides (Polychaeta, Lumbrineridae) from Japan. **Bull. Nat. Sci. Mus.** 11(4): 172-183.

Instituto de Ingeniería, 1974. Prevención y control de la contaminación del agua: estudio del estuario del río Pánuco, Tamps. *Ibid.* 3 Vol.

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 1982. Datos generales de la Refinería Madero. México. p 29.

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 1984. Evaluación del impacto ambiental de las chapopoterías marinas del Golfo de México. Informe Parcial Campaña CHAPO III. IMP, México.

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 1987. Memorias del curso Internacional "Impacto Ambiental". Subdirección de desarrollo profesional. IMP, México. 178pp.

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). 1996. Evaluación del impacto del río Pánuco, debido a la influencia de la refinería y terminal marítima de Cd. Madero, Tamps. Informe técnico integral de la temporada de lluvias. IMP, México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1991. Datos básicos de la geografía de México. INEGI, México. 142pp.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1994. Estadísticas del medio ambiente. INEGI, México. 447pp.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Gobierno del estado de Tamaulipas. 1995. Anuario estadístico del estado de Tamaulipas. INEGI, México. 390pp.

KAHLSICO, 1984. Instruction Manual of Portable Induction Salinometer. Cat. No. 118WB200. Kahl Scientific Instrument Corporation. USA.

- Knox, G. A. 1977. The role of Polychaetes in benthic soft-bottom communities. *In*: Reish, D. J. And K. Fauchald (eds.). *Essays on the Polychaetous Annelids on the memory of Dr. Olga Hartman. Allan Hancock Found., L. A. : 547-604.*
- Kolkwitz, R. y R. Marson. 1908. Ökologie der pflanzlichen Saprobien. *Ver. Dt. Bot. Ges.* 269: 195-229.
- Krebs, C. J. 1978. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. Harper and Row, USA. 672pp.
- Lakowicz, J. R. 1983. Principles of Fluorescence Spectroscopy. Plenum Press, New York.
- Langston, W. S. 1990. Toxic Effects of Metals and the Incidence of Metal Pollution in Marine Ecosystems. *In*: Furness, S. W. y P. S. Rainbow. Heavy Metals in the Marine Environment. CRC Press, Florida, USA. 102-122.
- León-Vizcaíno, L. F., M. Escalante E. y J. A. González V. 1993. Hidrodinámica de la laguna de Nichupte, Cancún, Q. Roo, México. Informe anual. Instituto Mexicano de Tecnología del agua, México. 70pp.
- Lezcano-Bustamante, B. E. 1989. Estudio prospectivo de la distribución y abundancia de las poblaciones de anélidos poliquetos en la porción sur del Golfo de California. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 98pp.
- Light, W. J. 1978. Spionidae (Polychaeta, Annelida). *In*: Lee, W. L. (ed.). *Invertebrates of the San Francisco Bay Estuary System. Pacific Grove California: The Boxwood Press: 1-211.*
- Lizárraga-Partida, L. 1973. Contribución al estudio de los anélidos poliquetos como indicadores de contaminación orgánica. Tesis profesional, UABC, Ensenada, Baja California. 25pp.
- Long, R. E. y P. Chapman. 1985. A sediment quality triad: Measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition in Puget Sound. *Mar. Poll. Bull.* 16(10): 405-415.
- Maciolek, N. J. 1985. A revision of the genus *Prionospio* Malmgren, with special emphasis on species from the Atlantic Ocean, and new records of species belonging to the genera *Apropionospio* Foster and *Parapronospio* Caullery (Polychaeta, Annelida, Spionidae). *J. Linn. Soc. Zool.* 84: 325-383.
- Marchand, 1979. Ixtoc-I. Observaciones de la contaminación por hidrocarburos del agua de mar y los sedimentos en la región sur del Golfo de México. COB (Francia e IMP), México. 12pp.
- Margalef, R. 1980. Ecología. Omega. Barcelona, España. 951pp.

- Margalef, R. 1983. Limnología. Omega. Barcelona, España. 959pp.
- Márquez-Bravo, L. G. 1986. Los organismos bentónicos como indicadores de la calidad del agua de los ríos Amacuzac y Balsas. Tesis profesional, ENEP-Iztacala, UNAM. 73pp.
- Mason, W. T. y P. O. Yevich. 1967. The use of phloxina B and rose bengal stains to facilitate sorting benthic samples. **Trans. Amer. Micros. Soc.** 86: 221-223.
- Mattson, J. Y M. Notini. 1985. Experimental recolonization by macrozoobenthos in a bay polluted by municipal sewage, oil and heavy metals compared to an unpolluted Baltic bay. **Ophelia** 24: 111-124.
- Metcalf, A. y G. Eddy, 1986. Wastewater engineering. USA, McGraw-Hill. 822pp.
- Miramar, R. L. 1987. Estudio de los posibles efectos que sobre la productividad primaria ejercen las actividades del puerto industrial de Altamira, Tamaulipas. 1985. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 90pp.
- Miranda-Vázquez, L. A. 1993. Estudio de las comunidades de poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la Plataforma Continental externa del sur del Golfo de México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 148pp.
- Nava-Montes, A. D. 1989. Los anélidos poliquetos de la laguna de Tamiahua, Veracruz. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 82pp.
- Neff, J. J. 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: sources, fates, and biological effects. Applied Science Publishers, London. 262pp.
- Odum, E. P. 1973. Ecología. Interamericana, México. 639pp.
- Ortiz-Gallarza, S. M., A. M. Gil-Zurita, R. Vázquez-De la Cerda, R. García-Hernández y J. Segura-Gortares. 1994. Caracterización del ambiente acuático en la zona de descarga del difusor submarino de Du Pont, S. A. de C. V., Planta Altamira. Sría. de Marina, México. 162pp.
- Ortiz-Hernández, M. C. 1990. Los poliquetos de la Sonda de Campeche y canal de Yucatán, su relación con los hidrocarburos. Tesis de grado (Maestría), CINVESTAV-Mérida, IPN. 99pp.
- Ochoa, V. R. 1996. La criptofauna poliquetológica de los principales arrecifes del sur del Golfo de México: Cayo Arcas, Triángulo Oeste, Cayo Arenas y Arrecife Alacrán. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 101pp.
- Padilla-Galicia, E. 1984. Estudio cualitativo y cuantitativo de las poblaciones de anélidos poliquetos de la Plataforma Continental de Sinaloa. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 106pp.

- Parker, T. 1996. [mbicsdla@netcom] "Misdiagnosis of *Parandalia ocularis* (Polychaeta: Pilargidae). [<http://www.keil.ukans.edu/edu~worms/parandal.html>].
- Pèrés, J. M. , G. Bellan, F. Ramade, J. Ancellin, L. Lourd, P. Michel, M. Gauthier, F. Soudan y D. Bellan-Santini. 1980. La polución de las aguas marinas. Omega, Barcelona. 250pp.
- Perkin Elmer, 1976. Analytical Methods for Atomic Absortion Spectrophotometry. Perkin Elmer. USA.
- Pettibone, M. H. 1966. Revision of the Pilargidae (Annelida: Polychaeta), including descriptions of new species, and redescrptions of the pelagic *Podarmus ploa* Chamberlin (Polynoidae). **Proc. U. S. Nat. Mus.** 118 (3525): 155-208.
- Reish, D. J. 1957. The relationship of the Polychaetous Annelids *Capitella capitata* to waste discharge of biological origin. *In: Biological Problems In Water Pollution*. USA, 195-200.
- Reish, D. J. 1960. The use of marine invertebrates as indicators of the water quality. *In: Pearson, E. A.(ed.). Waste dispersal in the marine environment*. 103pp.
- Reish, D. J. 1968. A biological survey of Bahia of Los Angeles, Gulf of California, México. II. Benthic Polychaetous Annelids. **Trans. San Diego Soc. Nat. Hist.** 15: 67-106.
- Reish, D. J. 1972. The use of Marine Invertebrates as indicators of varing degrees of Marine Pollution *In: Marine Pollution and Sea Life*. FAO y A Pollutions des Mers et les Ressources Biologiques. Fishing News Books LTD. 206pp.
- Reish, D. J. 1986. Benthic invertebrates as indicators of marine pollution: 35 years of study. *In IEEE Oceans 86 Conference Proceeding*. 885-887.
- Rhoads, C. D. 1974. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. **Oceanogr. Mar. Rev.** 12: 263-300.
- Rioja, E. 1941. Estudios anelidológicos III. Datos para el conocimiento de la fauna de poliquetos de las costas mexicanas del Pacífico. **An. Inst. Biol. UNAM.** 12: 669-746.
- Rioja, E. 1959. Estudios anelidológicos XXIII. Contribución al conocimiento de los anélidos poliquetos de las islas de Revillagigedo. **An. Inst. Biol. UNAM.** 30(1-2): 243-259.
- Rioja, E. 1962. Estudios anelidológicos XXVI. Algunos anélidos poliquetos de las costas del Pacífico de México. **An. Inst. Biol. UNAM.** 33: 131-229.

Rodríguez-Villanueva, L. V. 1993. Los poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la Plataforma Continental interna del sur del Golfo de México. Abundancia, distribución y diversidad. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 128pp.

Rolan, R. G. 1973. Laboratory and field investigation in general ecology. MacMillan, USA. 173pp.

Rosenberg, D. M. y V. H. Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York. 488pp.

Salazar-Vallejo, S. I. 1981. La colección de poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Nuevo León. 156pp.

Salazar-Vallejo, S. I. 1985. Contribución al conocimiento de los poliquetos (Annelida: Polychaeta) de Bahía Concepción, B. C. S. Tesis de grado (Maestría), CICESE. 311pp.

Salazar-Vallejo, S. I. 1987. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. UABCS, México. 211pp.

Salazar-Vallejo, S. I. 1991. Contaminación marina. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Fondo de publicaciones y ediciones. Gobierno del Edo. de Quintana Roo. México. 193pp.

Salazar-Vallejo, S. I., J. A. de León-González y H. Salaices-Polanco. 1987. Monografías de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. UABCS, México. 211pp.

San Martín, G. y S. Major. 1988. Anélidos poliquetos procedentes de la I Expedición cubano-española a la Isla de la Juventud y Archipiélago de los Canarreos. III Familias Dorvilleidae, Arabellidae, Lumbrineridae y Eunicidae. **Rev. de Invest. Mar.** 9(3): 1-13.

Sanders, H. L. 1978. Florida oil-spill impact on the Buzzards Bay benthic fauna; West Falmouth. **Journal of Fisheries Research Board of Canada.** 35: 717-730.

Sartini-Martínez, L. A. 1984. Estudio prospectivo de la distribución, abundancia y diversidad de los anélidos poliquetos de la zona norte del Golfo de California. Tesis profesional, Facultad de Ciencias. UNAM. 53pp.

Satsmadjis, J. and F. Voutsinou-Taliadouri, 1983. *Mytilus galloprovincialis* and *Parapenaeus longirostris* as bioindicators of heavy metal and organochlorine pollution. **Marine Biology** 76: 115-124.

Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 1973. Temperatura y salinidad del agua de mar en los puertos de Tampico, Tamaulipas;

Veracruz; Cd. del Carmen, Campeche; Progreso, Yucatán; Banco Playa, Quintana Roo. Sría. de Marina, México. 25pp.

Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 1978. Crucero oceanográfico realizado en parte de la zona económica exclusiva frente al estado de Tamaulipas, México. Sría. de Marina, México. 31pp.

Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 1979. Estudio geográfico de la región de Tampico, Tamaulipas. Sría. de Marina, México. 209pp.

Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 1980. Observaciones hidrológicas frente la litoral de Tamaulipas en el Golfo de México. Secretaría de Marina, México. 48pp.

Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 1982. Estudio del impacto ambiental causado por el petróleo y sus derivados en el puerto y proximidades de Tampico, Tamps. Primera parte. Sría. de Marina, México. 48pp.

Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 1987. Reporte técnico sobre el estado de contaminación por hidrocarburos y sustancias nocivas en Topolobampo, Sinaloa; Manzanillo, Colima; Tampico, Tamaulipas; Veracruz, Veracruz; Campeche, Campeche. Secretaría de Marina, México. 38pp.

Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. 1990. Manual operativo de Geología marina. Pub. Esp. Num. I. 199pp.

SEDUE, 1986. Manual de Ordenamiento ecológico del Territorio Nacional. Tomo II. Técnicas específicas. SEDUE, México. 356pp.

SEDUE, Dirección General de prevención y control de la contaminación ambiental. 1988. Informe general de Ecología. SEDUE , México.

Simon, J. L. y D. M. Dauer. 1977. Restablishment of a benthic community following natural defaunation. *In: Ecology of Marine Benthos.* B. C. Coull (ed.). 139-154.

Smith, R. Y. 1964. Keys to marine invertebrates of the woods hole region. No. 11. Systematics-Ecology Program, Marine Biological laboratory. Woods Hole, Massachusetts. 83pp.

Sokal, R. y G. Rohlf. 1979. Biometry. W. H. Freeman and Company. USA. 859pp.

Soloman, C. H. 1976. The benthic fauna and sediments of the nearshore zone of Panama City Beach. Miscellaneous Report. 76-10 for US Army Corps of Engineers. **Coastal Engineering Research Center Fort Belvoir.** USA.

Taylor, J. L. 1984. Chapter I. Orbiinidae; Chapter 31. Nereidae; Chapter 35. Nephtyidae. *In: Uebelacker, J. M. and P. G. Johnson (eds.). Taxonomic Guide to*

the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico. Final Report to the Minerals Management Service, contract 14-12-001-29091. Barry A. Vittor and Associates. Inc. Mobile, Alabama.

Tsutsumi, H. 1987. Population dynamics of *Capitella capitata* (Polychaeta, Capitellidae) in a organically polluted cove. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 36: 139-183.

Uebelacker, J. M. 1984. Chapter 10. Heterospionidae; Chapter 17. Opheliidae; Chapter 24. Eulepethidae; Chapter 28. Hesionidae; Chapter 30. Syllidae; Chapter 41. Lumbrineridae; Chapter 42. Arbellidae; Chapter 51. Ampharetidae; Chapter 54. Sabellidae. *In*: Uebelacker, J. M. and P. G. Johnson (eds.). **Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico.** Final Report to the Minerals Management Service, contract 14-12-001-29091. Barry A. Vittor and Associates. Inc. Mobile, Alabama.

UOP, 1978. Laboratory Test Methods for Petroleum and its Products. Universal-Oil Products Co., USA.

Van der Heiden, A. M. y M. E. Hendrickx. 1982. Inventario de la fauna marina y costera del sur de Sinaloa, México. Segundo Informe. **Inst. Cienc. Mar. Limnol., UNAM.** 135pp.

Van der Leeden, F., F. L. Troised y D. Keith Todd. 1990. The Water Encyclopedia. Geraghty y Miller Ground-Water Series. Lewis Publisher. 808pp.

Varela-Hernández, J. J. 1993. Anélidos poliquetos de la Plataforma Continental de Jalisco, México. Tesis profesional, Universidad de Guadalajara. 113pp.

Wilhelmi, J. 1916. Übersicht ver die biologische Beurteilung des wassers. **Ges. Naturt. Freunde. Berlin.** 1916: 297-306.

Wolf, P. S. 1984. Chapter 12. Cirratulidae; Chapter 25. Sigalonidae; Chapter 27. Pisionidae; Chapter 29. Pilargidae. *In*: Uebelacker, J. M. and P. G. Johnson (eds.). **Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico.** Final Report to the Minerals Management Service, contract 14-12-001-29091. Barry A. Vittor and Associates. Inc. Mobile, Alabama.

Word, J. Q. 1978. The infaunal trophic index. **Ann. Rep. So. Cal. Coast. Waters Res. Proj.** 1978: 19-39.

Zenetos, A. y C. Bogdanos. 1987. Benthic community structure as a tool in evaluation effects of pollution in Elefsis Bay. **Thalassographica.** 10(1): 7-21.

Zutic, V. y T. Legovic. 1987. A film of organic matter at the fresh-water/sea-water interfase of an estuary. **Nature.** 328: 612-614.

ANEXO I

**DESCRIPCION DE LOS METODOS EMPLEADOS
PARA LA CARACTERIZACION
FISICOQUIMICA Y DE CONTAMINANTES.**

INDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA.

INDICE TROFICO DE LA INFAUNA.

ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.

• DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS

I. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA.

1. **Salinidad:** Las determinaciones se realizaron 24 horas después de haber sido tomada la muestra con el fin de permitir su estabilidad térmica (KAHLISICO, 1984).
2. **pH:** El potenciómetro se calibró con solución amortiguadora de 4, 7 y 9, solución de ácido bórico, cloruro de potasio e hidróxido de sodio, como es recomendado en el método APHA 402.2 (APHA, 1985).
3. **Turbiedad:** El espectrofotómetro se calibró con agua bidestilada, como es recomendado en el método nefelométrico APHA 214-A (APHA, 1995).
4. **Sólidos suspendidos, disueltos y totales.** Los sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en la estufa a temperatura definida. Estos incluyen los sólidos totales suspendidos o porción de sólidos totales retenidos por un filtro y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro.

a) Los **sólidos disueltos totales (SDT)** son las sustancias orgánicas e inorgánicas solubles presentes en el agua. Los sólidos disueltos son parte del total de los sólidos contenidos en el agua, ya que se tienen sólidos suspendidos, sedimentables, flotantes y disueltos. La determinación puede realizarse por diferencia o directamente según convenga. Los datos se obtienen en peso por unidad de volumen. El procedimiento para obtener los sólidos empleados fue el siguiente:

Se mezcló uniformemente la muestra extraída y filtrar a través de un crisol gooch, el cual previamente se ha preparado con un filtro de fibra de vidrio, hasta completar un volumen de 100 a 200 ml. de filtrado. En la cápsula de porcelana a la que previamente se le determinó su masa, se vertieron 50 ml. de la muestra filtrada y se evaporó casi a sequedad. La cápsula de la muestra se llevó a sequedad en la estufa eléctrica a 103-115 °C durante 30 minutos. Posteriormente se emplearon las pinzas para pasar la cápsula al desecador y se llevó a masa constante, por diferencia de masa entre la cápsula con la muestra evaporada y la masa original de la cápsula, se conoce el contenido de sólidos por unidad de volumen. La ecuación empleada fue la siguiente:

$$SDT = (P2-P1) \times 1000 / V_o, \text{ donde:}$$

SDT= Sólidos disueltos totales en mg/l.

P1= Masa de la cápsula en mg.

P2= Masa de la cápsula más el residuo de la muestra evaporada en mg.

V_o= Volumen de la muestra filtrada que se colocó en la cápsula en ml.

b) Los sólidos suspendidos totales (SST) son las sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas o porción de sólidos totales retenidos por un filtro. El procedimiento seguido es como a continuación se describe. Se filtró una muestra bien mezclada por un filtro de fibra de vidrio (0.45 micras) colocado en un crisol gooch. Al aplicar vacío se lavó el filtro con tres porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada. Luego se traslada el crisol a la estufa de secado y se mantiene ahí por espacio de una hora a 103-105 °C. Se enfría y se pone a peso constante. El residuo retenido en el filtro se seca a peso constante, el aumento del peso del filtro corresponde a los sólidos suspendidos. La ecuación empleada fue la siguiente:

$$\text{SST} = (\text{P2} - \text{P1}) \times 1000 / \text{ml de muestra, donde:}$$

SST= Sólidos suspendidos totales en mg/l.

P2= Masa de sólidos suspendidos + peso del crisol y filtro en mg.

P1= Masa del crisol y filtro en mg.

c) Los sólidos totales constituyen la suma de las sustancias orgánicas e inorgánicas solubles (SDT), así como los sólidos suspendidos totales (SST) presentes en el agua, es decir:

$$\text{ST} = \text{SDT} + \text{SST}$$

II. CONTAMINANTES DEL AGUA.

1. Hidrocarburos aromáticos y material orgánico extraíble (MOE).

Para la extracción de los hidrocarburos de la muestra, se le añadió a ésta 30 ml de tetracloruro de carbono grado analítico para espectroscopía, luego se agitó vigorosamente durante 15 minutos. Posteriormente mediante un embudo de separación, se obtiene el extracto, el cual se filtró a través de fibra de vidrio para la obtención de compuestos orgánicos, mismos que se almacenaron en un frasco color ámbar de 125 ml tratado previamente de manera similar al frasco muestreador. La muestra se mantuvo a temperatura ambiente y en la obscuridad hasta su evaluación (García-Figueroa, 1983).

El **material orgánico extraíble** en agua se evaluó por espectroscopía de infrarrojo con un equipo Unicam modelo SP-2000, con una sensibilidad de 0.0001 ppm. El MOE fue evaluado por el método IMP-RP-QA-64, modificado para utilizar crudo maya como estándar en la curva de calibración.

El principio de análisis se basa en la absorción infrarroja de los grupos CH_2 y CH_3 de los hidrocarburos a 2930 cm. Los resultados se reportaron en ppb para agua.

Los **hidrocarburos aromáticos** se evaluaron por espectroscopía de fluorescencia en un equipo Perkin-Elmer modelo MPF-44b, con sensibilidad de 0.0001 ppm. La determinación se llevó a cabo siguiendo el método IMP-RP-QA-610 en el laboratorio de Química Analítica del IMP. El método se basa en las técnicas descritas por Guilbault (1973) y Lakowicz (1983), modificada para usar como estándar el crudo maya libre de asfaltenos, diluido en hexano.

El análisis se basa en la determinación de las concentraciones de compuestos aromáticos por su fluorescencia entre los 300 y 400 nm del espectro ultravioleta con un máximo a los 310 nm. Las muestras se toman de los extractos, sustituyendo a los solventes empleados (tetracloruro de carbono en el caso de agua) por hexano y se obtiene el espectro ultravioleta correspondiente. Los resultados se reportaron en ppb para agua.

2. Metales pesados.

Para la determinación del **níquel** las muestras se preservaron con 2ml. de ácido clorhídrico concentrado. La evaluación analítica se realizó por absorción atómica utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 403. La ignición de la muestra se efectuó con una mezcla aire-acetileno y flama oxidante. La extracción de los complejos metálicos se efectuó con APDC (Amonio Pirrolidin Ditocarbamato) en MIBK (Metil Isobutil Cetona). El método empleado fue el EN2 de Perkin Elmer (1976).

El **vanadio** se determinó por medio de la técnica de espectroscopía de absorción atómica descrita por Crums y Felds en 1971, utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 403. Se empleó una flama reductora de óxido nitroso-acetileno. La extracción de los complejos metálicos se efectuó con Cupferron y MIBK.

3. Demanda Química De Oxígeno (DQO).

La DQO es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar, bajo condiciones específicas, la materia orgánica e inorgánica oxidable contenida en el agua. Proporciona una medida de la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas, bajo las condiciones de la prueba.

El método se basa en una oxidación energética de la materia orgánica y de la inorgánica inoxidable que se encuentre en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador.

El procedimiento fue el siguiente: para niveles mayores de 50 mg/l de DQO se transfirió al matraz Erlenmeyer de 500 ml una muestra de 50 ml. Se agregó una cantidad adecuada de sulfato mercúrico y algunas perlas de vidrio.

Luego se añadieron 25 ml de dicromato de potasio 0.25N y se mezclaron mediante movimiento circular. Posteriormente se conectó el matraz al condensador y se hizo circular el agua de enfriamiento. Por el extremo superior del condensador se agregaron lentamente 75 ml de ácido sulfúrico-sulfato de plata y se agitó con movimiento circular para homogeneizar. Después se calentó el matraz que contiene la mezcla y se mantuvo a reflujo durante dos horas a partir del momento en que empieza a ebullición. Se dejó enfriar y se lavó el condensador con 25 ml de agua. Luego se añadió agua en el extremo superior del condensador hasta completar un volumen de 300 ml, se retiró el matraz del condensador y se enfrió a temperatura ambiente. Posteriormente se agregaron ocho gotas de fenantrolina como indicador y se tituló con la solución valorada de sulfato ferroso amoniacal 0.25 N hasta el cambio del color azul-verdoso a café rojizo. Se llevó simultáneamente un testigo preparado con 50 ml de agua y todos los reactivos utilizados en el procedimiento.

Para niveles menores de 50 mg/l de DQO se procedió de forma similar a la anterior, pero con soluciones de dicromato de potasio y sulfato ferroso amoniacal 0.025 N.

La DQO se calculó con la siguiente ecuación:

$$DQO = ((V1 - V2) \times N \times 8 / V3) \times 1000; \text{ donde:}$$

DQO= Demanda química de oxígeno en mg/l.

V1= Volumen de la solución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la titulación del testigo en ml.

V2= Volumen de la solución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la titulación de la muestra en ml.

V3= Volumen de la muestra en ml.

N= Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

8= Equivalente del oxígeno.

4. Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO).

La DBO es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua. Este método se basa en la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en el agua y se determina por la diferencia de oxígeno entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de 5 días de incubación a 20 °C. El procedimiento empleado fue el método de dilución, efectuándose dos diluciones diferentes (25-100%) como mínimo para cada muestra y dependiendo de ésta. En un garrafón se agregó 1 ml de cada una de las soluciones (solución amortiguadora de fosfato, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro cálcico y solución de cloruro férrico) por cada litro de agua.

Luego se aereó la mezcla hasta completa saturación. Posteriormente se midieron directamente en 3 botellas de 300 ml tipo DBO volúmenes apropiados de la muestra por cada dilución y se llenaron las botellas con el agua de dilución justamente para que el tapón pueda colocarse sin dejar burbujas de aire. Luego se determinó el oxígeno disuelto inicial en una de las botellas. En otra botella se determinó el oxígeno después de 15 minutos. La última botella se metió a la incubadora a 20 °C durante 5 días manteniendo el sello hidráulico en el término de ese tiempo, determinando también la cantidad de oxígeno. La DBO se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$DBO_5 = OD_{15} - OD_F / \% \text{ dilución, donde:}$$

DBO_5 = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días expresada en mg/l.

OD_{15} = Oxígeno disuelto a los 15 minutos expresado en mg/l.

OD_F = Oxígeno disuelto final expresado en mg/l.

% dilución = expresado en decimales.

5. Fenoles.

Se tomaron 500 ml de muestra en un matraz de destilación. Se agregaron 3 ml de sulfato de cobre pentahidratado al 2%, 5 gotas de anaranjado de metilo (0.1g/ 100 ml) y 5 ml de ácido fosfórico (9:1). Se destilaron hasta 450 ml. Luego la mezcla se enfrió hasta temperatura ambiente. Posteriormente se agregaron 50 ml de agua destilada al matraz de destilación. Se destiló la mezcla nuevamente. El volumen final de destilación se pasó a un embudo de separación. Se ajustó a un pH de 10 con hidróxido de amonio. Luego se agregaron 3 ml de 4-amino antipirina y 3 ml de ferrocianuro de potasio. Se agitaron y se leyeron a 540 nm bajo el espectro SPECTRONIC 1001 Bausch & Lomb. La curva de calibración se realizó con un estándar de fenol de 1000 ppm, y va de 0.5 a 50 ppm. El resultado se reportó en ppm.

6. Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).

El método consiste en la reacción que tienen las sustancias surfactantes con el azul de metileno para dar lugar a la formación de una sal soluble en cloroformo, cuya intensidad de luz es directamente proporcional a su concentración. El resultado se reportó en ppm.

III. CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGUA.

1. Coliformes fecales: En función del número de tubos con respuesta positiva y de la proyección de la dilución, con lo que se estimó el número probable de bacterias del tipo coliformes fecales mediante tablas estándares.

2. Coliformes totales: Se fundamenta en la propiedad que tiene el grupo coliforme de fermentar la lactosa con formación de gas, en condiciones específicas de tiempo y temperatura. El número probable de bacterias totales se lleva a tablas estándares.

IV. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SEDIMENTO.

La técnica de granulometría empleada y modificada se describe a continuación. Se secó la muestra de sedimento por espacio de dos a tres días dentro de un secador de emisión luminosa. Posteriormente se colocó el sedimento seco en un desecador con sílica durante una a dos horas, con el fin de eliminar la humedad retenida. Luego se tomaron 30 g de muestra y se depositaron en un vaso de precipitados de 1000 ml. Se agregó peróxido de hidrógeno, con el objeto de oxidar la materia orgánica (esto se realiza de forma cuidadosa, ya que la reacción puede provocar un derramamiento del sedimento). Al finalizar la oxidación, se pasó la muestra a través de los tamices 1, 0.5, 0.25, 0.125 y 0.0625 mm de luz de malla empleando agua (procurando no utilizar más de 1000 ml, y frotando con las yemas de los dedos suavemente al sedimento a fin de disgregar los grumos de limo y arcilla en caso de haberse formado).

Posteriormente se recuperó la fracción de sedimento retenido en cada tamiz y se colocó en un vaso de precipitados de 100 ml, o en su defecto, en crisoles previamente pesados. Después del último tamiz, un colector retuvo la fracción del sedimento final que pasa a través de dicho tamiz. Esta fracción se vertió en una probeta de 1000 ml (por lo que debe procurarse no rebasar este volumen, de lo contrario el agua restante se coloca en recipientes y debe ser considerada para su análisis granulométrico). Después de uno a dos días hasta que el sedimento contenido en la probeta precipite se decanta la probeta desechando el agua.

Una vez aforada la muestra en la probeta de un litro, se agitó por un periodo de 2 minutos. Luego se tomaron 20 ó 25 ml del mezclado con pipetas volumétricas a diferentes tiempos y a diferentes profundidades como se muestra en la siguiente tabla, colocando la alícuota en un vaso de precipitados o en el crisol de porcelana, ambos a peso constante.

DISTANCIA (cm)*	PROBETA 1-TIEMPO**	PROBETA 2-TIEMPO**	PROBETA 3-TIEMPO**	PROBETA 4-TIEMPO**	PROBETA 5-TIEMPO**
INICIO	8: 58'.00"	9: 03'.00"	9: 03'.00"	9: 33'.00"	9: 47'.00"
14.3	9: 00'.20"	9: 05'.20"	9: 30'.20"	9: 35'.20"	9: 49'.20"
15.0	9: 02'.30"	9: 07'.30"	9: 32'.30"	9: 37'.30"	9: 51'.30"
15.0	9: 10'.00"	9: 15'.00"	9: 40'.00"	9: 45'.00"	9: 59'.00"
7.8	9: 20'.00"	9: 25'.00"	9: 50'.00"	9: 55'.00"	9: 09'.00"
5.8	10: 00'.00"	10: 05'.00"	10: 30'.00"	10: 35'.00"	10: 49'.00"
5.8	13: 00.00"	13: 05.00"	13: 30'.00"	13: 35'.00"	13: 49'.00"

*Distancia de la punta de la pipeta volumétrica hacia la parte superior de la misma, éstos diferentes niveles se colocan al nivel del agua tomando con la pipeta los 20 ó 25 ml.

**Tiempo al tomar la fracción con la pipeta calculados de la Ley de Stokes, 1851 (Sría. De Marina, 1990).

Las alícuotas de 20 o 25 ml así como las fracciones de sedimento recuperadas en cada tamiz se secaron en la estufa a 90 °C hasta evaporarse totalmente el agua. Posteriormente las alícuotas se dejaron enfriar en desecadores durante un periodo de dos a tres horas. Transcurrido este tiempo se pesaron a temperatura ambiente en una balanza analítica con precisión de 0.0001g.

Con respecto al procesamiento de los datos, para la fracción gruesa (fracción de sedimento retenida en cada tamiz), se obtuvo la diferencia de peso de los crisoles o vasos de precipitados con y sin sedimento. El resultado correspondió al peso neto del sedimento. Para la fracción fina (limos y arcillas) también se obtuvo la diferencia de peso y ésta diferencia se aplica en la siguiente ecuación:

$$PS = DP \times 40, \text{ donde:}$$

PS= Proporción de sedimento tomado de la probeta de 1000 ml

DP= Diferencia de peso de los vasos con y sin sedimento.

40= Proporción del volumen tomado (25ml) de un litro total. En caso de tomar 20 ml se multiplicará por 50.

UNIDADES Phi	TAMAÑO (mm)	CLASE DE SEDIMENTO (Wenworth, 1933)
0	1.00	Arena muy gruesa
1	0.50	Arena gruesa
2	0.25	Arena mediana
3	0.125	Arena fina
4	0.0625	Arena muy fina
5	0.031	Limo grueso
6	0.0156	Limo mediano
7	0.0078	Limo fino
8	0.0039	Limo muy fino
9	0.0020	Arcilla
10	0.00098	Arcilla

La zona sombreada corresponde a los sedimentos de fracción gruesa con base a las unidades Phi (según los tamices empleados).

A los resultados de la proporción de sedimento, se restan con el siguiente inmediato, resultando la masa neta de cada fracción de sedimento. A los resultados de la masa neta de las fracciones gruesas y finas se les aplicó la siguiente ecuación, con el objeto de obtener el porcentaje de cada clase de sedimento, a saber:

$$\% S = M. N. \times 100 / 30, \text{ donde:}$$

%S= Porcentaje de cada tipo de sedimento.

M. N.= Masa neta de la fracción gruesa o fina en mg.

30= Masa de la muestra utilizada para el análisis en mg.

V. CONTAMINANTES DEL SEDIMENTO.

1. Hidrocarburos aromáticos y material orgánico extraíble.

Los **hidrocarburos aromáticos** se evaluaron por espectroscopía de fluorescencia en un equipo Perkin-Elmer modelo MPF-44b, con sensibilidad de 0.0001 ppm. La determinación se llevó a cabo siguiendo el método IMP-RP-QA-610 en el laboratorio de Química Analítica del IMP. El método se basa en las técnicas descritas por Guilbault (1973) y Lakowicz (1983), modificada para usar como estándar el crudo maya libre de asfaltenos, diluido en hexano. El análisis se basa en la determinación de las concentraciones de compuestos aromáticos por su fluorescencia entre los 300 y 400 nm del espectro ultravioleta con un máximo a los 310 nm. Las muestras se tomaron de los extractos, sustituyendo a los solventes empleados (clororformo para el sedimento) por hexano y se obtienen el espectro UV correspondiente. Los resultados se reportaron en ppm para el sedimento.

El **material orgánico extraíble** se evaluaron por espectroscopía de infrarrojo con un equipo Pye Unicam modelo SP-2000, con una sensibilidad de 0.0001 ppm. El MOE fue evaluado por el método IMP-RP-QA-64, basado en la metodología de UOP (1978), modificado para utilizar crudo maya como estándar en la curva de calibración. El principio de análisis se basa en la absorción infrarroja de los grupos CH_2 y CH_3 de los hidrocarburos a 2930 cm^{-1} . Los resultados se reportaron en ppm para el sedimento.

2. METALES PESADOS (Ni Y V).

Para ambos metales se tomaron muestras de 200 g, mismas que fueron almacenadas en bolsas de plástico y preservadas a una temperatura de 4 °C. La extracción de los metales se realizó por digestión de dos o tres gramos de sedimento a 65 °C durante 48Hrs. empleando una mezcla 3:1 de ácido clorhídrico y ácido nítrico grado ultrex. Los residuos fueron tratados con ácido fluorhídrico para la extracción completa de los metales (modificación hecha por parte del IMP).

La extracción de los metales se realizó por digestión de dos o tres gramos de sedimento a 65 °C durante 48Hrs. empleando una mezcla 3:1 de ácido clorhídrico y ácido nítrico grado ultrex. Los residuos fueron tratados con ácido fluorhídrico para la extracción completa de los metales (modificación hecha por parte del IMP). La evaluación se realizó por espectrofotometría de absorción atómica de acuerdo con los métodos detallados para metales (Perkin Elmer, 1976), método EPA 3050 A.

• DESCRIPCIÓN DEL INDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA (ICA).

El ICA fue creado por la CNA con el fin de conocer la calidad del agua para diferentes usos. Este índice tiene un intervalo de valores que van de 0 a 100, donde el 100 representa una calidad óptima para cualquier uso (ver tabla de calificación), y cero la imposibilidad de uso. El índice se compone de subíndices característicos de cada parámetro, por lo que existen gráficas con curvas ya trazadas de los valores que toma el ICA a nivel subíndice con respecto a las concentraciones del parámetro.

Además el ICA incluye un valor de importancia para cada parámetro, cuyo valor va de 0 a 5, y su asignación depende de evaluador (SEDUE, 1986). Las importancias dadas en cada caso con el fin de probar la sensibilidad del índice, fueron las siguientes:

- a) Mantener los valores de importancia como constantes (con el valor de 1) para todos los parámetros.
- b) Valores variables de importancia, del 1 al 5: Coliformes totales y fecales, DBO, pH, sólidos disueltos y suspendidos, temperatura, SAAM, turbiedad=2; nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto= 5.
- c) Valores variables de importancia, del 1 al 5, con importancia mayor a los parámetros fisicoquímicos, y menor a los microbiológicos (por no ser el uso a calificar el de agua potable): Coliformes totales y fecales, temperatura=2, DBO, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, SAAM=5; pH=4; sólidos disueltos y suspendidos, turbiedad=3
- d) Los empleados por la CNA, los cuales son valores decimales (CNA/IMTA, 1996): oxígeno disuelto=0.103, DBO=0.096, pH=0.063, sólidos suspendidos y disueltos, turbiedad=0.033; coliformes fecales=0.143; coliformes totales=0.083; nitratos=0.053; fosfatos=0.073; temperatura 0.043.

Una vez aplicada la ecuación correspondiente para cada parámetro, con su valor de ponderación respectivo, el ICA se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$I = \sum_{i=1}^n (li \times Wi) / \sum_{i=1}^n Wi, \text{ donde:}$$

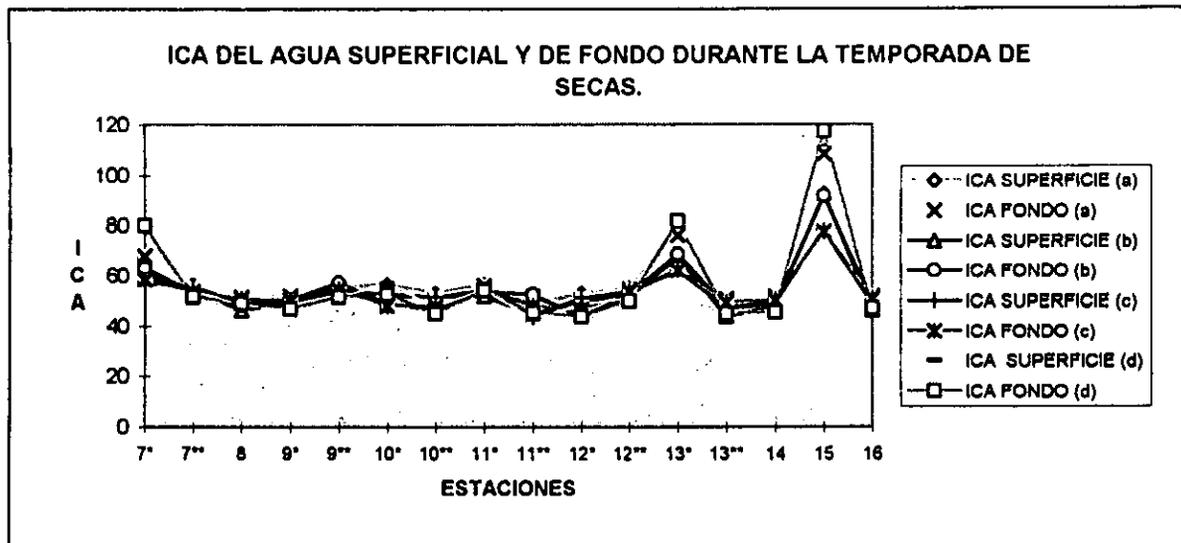
I = Índice de la calidad del agua.

li = Subíndice de la calidad del agua por parámetro.

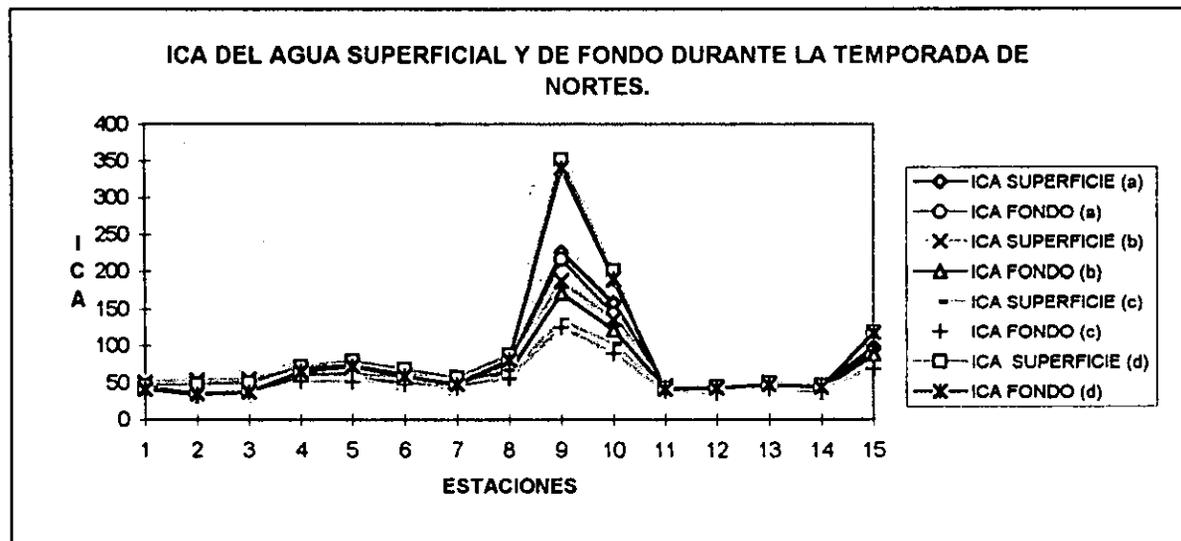
Wi = Importancia del parámetro.

N = Número de parámetros que incluye el ICA.

Los resultados del ICA obtenidos para la temporada de secas fueron los siguientes:



Mientras que para la temporada de nortes, los resultados de calidad obtenidos fueron:



La escala global de calificación que utiliza el Índice de la Calidad del Agua es la siguiente:

ICA ESCALA DE CALIFICACION GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA

	ABASTECIMIENTO PÚBLICO	RECREACIÓN	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA	NAVEGACION	TRANSPORTE DESECHOS TRATADOS
100	No requiere purificación	Acceptable	Acceptable	No requiere purificación	A	A
90		para	para			
80	Ligera purificación	cualquier	todos los	Ligera purificación para algunos procesos	c	c
70	Mayor necesidad de tratamiento	deporte acuático	organismos		e	e
60		Acceptable, no recomendable	Excepto especies sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	p	p
50			Dudoso especies sensibles		t	t
40	Dudoso	Dudoso contacto con agua	Sólo organismos muy resistentes	Con tratamiento en la mayor parte de la industria	a	a
30		Sin contacto con agua			b	b
20	No aceptable	Señal de contaminación	No	Uso muy restringido	e	l
10		No aceptable	aceptable	No	Contaminado	e
0		aceptable	aceptable	Acceptable	No	No aceptable

• DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE TRÓFICO DE LA INFAUNA (ITI).

El ITI surge de la extensión del índice trófico, considerando que la tolerancia al rigor ambiental por eutroficación, era equivalente al mecanismo de alimentación de la fauna béntica. Según Word (1978) la mayoría de las alteraciones en la infauna pueden extenderse al examinar los mecanismos tróficos del bentos.

El índice trófico da una buena caracterización del bentos, es sensible a los cambios de la composición de las especies, y es un método numérico de fácil aplicación y comparación. Incluye cuatro grupos tróficos, a saber:

- 1) Suspensívoros.
- 2) Suspensívoros o sedimentívoros de superficie.
- 3) Sedimentívoros de superficie.
- 4) Sedimentívoros de subsuperficie.

Al tener una lista de especies por estación, se asigna el grupo alimenticio, y se emplean las abundancias de cada grupo. Luego se emplea la siguiente fórmula:

$$ITI = 100 - (33.33) (n_2 + 2n_3 + 3n_4) / (n_1 + n_2 + n_3 + n_4), \text{ donde:}$$

ITI = Índice trófico de la infauna.

n_{1-4} = Abundancias de cada grupo de alimentación.

Los valores del ITI pueden ir de 0 a 100, de modo que el valor numérico queda clasificado de la siguiente manera:

0-29 Ambiente muy contaminado.

30-59 Ambiente contaminado.

60-79 Ambiente subnormal.

80-100 Ambiente normal.

• DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).

El ACP es un método multivariado que se emplea al clasificar "n" casos con base a "m" variables. El principio general en el que se fundamenta es el establecer la posibilidad de que las "m" variables evaluadas presenten cierta dependencia entre sí. Está estructurado para reducir la información de la totalidad de las variables originales aprovechando la alta correlación existente entre ellas, hasta obtener pocos indicadores que conjunten toda la información original. Tales indicadores que conjuntan la mayoría de la información aportada por numerosas variables se denominan "componentes principales", y se obtienen a partir de la varianza de las variables, y entre las variables, ya que éstas constituyen los estimadores de la dispersión entre variables. Los eigenvalores corresponden a la magnitud de los vectores que describen a los componentes principales (García de León, 1988).

ANEXO II

RESULTADOS NOMINALES OBTENIDOS

DURANTE LA

TEMPORADA DE SECAS.

TABLA A. Resultados nominales de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Pánuco durante la temporada de secas.

DIA	EST.	Hr.	PROF. m	TEMP. S °C	TEMP. F °C	SAL S.o/oo	SAL F.o/oo	pH		O ₂ S (ppm)	O ₂ F (ppm)	T.		SOLIDOS							
								S	F			S	F	SP. S	SP. F	DIS. S	DIS. F	TOT. S	TOT. F		
26-IV-96	7*	12:30	4.0	28.0	27.0	14.0	21.7	7.8	8.1	5,674	5,268	2.5	2.5	42.00	55.00	14,2040	18,764	14,246	18,819		
26-IV-96	7**	12:56	5.0	27.5	27.0	15.5	18.5	7.8	8.1	7,700	7,133	5.0	5.0	56.00	36.00	16,0680	16,164	16,124	16,200		
26-IV-96	8	13:25	12.0	28.0	25.0	15.5	35.9	7.8	8.1	5,836	5,106	0.0	27.5	61.00	120.00	18,808	32,748	18,869	32,868		
26-IV-96	9*	13:45	10.0	27.5	25.0	17.6	35.8	8.2	8.1	5,674	5,350	2.5	5.0	37.00	87.00	18,196	34,508	19,233	34,595		
26-IV-96	9**	14:05	7.0	27.5	25.0	17.9	35.8	8.1	8.1	7,619	7,052	2.5	12.5	33.00	98.00	18,508	6,658	19,541	6,754		
26-IV-96	10*	14:20	4.0	28.0	25.0	17.3	32.5	8.0	8.2	5,674	4,458	2.5	12.5	57.00	200.0	14,212	33,648	14,269	34,048		
26-IV-96	10**	15:05	4.0	28.0	25.0	19.2	36.0	8.2	8.3	5,350	5,187	2.5	5.0	36.00	83.00	19,024	35,252	19,060	35,335		
26-IV-96	11*	15:25	10.0	27.0	25.0	22.9	36.0	8.0	8.3	4,458	4,215	2.5	5.0	44.00	79.00	2,218	37,836	22,224	37,915		
26-IV-96	11**	15:45	12.0	28.5	25.0	18.8	36.1	8.2	8.3	5,268	4,863	2.5	5.0	41.00	90.00	20,688	3,754	20,729	37,630		
26-IV-96	12*	16:03	9.0	30.0	25.0	18.5	36.0	8.2	8.4	5,593	3,647	2.5	7.5	50.00	89.00	19,244	36,932	19,294	37,021		
26-IV-96	12**	16:15	7.0	27.5	25.0	22.7	35.5	8.3	8.4	6,079	4,053	1.0	2.5	55.00	54.00	19,918	37,448	19,971	37,502		
26-IV-96	13*	16:35	8.0	27.5	25.0	22.9	36.2	8.2	8.4	4,053	2,351	2.5	5.0	50.00	85.00	4,232	36,836	42,820	36,921		
26-IV-96	13**	16:50	7.0	26.0	25.0	27.6	36.0	8.3	8.3	3,323	2,351	1.0	5.0	92.00	105.00	2,814	28,704	28,232	28,809		
26-IV-96	14	17:05	12.0	27.0	26.0	24.8	36.2	8.7	8.8	4,458	2,026	2.0	3.0	71.00	97.00	30,152	34,868	30,223	34,985		
26-IV-96	15	17:20	6.0	27.0	26.0	24.5	36.1	9.1	9.0	4,053	1,945	2.5	5.0	69.00	83.00	22,956	35,212	23,025	35,295		
26-IV-96	16	17:35	6.0	26.0	24.5	29.7	36.3	9.5	8.9	4,863	3,242	1.0	4.0	82.00	97.00	26,478	37,192	29,558	37,269		
27-IV-96	7*	10:30	6.0	27.5	27.0	10.1	18.9	7.9	8.3	4,216	5,593	6.0	4.0	40.0	52.0	9756.0	20156	9796.0	20208		
27-IV-96	7**	10:50	6.0	27.5	27.0	10.9	18.8	8.6	8.0	4,701	5,187	2.0	5.0	43.0	64.0	11020.0	22384	11083	22448		
27-IV-96	8	11:00	12.0	28.0	25.0	10.1	35.6	8.1	8.0	5,187	4,620	1.0	26.0	42.0	119.0	14384.0	42172	14426	42291		
27-IV-96	9*	11:20	4.0	28.0	27.5	10.1	20.4	8.2	7.8	5,025	4,053	5.0	2.5	57.0	56.0	17148.0	18384	17205	18440		
27-IV-96	9**	11:34	6.0	28.0	25.0	14.0	35.7	8.6	8.1	3,810	6,403	3.0	16.0	42.0	45.0	16204.0	6104	16246	6148		
27-IV-96	10*	12:55	4.0	28.0	26.5	13.5	27.9	8.0	7.9	7,700	4,053	3.0	25.0	41.0	77.0	19108.0	15788	19148	15845		
27-IV-96	10**	13:12	12.0	28.0	25.0	16.8	35.7	8.0	8.1	7,133	5,268	3.0	22.0	56.0	141.0	21864.0	28932	21920	29073		
27-IV-96	11*	13:30	12.0	28.0	25.0	16.0	36.1	8.1	8.1	6,890	4,053	2.5	14.0	68.0	95.0	23936.0	18456	24004	18551		
27-IV-96	11**	14:13	12.0	29.0	25.0	15.7	36.0	8.1	8.1	4,782	6,322	2.0	12.0	65.0	112.0	38728.0	35660	38793	35772		
27-IV-96	12*	14:30	6.0	29.0	25.0	16.0	35.2	8.1	8.1	4,863	4,053	4.0	6.0	74.0	110.0	22048.0	30720	22122	30830		
27-IV-96	12**	14:42	5.0	29.0	25.5	18.0	32.4	8.3	8.0	5,187	5,512	4.0	7.5	69.0	90.0	20860.0	26084	20929	26174		
27-IV-96	13*	15:43	12.0	29.0	25.0	19.5	36.1	8.1	8.1	3,810	3,810	3.0	11.0	69.0	128.0	18788.0	25292	18857	25420		
27-IV-96	13**	15:57	6.0	29.0	25.0	19.2	35.5	8.1	8.2	2,837	3,891	3.0	10.0	72.0	117.0	23124.0	35152	23196	35269		
27-IV-96	14	16:13	12.0	28.5	24.5	19.7	36.2	8.3	8.5	2,837	4,053	1.5	2.5	71.0	56.0	26328.0	25456	26399	25512		
27-IV-96	15	16:27	10.0	28.0	24.5	20.2	36.2	8.8	8.8	4,863	3,810	2.5	3.0	66.0	50.0	21484.0	40436	21550	40486		
27-IV-96	16	16:42	10.0	28.0	24.5	21.6	36.2	8.8	8.8	3,485	3,485	1.5	6.5	58.0	35.0	27436.0	40504	27494	40539		
28-IV-96	7*	10:15	5.0	27.0	26.0	9.5	26.9	8.4	8.0	6,131	5,101	2.0	5.0	37.0	72.0	11,148	23,252	11,185	23,324		
28-IV-96	7**	10:23	4.0	28.0	28.0	9.3	14.1	8.0	8.0	6,134	6,543	2.5	2.5	28.0	40.0	8,488	15,204	8,516	15,244		
28-IV-96	8	10:48	10.0	27.5	25.0	9.4	36.2	8.1	8.1	5,323	5,321	2.5	5.0	23.0	106.0	1,016	31,140	10,183	31,246		
28-IV-96	9*	11:02	4.0	27.5	27.0	12.7	18.4	7.8	8.0	4,121	4,051	1.0	2.0	41.0	51.0	17,036	20,572	17,077	20,623		
28-IV-96	9**	11:17	11.0	27.5	25.0	12.8	36.1	8.0	8.2	4,822	4,102	2.5	9.0	37.0	110.0	13,460	6,252	13,497	6,362		
28-IV-96	10*	12:16	4.0	28.0	27.0	11.3	18.5	8.0	7.9	6,141	4,102	2.5	3.0	31.0	135.0	12,680	14,980	12,711	15,115		
28-IV-96	10**	12:34	12.0	28.0	24.0	11.9	36.3	8.1	8.3	6,721	7,903	6.0	2.5	36.0	103.0	24,848	22,408	24,984	22,511		
28-IV-96	11*	12:52	8.0	28.0	24.5	12.2	36.1	8.2	8.2	4,94	7,805	2.0	4.0	42.0	41.0	16,024	36,400	16,066	36,441		
28-IV-96	11**	13:32	12.0	29.0	24.5	11.9	36.1	8.5	8.6	2,211	6,903	2.5	9.0	35.0	38.0	13,936	29,576	13,971	29,614		
28-IV-96	12*	13:47	5.0	28.5	25.5	12.3	30.9	8.0	8.1	4,944	4,501	2.5	2.5	142.0	89.0	19,212	32,496	19,354	32,585		
28-IV-96	12**	14:01	5.0	28.5	25.5	13.5	34.6	8.6	8.1	5,201	5,802	3.0	5.0	48.0	79.0	21,468	32,464	21,516	32,543		
28-IV-96	13*	14:52	12.0	29.0	25.0	13.1	36.3	8.4	9.0	7,543	6,643	2.5	10.0	47.0	80.0	9,068	43,076	9,115	43,156		
28-IV-96	13**	15:07	5.0	28.5	25.0	14.2	36.1	8.5	8.6	7,631	6,544	2.5	7.0	42.0	94.0	15,856	35,848	15,898	35,942		
28-IV-96	14	15:25	12.0	28.0	24.5	14.6	36.3	8.4	9.1	8,133	7,332	2.5	2.5	46.0	104.0	22,328	4,542	22,374	45,524		
28-IV-96	15	15:47	10.0	29.0	24.5	14.4	36.3	8.0	8.0	8,551	6,951	2.5	3.0	44.0	109.0	20,776	41,924	2,082	42,033		
28-IV-96	16	16:04	8.0	28.0	25.0	15.4	36.3	8.0	8.7	8,551	7,241	2.5	3.0	49.0	95.0	17,396	48,388	17,445	48,483		

EST= estación. SAL= salinidad. O₂= Oxígeno disuelto. T= turbiedad. SP=suspendidos. DIS=disueltos. TOT=totales. S=superficie. F= fondo.

TABLA B. Resultados nominales de los nutrientes en el agua del río Pánuco durante la temporada de secas.

DIA	EST.	NITRATOS S	NITRATOS F	FOSFATOS S	FOSFATOS F
		ppb	ppb	ppb	ppb
26-IV-96	7*	531,134	37,730	238.86	72,324
26-IV-96	7**	239,298	149,503	27.71	90,168
26-IV-96	8	168.57	184,742	99.09	100,577
26-IV-96	9*	166,241	46,241	24.74	149,648
26-IV-96	9**	169,731	12,765	5,409	44,071
26-IV-96	10*	607,092	32,056	72,324	45,558
26-IV-96	10**	147,801	277,113	2,026	23,253
26-IV-96	11*	125.85	29,154	52,993	23,253
26-IV-96	11**	768,794	12,412	443,684	18,792
26-IV-96	12*	120,082	515.74	219,537	18,792
26-IV-96	12**	243,971	23,546	57,454	30,688
26-IV-96	13*	118,927	12,198	26,227	81,246
26-IV-96	13**	987,234	28,085	179,388	78,272
26-IV-96	14	176,170	15,886	32,175	26,227
26-IV-96	15	113,191	28,288	90,168	33,662
26-IV-96	16	857,319	23,381	35,149	55,967
27-IV-96	7*	339,761	89,794	75,298	97,603
27-IV-96	7**	948,387	102,231	151,135	94,629
27-IV-96	8	103,268	24,268	70,837	41,097
27-IV-96	9*	116,817	155,016	94,629	57,454
27-IV-96	9**	815,913	N.M.	102,064	63,402
27-IV-96	10*	960,430	67,952	52,993	122,882
27-IV-96	10**	876,129	47,076	63,402	67,863
27-IV-96	11*	119,526	16,381	48,532	78,272
27-IV-96	11**	149,634	48,537	61,915	41,097
27-IV-96	12*	119,526	38,526	29,201	38,123
27-IV-96	12**	217,376	35,796	63,402	67,863
27-IV-96	13*	752,688	82,210	57,454	35,149
27-IV-96	13**	779,784	27,605	47,045	179,388
27-IV-96	14	104,307	21,235	47,045	11,357
27-IV-96	15	834,236	16,988	41,097	24.74
27-IV-96	16	743,228	46,110	27,714	12,844
28-IV-96	7*	164,586	48,000	90,168	82,733
28-IV-96	7**	260,909	165,165	1,052,257	155,596
28-IV-96	8	154.46	12,307	580,878	1,501,331
28-IV-96	9*	187,692	48,307	307.27	103,551
28-IV-96	9**	140,578	24,876	502,067	82,733
28-IV-96	10*	331,487	73,230	319,166	234,407
28-IV-96	10**	137,538	14,461	127,343	63,402
28-IV-96	11*	51,076	12,923	119,908	79,759
28-IV-96	11**	36,307	78,153	240,355	82,733
28-IV-96	12*	114,256	67,975	139,239	33,662
28-IV-96	12**	169,504	76,923	33,662	140,726
28-IV-96	13*	176,735	15,330	47,045	76,785
28-IV-96	13**	148.38	20,247	179,388	66,376
28-IV-96	14	193,512	19,380	N.M.	63,402
28-IV-96	15	104.71	44,834	73,811	63,402
28-IV-96	16	45,230	N.M.	29,201	N.M.

S= superficie. F= fondo. N.M.= No medido.

TABLA C. Resultados nominales de los contaminantes presentes en el agua del río Pánuco durante la temporada de secas.

EST.	HIDROCARBUROS AROMATICOS	MATERIAL. ORG. EXTRAIBLE	NIQUEL ppb	VANADIO ppb	DQO ppm	DBO ppm	FENOLES ppm	SAAM ppm
7*	11.2	8249	<1.0	<1.0	294.12	3.16	0.006	0.042
7**	7.1	172.7	<1.0	<1.0	642.96	1.57	0.008	0.05
8	9.3	25703	<1.0	3.0	507.6	1.33	0.004	0.038
9*	7.1	123.9	<1.0	<1.0	439.12	2.53	0.007	0.066
9**	8.7	150.9	<1.0	<1.0	101.52	2.53	0.006	0.079
10*	3526	8688	<1.0	<1.0	270.72	2.05	0.004	0.058
10**	43.7	26286	<1.0	<1.0	135.36	2.53	0.005	0.087
11*	14.7	122.4	<1.0	<1.0	270.72	1.09	0.008	0.075
11**	439.0	1090	<1.0	<1.0	575.28	20.43	0.023	0.249
12*	49.0	13568	<1.0	<1.0	507.6	1.81	0.005	0.157
12**	7.3	75.8	<1.0	<1.0	304.56	1.33	0.000	0.000
13*	12.5	20165	<1.0	<1.0	406.08	2.05	0.001	0.000
13**	10.6	36775	<1.0	7	236.88	1.57	0.002	0.261
14	13.4	43574	<1.0	12	338.4	1.69	0.001	0.000
15	9.0	20759	<1.0	<1.0	118.44	1.09	0.000	0.000
16	14.0	14713	<1.0	<1.0	135.36	0.85	0.002	0.000

TABLA D. Granulometría e índice de fineza durante la temporada de secas.

GRANO	ZONA MEDIA				
	EST. 7*	EST.7**	EST. 8	EST. 9*	EST. 9**
Arena muy gruesa	0	0	0	0	0
Arena gruesa	3.2	0	0.37	0	0
Arena mediana	13.09	3.07	1.16	0.29	0.38
Arena Fina	17.84	7.4	4.88	2.56	2.07
Arena muy fina	17.44	13.5	8.79	9.02	6.34
Limo grueso	10.61	20	17.76	10.65	17.16
Limo mediano	0	39.1	19.97	16.93	11.57
Limo fino	2.12	5.21	15.53	1.78	1.83
Limo muy fino	1.19	2.49	17.4	10.51	40.39
Arcillas	3.58	3.5	4.54	38.58	7.83
Indice de fineza	4.152	13.046	14.080	6.505	13.532
GRANO	ZONA MEDIA			ZONA BAJA	
	EST. 10*	EST. 10**	EST. 11*	EST. 11**	EST. 12*
Arena muy gruesa	0	0	0	0	0
Arena gruesa	0.6	0.39	0	0.27	1.95
Arena mediana	1.24	0.53	3.13	1.61	1.24
Arena Fina	2.25	0.26	5.04	0.01	12.67
Arena muy fina	6.6	3.2	15.73	8.94	11.19
Limo grueso	15.84	14.33	17.97	21.79	16.83
Limo mediano	16.72	40.52	9.65	13.35	3.24
Limo fino	2.95	16.84	5.97	0.45	0.95
Limo muy fino	11.15	2.75	14.09	11.47	10.95
Arcillas	32.76	4.93	26.95	30.89	33.1
Indice de fineza	7.318	15.672	7.251	7.506	5.835
GRANO	ZONA BAJA				
	EST. 13*	EST. 13**	EST. 14	EST. 15	EST. 16
Arena muy gruesa	0	0.43	0	0	0
Arena gruesa	0.38	0.36	0	0.12	0
Arena mediana	2.41	1.71	2.75	0.74	0.28
Arena Fina	16.64	2.39	12.97	17.98	13.84
Arena muy fina	25.16	6.95	27.9	47.3	37.9
Limo grueso	27.13	5.91	6.55	10.5	9.39
Limo mediano	6.2	18.76	3.88	1.49	4.32
Limo fino	2.23	2.33	12.1	3.81	0.65
Limo muy fino	1.4	8.44	3.44	0.92	1.68
Arcillas	2.14	34.97	23.7	15.3	14.4
Indice de fineza	8.530	6.516	5.291	4.016	4.296

TABLA E. Resultados nominales de los contaminantes en el sedimento del río Pánuco durante la temporada de secas.

EST.	HIDROCARBUROS	MATERIAL ORG.	NIQUEL	VANADIO
	AROMATICOS ppm	EXTRAIBLE mg/Kg.		
7*	161.0	3503.0	24.7	99.4
7**	300.0	1572.0	27.3	94.7
8	558.0	840.0	28.6	99.2
9*	237.0	2795.0	30.3	98.8
9**	286.0	1143.0	28.2	<50.0
10*	1342.0	9412.0	30.7	99.9
10**	294.0	667.0	28.3	109.1
11*	F.M.	1609.0	26.5	<50.0
11**	F.M.	4459.0	24.5	98.5
12*	F.M.	11529.0	28.1	97.5
12**	F.M.	3774.0	29.7	96.9
13*	F.M.	3231.0	19.2	<50.0
13**	F.M.	1034.0	26.7	99.6
14	7.0	383.0	16.7	65.0
15	10.0	546.0	11.5	<50.0
16	584.0	720.0	15.1	<50.0

F.M.= Fuera de método por interferencia.

TABLA F. Estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos durante la temporada de secas.

	TEMP °C				SAL 0/00				PH			
	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96	28-IV-96	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96	28-IV-96	26-IV-96	27-IV-96	27-IV-96	28-IV-96
SUPERF.	27.56	28.28	28.13	28.13	20.59	15.75	12.41	12.41	8.29	8.25	8.19	8.19
PROM	0.95	0.55	0.59	0.59	4.57	3.93	1.87	1.87	0.44	0.28	0.24	0.24
D.S.	3.4	1.93	2.1	2.1	22.21	24.93	15.05	15.05	5.27	3.35	2.98	2.98
C.V.	30	29	29	29	29.7	21.61	15.37	15.37	9.46	8.78	8.62	8.62
MAX	26	27.5	27	27	14	9.9	9.27	9.27	7.8	7.9	7.82	7.82
MIN	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
n												
FONDO												
PROM	25.22	25.44	25.38	25.38	33.79	32.11	31.59	31.59	8.35	8.16	8.3	8.3
D.S.	0.71	0.98	1.1	1.1	5.46	6.66	7.73	7.73	0.27	0.26	0.37	0.37
C.V.	2.8	3.86	4.35	4.35	16.17	20.73	24.48	24.48	3.21	3.22	4.51	4.51
MAX	27	27.5	28	28	36.26	36.3	36.32	36.32	8.97	8.77	9.08	9.08
MIN	24.5	24.5	24	24	18.47	18.87	14.06	14.06	8.08	7.76	7.94	7.94
n	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
GLOBAL	SUPERF.	FONDO			SUPERF.	FONDO			SUPERF.	FONDO		
PROM	27.99	25.34			16.25	32.5			8.24	8.27		
D.S.	0.77	0.93			4.92	6.61			0.33	0.31		
C.V.	2.75	3.67			30.3	20.33			3.95	3.75		
MAX	30	28			29.7	36.32			9.46	9.08		
MIN	26	24			9.27	14.06			7.8	7.76		
n	48	48			48	48			48	48		

SUPERF. = superficie, PROM=promedio, D.S.=desviación estándar, C.F.= coeficiente de variación, n= # de datos.

CONTINUACION DE LA ESTADISTICA DESCRIPTIVA.									
	OXIGENO DISUELTO			TURBIEDAD			SOLIDOS SUSPENDIDOS		
	ppm			FTU			ppm		
SUPERF.	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96
PROM	5.35	4.83	6.02	2.19	2.94	2.59	54.75	58.31	45.5
D.S.	1.19	1.42	1.75	1.09	1.31	1	16.92	12.73	26.77
C.V.	22.16	29.41	29.04	49.99	44.77	38.69	30.91	21.82	58.83
MAX	7.7	7.7	8.51	5	6	6	92	74	142
MIN	3.32	2.84	2.19	0	1	1	33	40	23
n	16	16	16	16	16	16	16	16	16
FONDO									
PROM	4.27	4.64	6.02	7	10.75	4.69	91.13	84.19	84.13
D.S.	1.62	0.94	1.35	6.21	7.83	2.66	35.64	33.9	28.95
C.V.	37.96	20.31	22.41	88.72	72.81	56.83	39.12	40.26	34.41
MAX	7.13	6.4	7.86	27.5	26	10	200	141	135
MIN	1.95	3.49	3.97	2.5	2.5	2	36	35	38
n	16	16	16	16	16	16	16	16	16
GLOBAL									
	SUP.	FDO.		SUP.	FDO.		SUP.	FDO.	
PROM	5.4	4.97		2.57	7.48		52.85	86.48	
D.S.	1.52	1.51		1.16	6.36		20.04	32.41	
C.V.	28.15	30.37		45.17	83.09		37.91	37.48	
MAX	8.51	7.86		6	27.5		142	200	
MIN	2.19	1.95		0	2		23	35	
n	48	48		48	48		48	48	

CONTINUACION DE LA ESTADISTICA DESCRIPTIVA.						
	SOL. DIS.			SOL. TOT.		
	ppm			ppm		
SUPERF.	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96
PROM	19875.25	20763.5	15874	19930	20821.81	15919.5
D.S.	6365.83	6901.88	4965.15	6375.34	6909.78	4973.54
C.V.	32.03	33.24	31.28	31.99	33.19	31.24
MAX	30152	38728	24948	30223	38793	24984
MIN	4232	9756	8488	4282	9796	8516
n	16	16	16	16	16	16
FONDO						
PROM	31283	26978.75	29962.5	31374.13	27062.94	30046.63
D.S.	9235.89	10120.65	12051.35	9243.31	10130.22	12051.94
C.V.	29.52	37.51	40.22	29.46	37.43	40.11
MAX	37836	42172	48388	37915	42291	48483
MIN	6656	6104	6252	6754	6149	6362
n	16	16	16	16	16	16
GLOBAL						
	SUPERF.	FONDO		SUPERF.	FONDO	
PROM	18837.58	29408.08		18890.44	29494.56	
D.S.	6373.63	10467.84		6383.3	10473.52	
C.V.	33.83	35.6		33.79	35.51	
MAX	38728	48388		38793	48483	
MIN	4232	6104		4282	6149	
n	48	48		48	48	

SUPERF. = superficie, PROM = promedio, D.S. = desviación estándar.

C.F. = coeficiente de variación, n = # de datos.

TABLA G. Resumen estadístico de los nutrientes durante la temporada de secas.

	NITRATOS			FOSFATOS		
	ppb			ppb		
SUPERF.	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96	26-IV-96	27-IV-96	28-IV-96
PROM	135.31	102.22	140.5	80.37	64.61	198.51
D.S.	56.75	40.13	82.26	73.76	30.75	173.29
C.V.	242.71	87.04	58.55	131.79	239.41	87.3
MAX	243.97	217.38	331.49	238.87	151.14	580.88
MIN	53.11	33.98	18.77	5.41	27.71	29.2
n	16	16	16	15	16	14
FONDO						
PROM	78.91	54.65	48.14	55.78	64.61	95.69
D.S.	135.32	38.68	40.83	36.98	43.67	50.62
C.V.	182.08	70.78	84.81	133.44	149.53	52.9
MAX	515.74	155.02	165.17	149.65	179.39	234.41
MIN	12.2	16.38	12.31	18.79	11.36	33.66
n	16	15	15	16	16	14
GLOBAL	SUPERF.	FONDO		SUPERF.	FONDO	
PROM	126.01	60.97		111.52	71	
D.S.	63.21	85.27		120.27	46.02	
C.V.	50.16	139.87		107.84	64.82	
MAX	331.49	515.74		580.88	234.41	
MIN	18.77	12.2		5.41	11.36	
n	48	46		45	46	

SUPERF.= superficie, PROM=promedio, D.S.=desviación estándar,

C.F.= coeficiente de variación, n= # de datos.

TABLA H. Resumen estadístico de contaminantes en el agua del río Pánuco durante la temporada de secas.

	MOE	HIDROC. AROMAT.	Ni	V	DQO	DBO	FENOLES	SAAM
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm
PROM	13763	43.77	<1.0	7.3	330.3	2.98	0.01	0.07
D.S.	14035	110.09		4.5	169.18	4.7	0.01	0.08
C.V.	101.97	251.5		61.49	51.22	157.87	106.84	114.24
MAX	43574	439	<1.0	12	642.96	20.43	0.02	0.26
MIN	75.8	7.1	<1.0	<1.0	101.52	0.85	0	0
n	16	15	16	16	16	16	16	16

M.O.E.= material orgánico extraíble, SUPERF.= superficie, PROM=promedio, D.S.=desviación estándar,

C.F.= coeficiente de variación, n= # de datos.

TABLA I. Resumen estadístico de contaminantes en el sedimento del río Pánuco durante la temporada de secas.

	M.O.E. ppm	H. AROMAT. ppm	NIQUEL ppb	VANADIO ppb
PROMEDIO	2951.1	337.9	24.8	96.2
D.S.	3228.6	389.6	5.9	11
C.V.	109.4	103.1	23.8	11.4
MAX	11529	1342	30.7	109.1
MIN	383	7	11.5	65
n	16	10	16	11

M.O.E. = material orgánico extraíble, H. AROM. = hidrocarburos aromáticos, SUPERF. = superficie, PROM = promedio,

D.S. = desviación estándar, C.F. = coeficiente de variación, n = # de datos.

TABLA J. Resumen estadístico de coliformes fecales y totales en el agua del río Pánuco durante la temporada de secas.

ESTACION	COLIFORMES	
	FECALES (N/100ml)	TOTALES (N/100ml)
1	< 300 000	4 300 000
2		
3		
4		
5	2 100	
6	40	2 300
7		
8	900	21 000
9	4 000	4 000
10		
11		
12	< 300	400
13		
14		
15	< 300	<300

ANEXO III

RESULTADOS NOMINALES OBTENIDOS

DURANTE LA

TEMPORADA DE NORTES.

TABLA K. Resultados nominales de los parámetros fisicoquímicos del agua del rpio Pánuco durante la temporada de nortes.

DIA	EST.	Hr.	PROF.	TEMP.		SAL.		pH		O ₂ S	O ₂ F	T		SOLIDOS					
				m	S °C	F °C	S o/oo	F o/oo	S	F	ppm	ppm	S FTU	F FTU	SUSP. S	SUSP. F	DIS. S	DIS. F	TOT. S
12-XII-96	1	11:12	7.5	25.0	24.0	5.073	16.455	8.0	7.9	8.9	5.92	6.0	1.0	64	116	1222	4085	1286	4201
12-XII-96	2	11:46	7.5	24.0	24.0	6.168	26.041	7.9	8.0	8.5	5.6	6.0	72.5	52	880	1558	6500	1610	7380
12-XII-96	3	12:08	8.5	24.5	24.5	6.026	30.07	7.8	7.9	8.9	6.24	7.5	8.0	60	312	1448	8132	1508	8444
12-XII-96	4	12:31	9.0	25.5	24.0	6.369	18.923	8.1	8.0	9.0	6.4	4.5	7.5	60	136	1592	4900	1652	5036
12-XII-96	5	12:53	9.5	24.5	24.0	7.552	21.94	8.0	8.0	9.0	7.44	5.0	20.0	64	272	1719	4556	1783	4828
12-XII-96	6	13:15	9.0	25.0	25.0	8.74	22.743	8.0	8.0	8.7	6.56	0.0	7.5	52	196	2192	5941	2244	6137
12-XII-96	7	13:31	9.5	25.0	24.0	10.284	28.439	8.1	8.0	8.7	6.16	0.0	7.5	72	196	1625	7929	1697	8125
12-XII-96	8	13:44	10.0	25.0	24.0	10.563	23.196	8.0	7.9	8.8	6.16	5.0	0.0	68	156	2732	6007	2800	6163
12-XII-96	9	13:56	9.8	25.0	25.0	11.488	29.555	7.9	7.8	8.3	4.16	0.0	60.0	84	544	2942	8668	3026	9212
12-XII-96	10	16:17	12.0	24.0	24.0	15.414	31.459	7.9	7.9	8.0	5.84	2.5	150.0	96	780	4151	8472	4247	9252
12-XII-96	11	16:34	14.0	24.5	24.0	15.028	37.499	8.0	8.1	7.4	8.88	5.0	15.0	104	344	3813	10813	3917	11157
12-XII-96	12	17:12	12.0	24.5	24.0	13.928	36.779	8.1	8.1	7.1	8.64	0.0	110.0	84	856	3724	11958	3808	12614
12-XII-96	13	16:56	16.0	24.0	24.0	13.837	31.664	8.0	8.1	7.6	8.24	5.0	0.0	80	252	4320	8690	4400	8942
12-XII-96	14	15:23	N.M.	24.5	24.5	13.725	37.929	7.4	8.1	7.4	8.4	0.0	20.0	92	528	3549	12907	3641	13435
12-XII-96	15	14:53	4.0	24.5	24.5	14.171	37.882	7.9	8.0	7.7	6.9	2.5	5.0	96	256	3570	9200	3666	9456
13-XII-96	1	11:16	7.5	24.5	25.0	5.561	14.759	8.2	8.0	8.8	6.16	6.0	6.0	48	80	1190	3763	1236	3643
13-XII-96	2	11:38	7.5	24.5	24.5	5.222	18.618	8.2	7.9	9.5	5.36	15.0	73.0	220	468	1328	4768	1548	5256
13-XII-96	3	12:29	8.5	25.0	25.0	5.654	31.18	7.9	7.9	8.8	5.8	1.0	15.0	180	68	1402	7992	1562	8060
13-XII-96	4	12:57	9.0	24.5	25.0	7.25	31.064	8.1	7.9	8.6	5.76	5.0	5.5	108	52	1845	5845	1953	5897
13-XII-96	5	13:13	9.5	24.5	25.0	10.196	21.328	8.2	8.1	8.2	7.52	2.5	35.0	144	48	2348	5470	2492	5518
13-XII-96	6	13:52	9.0	24.5	24.5	9.27	21.659	8.1	8	8.7	6.96	1.5	14.5	112	40	2256	5582	2368	5622
13-XII-96	7	14:07	9.5	24.5	24.5	11.076	25.939	8.0	8.1	8.3	6.24	1.5	9.0	320	104	2905	6477	3225	6581
13-XII-96	8	14:50	10.0	24.5	25.0	11.605	23.11	8.1	8.0	8.5	7.44	5.0	7.5	184	84	2975	2310	3159	2394
13-XII-96	9	15:26	9.8	24.5	24.5	12.622	27.733	8.1	8.0	8.4	4.8	2.5	35.0	140	4	3170	7283	3310	7287
13-XII-96	10	16:19	12.0	24.0	24.5	14.00	19.461	8.2	8.0	8.0	6.8	0.0	20.0	232	76	3466	4790	3698	4866
13-XII-96	11	16:32	14.0	24.5	24.5	14.512	24.071	8.0	7.9	8.2	6.88	8.0	8.0	92	404	3711	5911	3803	6315
13-XII-96	12	16:45	12.0	24.5	24.5	15.379	25.314	8.0	7.9	8.4	6.16	6.0	5.0	108	160	3927	6986	4035	7146
14-XII-96	13	12:27	16.0	24.5	24.5	12.643	12.355	8.1	8.0	8.2	7.36	2.5	0.0	72	104	3180	3460	3252	3564
14-XII-96	14	11:36	N.M.	24.0	24.0	13.057	26.09	8.1	8.1	8.2	5.92	7.5	40.0	84	380	3370	7301	3454	7681
14-XII-96	15	11:09	4.0	25.0	24.5	13.907	18.872	8.0	8.1	7.8	6.96	10.0	2.5	136	148	1209	5134	1345	5282

EST= estación. SAL= salinidad. O₂= Oxígeno disuelto. T= turbiedad. SP=suspendidos. DIS=disueltos. TOT=totales. S=superficie. F= fondo.

N.M.= no medido.

TABLA L. Resultados nominales de los nutrientes en el agua del río Pánuco durante la temporada de nortes.

DIA	ESTACION	NITRATOS S		NITRATOS F		FOSFATOS S		FOSFATOS F	
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
12-XII-96	1	368.393	151	35.149	35.149	35.149	35.149		
12-XII-96	2	223.138	59.603	3.922	3.922	3.922	3.922		
12-XII-96	3	61.236	181.683	26.227	26.227	26.227	26.227		
12-XII-96	4	175.48	74.292	23.253	23.253	23.253	23.253		
12-XII-96	5	152.306	36.754	110.986	110.986	110.986	110.986		
12-XII-96	6	120.317	55.687	76.785	76.785	76.785	76.785		
12-XII-96	7	133.047	58.951	42.584	42.584	42.584	42.584		
12-XII-96	8	168.628	64.174	63.402	63.402	63.402	63.402		
12-XII-96	9	138.922	68.743	99.09	99.09	99.09	99.09		
12-XII-96	10	151.326	71.028	78.272	78.272	78.272	78.272		
12-XII-96	11	90.613	31.532	206.154	206.154	206.154	206.154		
12-XII-96	12	133.047	45.241	66.376	66.376	66.376	66.376		
12-XII-96	13	95.183	52.096	9.87	9.87	9.87	9.87		
12-XII-96	14	131.741	27.615	78.272	78.272	78.272	78.272		
12-XII-96	15	98.773	24.351	24.74	24.74	24.74	24.74		
13-XII-96	1	216.6	143.2	9.87	9.87	9.87	9.87		
13-XII-96	2	202.0	35.4	24.74	24.74	24.74	24.74		
13-XII-96	3	178.9	11.6	0.948	0.948	0.948	0.948		
13-XII-96	4	190.8	41.4	47.045	47.045	47.045	47.045		
13-XII-96	5	437.3	422.9	76.785	76.785	76.785	76.785		
13-XII-96	6	99.8	105.0	3.922	3.922	3.922	3.922		
13-XII-96	7	136.0	146.4	17.305	17.305	17.305	17.305		
13-XII-96	8	120.6	294	18.792	18.792	18.792	18.792		
13-XII-96	9	152.3	94.5	387.568	387.568	387.568	387.568		
13-XII-96	10	145.1	100.7	5.409	5.409	5.409	5.409		
13-XII-96	11	107.9	77.6	33.662	33.662	33.662	33.662		
13-XII-96	12	105.0	79.5	17.305	17.305	17.305	17.305		
14-XII-96	13	133.4	123.3	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.		
14-XII-96	14	127.2	85.4	32.175	32.175	32.175	32.175		
14-XII-96	15	120.6	82.5	63.402	63.402	63.402	63.402		

S= superficie. F= fondo. N.M.= No medido.

TABLA M. Resultados nominales de los contaminantes presentes en el agua durante la temporada de nortes.

EST.	HIDROCARBUROS AROMATICOS		MATERIAL ORG. EXTAIBLE		Ni ppb	V ppb	DQO ppm	DBO ppm	FENOLES		SAAM ppm
	ppb	ppb	ppb	ppb					ppm	ppm	
1	14.9		408		29	<1.0	154.08	8.44	0.15		0.50
2	11.8		113		20	<1.0	102.72	7.39	0.22		0.23
3	18.9		667.4		9	<1.0	68.48	5.49	0.01		0.21
4	16.3		67.3		7	<1.0	N.M.	7.49	0.03		0.14
5	50.1		102.5		21	<1.0	102.72	7.27	0.14		0.14
6	13.0		390		8	<1.0	102.72	8.23	0.16		0.13
7	14.5		304.5		7	<1.0	N.M.	7.92	0.02		0.12
8	10.4		341.3		28	<1.0	N.M.	8.33	0.01		0.11
9	25.1		785.8		13	<1.0	119.84	4.11	0.21		0.10
10	12.5		248.7		<1.0	<1.0	291.04	6.96	0.00		0.14
11	21.1		436.3		5	<1.0	133.92	N.D.	0.00		0.14
12	9.3		137.8		9	<1.0	N.M.	N.D.	0.13		0.17
13	16.1		171.9		18	<1.0	N.M.	N.D.	0.16		0.12
14	16.0		359.3		9	<1.0	119.04	7.64	0.00		0.14
15	966.7		868.2		8	<1.0	178.56	7.8	0.11		0.12

NM= no medido. ND= no determinado.

TABLA N. Granulometría e índice de fineza durante la temporada de nortes.

ZONA ALTA					
GRANO	EST. 1	EST. 2	EST. 3	EST. 4	EST. 5
Arena muy gruesa	0	0	0	0	0
Arena gruesa	0	0	0	0.097	0
Arena mediana	10.26	2.427	0.777	1.953	2.553
Arena Fina	13.677	6.85	1.797	4.707	5.63
Arena muy fina	2.21	2.073	6.713	12.347	6.55
Limo grueso	0.933	2.133	2.667	3.067	3.467
Limo mediano	6.267	6.667	8.4	11.467	7.867
Limo fino	15.6	23.6	26.533	11.333	22.4
Limo muy fino	39.067	43.467	40.8	40.667	40
Arcillas	9.33	7.2	5.06	11.07	5.6
Indice de fineza	10.57	13.48	14.78	11.11	13.63
ZONA MEDIA					
GRANO	EST. 6	EST. 7	EST. 8	EST. 9	EST. 10
Arena muy gruesa	0	0	0	0	0
Arena gruesa	0	0	0.267	0.67	0
Arena mediana	0.553	0.54	0.563	4.333	0
Arena Fina	1.1	1.623	1.063	5.35	0.5
Arena muy fina	2.85	5.807	3.923	13.65	7.4
Limo grueso	2.933	2	3.333	6.8	7.73
Limo mediano	9.067	12.533	15.867	12.4	10.86
Limo fino	30.133	63.2	63.467	23.467	39.33
Limo muy fino	42.933	2.933	2.4	22.667	15.63
Arcillas	6.26	4.66	4.66	6.8	7.1
Indice de fineza	15.13	12.16	15.71	11.7	13.8
ZONA BAJA					
GRANO	EST. 11	EST. 12	EST. 13	EST. 14	EST. 15
Arena muy gruesa	0	0	0	0	0
Arena gruesa	1.6	0	0	1.27	0
Arena mediana	3.04	0.47	2.6	2.07	1.5
Arena Fina	6.29	2.37	9.7	0.76	10.03
Arena muy fina	16.18	9.43	13.62	11.3	14.47
Limo grueso	7.57	7.88	15.64	15.77	3.88
Limo mediano	14.38	15.29	8.61	11.83	11.85
Limo fino	18.64	14.3	11.54	13.86	14.72
Limo muy fino	19.78	12.93	19.96	22.8	18.5
Arcillas	6.93	11.16	10.38	14.45	21.373
Indice de fineza	11.02	10.39	9.9	10.45	7.74

TABLA N°. Resultados nominales de los contaminantes en el sedimento del río Pánuco durante la temporada de nortes.

EST.	HIDROCARBUROS		MATERIAL ORG. EXTRAIBLE ppm	NIQUEL		VANADIO ppm
	AROMATICOS ppm			ppm		
1	38.6		784.4	23.4		<25.0
2	1.34		711.8	25.2		<25.0
3	92.3		1071.3	20.0		<25.0
4	112.2		1164.1	26.2		<25.0
5	185.8		1084.7	25.5		<25.0
6	142.8		985.6	22.3		<25.0
7	356.0		1640.7	27.9		<25.0
8	267.5		1190.3	29.4		<25.0
9	217.2		975.7	20.2		<25.0
10	339.6		1327.6	27.2		<25.0
11	319.7		932.8	24.2		<25.0
12	804.9		2340.6	23.9		<25.0
13	282		949.2	22.5		<25.0
14	155.6		1299.7	26.4		<25.0
15	136.1		1054.2	20.7		<25.0

TABLA O. Estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos durante la temporada de nortes.

	TEMPERATURA °C		SALINIDAD 0/00		pH		O ₂ DISUELTO ppm	
	12-XII-96	13-XII-96	12-XII-96	13-XII-96	12-XII-96	13-XII-96	12-XII-96	13-XII-96
SUPERF.								
PROM	25.24	25.03	10.56	9.89	7.96	8.01	6.52	6.33
D.S.	1.58	2.58	3.68	4.13	0.19	0.41	3.51	3.76
C.V.	6.3	10.32	34.85	41.76	2.39	5.1	53.8	59.48
MAX	29	32	15.41	15.38	8.34	8.8	8.96	9.52
MIN	24	21	5.07	3.04	7.38	7.1	0	0
n	19	20	15	17	19	20	19	20
FONDO								
PROM	24.23	24.63	28.71	22.77	7.98	7.99	6.31	6.39
D.S.	0.37	0.3	7.05	5.43	0.09	0.07	2.19	0.82
C.V.	1.53	1.2	24.55	23.86	1.08	0.94	34.63	12.77
MAX	25	25	37.93	31.18	8.08	8.12	8.88	7.52
MIN	24	24	16.46	12.36	7.78	7.87	0	4.8
n	15	15	15	15	15	15	15	15
GLOBAL	SUPERF.	FONDO	SUPERF.	FONDO	SUPERF.	FONDO	SUPERF.	FONDO
PROM	25.24	24.43	10.2	25.74	8.01	7.98	6.42	6.35
D.S.	2.05	0.39	3.88	6.88	0.29	0.08	3.6	1.62
C.V.	8.11	1.59	38	26.73	3.58	1	55.98	25.52
MAX	32	25	15.41	37.93	8.8	8.12	9.52	8.88
MIN	21	24	3.04	12.36	7.1	7.78	0	0
n	38	30	32	30	38	30	39	30
	TURBIEDAD FTU		SOLID.SUSPENDIDOS ppm		SOLID.DISUELTOS ppm		SOLID. TOTALES ppm	
SUPERF.								
PROM	3.27	5.38	75.2	145.33	2677.13	2552.13	2752.33	2697.47
D.S.	2.69	3.99	16.92	71.6	1108.62	960.9	1122.73	963.19
C.V.	82.2	74.21	22.5	49.26	41.41	37.65	40.79	35.71
MAX	7.5	15	104	320	4320	3927	4400	4035
MIN	0	0	52	48	1222	1190	1286	1238
n	15	17	15	15	15	15	15	15
FONDO								
PROM	32.27	18.4	388.27	149.33	7917.2	5538.13	8305.47	5687.47
D.S.	45.61	19.7	264.69	149.01	2637.94	1572.03	2778.06	1588.83
C.V.	141.35	107.08	68.17	99.79	33.32	28.39	33.45	27.94
MAX	150	73	880	488	12907	7992	13435	8060
MIN	0	0	116	4	4085	2310	4201	2394
n	15	15	15	15	15	15	15	15
GLOBAL	SUPERF.	FONDO	SUPERF.	FONDO	SUPERF.	FONDO	SUPERF.	FONDO
PROM	4.1	25.33	110.27	268.8	2614.63	6727.67	2724.9	6996.47
D.S.	3.47	35.23	62.33	243.53	1021.33	2452.79	1028.19	2591.71
C.V.	84.51	139.08	56.53	90.6	39.06	36.46	37.73	37.04
MAX	15	150	320	880	4320	12907	4400	13435
MIN	0	0	48	4	1190	2310	1238	2394
n	30	30	30	30	30	30	30	30

SUPERF.= superficie, PROM=promedio, D.S.=desviación estándar, C.F.= coeficiente de variación, n= # de datos.

TABLA P. Resumen estadístico de los nutrientes durante la temporada de nortes.

	NITRATOS		FOSFATOS	
	ppb		ppb	
SUPERF.	12-XII-96	13-XII-96	12-XII-96	13-XII-96
PROM	127.45	146.21	63.01	52.78
D.S.	79.18	83	51.18	98.92
C.V.	62.13	56.77	81.23	187.42
MAX	368.39	437.27	206.15	387.57
MIN	16.19	25	3.92	0.95
n	19	20	15	14
FONDO				
PROM	66.85	122.89	54.68	42.78
D.S.	43.73	105.39	47.72	35.77
C.V.	65.42	85.76	87.27	83.6
MAX	181.68	422.9	192.77	145.19
MIN	24.35	11.63	3.92	0.95
n	15	15	15	15
GLOBAL	SUPERF.	FONDO	SUPERF.	FONDO
PROM	137.07	94.87	58.07	48.73
D.S.	80.65	84.25	76.68	41.87
C.V.	58.84	88.8	132.05	85.93
MAX	437.27	422.9	387.57	192.77
MIN	16.19	11.63	0.95	0.95
n	39	30	29	30

SUPERF.= superficie, PROM=promedio, D.S.=desviación estándar,

C.F.= coeficiente de variación, n= # de datos.

TABLA Q. Resumen estadístico de los contaminantes en el agua del río Pánuco durante la temporada de nortes.

	M.O.E.	H. AROMAT.	NIQUEL	VANADIO	DQO	DBO	FENOLES	SAAM
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm
PROMEDIO	35686.19	8948.7	38	33.5	137.3	7.3	0.2	0.3
D.S.	88802.18	21595.88	52.74	9.48	62	1.26	0.65	0.4
C.V.	248.84	241.3296453	138.8830815	28.28427125	45.15079654	17.41562629	286.6080431	114.1836346
MAX	306825	72949.3	190	40.2	291.04	8.44	2.99	1.38
MIN	67.3	9.3	5	26.8	68.48	4.11	0	0.1
n	20	20	18	2	10	12	20	20

M.O.E.= material orgánico extraíble, SUPERF.= superficie, PROM=promedio, D.S.=desviación estándar,

C.F.= coeficiente de variación, n= # de datos.

TABLA R: Resumen estadístico de contaminantes en el sedimento del río Pánuco durante la temporada de nortes.

	M.O.E. ppb	H. AROMAT. ppb	NIQUEL ppb	VANADIO ppb
PROM	1167.51	230.11	24.33	25
D.S.	396.386463	192.053881	2.85	0
C.V.	33.9513436	83.4620128	11.73	0
MAX	2340.6	804.9	29.4	25
MIN	711.8	1.34	20	25
n	15	15	15	15

M.O.E. = material orgánico extraíble, H. AROM. = hidrocarburos aromáticos, SUPERF. = superficie, PROM = promedio, D.S. = desviación estándar, C.V. = coeficiente de variación, n = # de datos.

TABLA S: Resumen estadístico de coliformes fecales y totales en el agua del río Pánuco durante la temporada de nortes.

ESTACION	COLIFORMES	
	FECALES (N/100ml)	TOTALES (N/100ml)
1	<300	4000
2	<300	4000
3	<300	4000
4	<300	240000
5	43000	2400000
6	<300	240000
7	23000	93000
8	93000	240000
9	1100000	1100000
10	240000	1100000
11	9000	23000
12	<300	93000
13	11000	75000
14	4000	43000
15	150000	460000
16	23000	43000

ANEXO IV

**ESQUEMAS Y DIAGNOSIS DE LOS
TAXA IDENTIFICADOS.**

DIAGNOSIS DE LOS POLIQUETOS IDENTIFICADOS

A continuación se presenta la diagnosis de los taxa identificadas dentro del Phylum Annelida, clase Polychaeta, así como también el habitat registrado y su distribución previa, donde P= profundidad (m), T= temperatura (°C), S= salinidad (o/oo), OD= oxígeno disuelto (mg/l), MO= materia orgánica (%).

Además se describen los parámetros fisicoquímicos por temporada bajo los cuales se encontraron estos organismos durante el presente estudio, ya que es el primero que describe a la fauna poliquetológica encontrada sobre el estuario del río Pánuco. Se señalan las características a nivel superficial (s) y de fondo (f), y se añaden los parámetros de oxígeno disuelto (OD en ppm) y material orgánico extraíble en sedimento (MOE en ppm).

Orden: Capittelida

Familia: Capitellidae

Especie: **Capitella capitata** (Fabricius, 1780): Cuerpo cilíndrico, ensanchado anteriormente, posteriormente atenuado con 60 setígeros. Prostomio subtriangular, corto, distalmente redondeado. Peristomio con setígero birrámeo con las notosetas mayores que las neurosetas. Tórax con 9 setígeros, los primeros 7 con setas capilares en ambas ramas parapodiales, notosetas de los setígeros 8 y 9 modificadas como 4 gruesas espinas genitales curvas, las neurosetas son ganchos cubiertos de manubrio largo. Aparentemente el primer segmento (es realmente el segundo porque el peristomio se fusiona con el peristomio) con setas capilares en los primeros 7 setígeros. Abdomen con parapodios bajos, con protuberancias redondeadas. Cada gancho cubierto distalmente con un diente principal y dos hileras de denticulos accesorios, la más inferior con dos y la superior con uno. Pigidio ensanchado, como collar redondeado con ano terminal (Figura 43.1-1). La diagnosis concuerda con Smith, 1964.

HABITAT REGISTRADO: En sustrato fangoso o fangoso-arenoso variablemente enriquecido con materia orgánica, contaminado o defaunado (Smith, 1964, Fauchald, 1977, Salazar-Vallejo, 1981).

DISTRIBUCION PREVIA: Cosmopolita, en estuarios, bahías en fondos de poca profundidad (Salazar-Vallejo, 1981).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio únicamente en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 4-12, Ts=26-30, Tf= 17.3-29.7, Ss= 17.3-29.7, Sf= 32.5-36.3, O_{2s}= 1.94-5.3, O_{2f}= 1.94-5.3, MOE= 122-43, 574.

Orden: Cossurida

Familia: Cossuridae

Especie: **Cossura brunnea** Fauchald, 1972: Prostomio cónico, redondeado. Presenta 2 segmentos peristomiales. El tentáculo se inserta sobre el tercer setífero (Figura 43.1-2). Las setas son de 4 clases, dos tipos presentes en setíferos anteriores: setas gruesas con el margen aserrado y setas delgadas muy largas, y dos tipos en setíferos medios y posteriores. Setas gruesas y cortas con pelillos finos en el margen, y setas delgadas largas, limbadas. La diagnosis concuerda con Hernández-Alcántara, 1992.

HABITAT REGISTRADO: En talud continental y profundidades abisales (Fauchald, 1972). Sedimentos areno-lodosos, lodo-arenosos a lodosos, P=40-209, T=18-31, MO=0.39-2.61.

DISTRIBUCION PREVIA: Talud de la Trinchera de América Central, desde la Bahía de Zihuatanejo a Cabo Falso, Cuenca de Guaymas en el Golfo de California (Fauchald, 1972), plataforma de Sonora, norte de Sinaloa (Hernández-Alcántara, 1992), en la Plataforma Continental del Golfo de Tehuantepec (González-Ortiz, 1994).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 4-12, Ts= 26-28, Tf= 25, Ss= 15.5-24.5, Sf= 32-36.1, O_{2s}= 3.3-7.6, O_{2f}= 1.9-7.0, MOE= 122-36, 775. En la época de nortes a una P= 7.5-12, Ts= 24-25, Tf= 24-25, Ss= 5-14.2, Sf= 16-37.7, O_{2s}= 7.4-8.9, O_{2f}= 5.6-8.4, MOE= 113-868.

Orden: Ctenodrilida

Familia: Ctenodrilidae

Especie: **Ctenodrilus sp.** Claparède, 1863: Cuerpo corto y con máximo 15 segmentos. Setas delgadas, marginales, robustas y dentadas o lisas. Posee cirros dorsales impares y carece de branquias (Figura 43.2-13). La diagnosis concuerda con Fauchald, 1977.

HABITAT REGISTRADO: Arena fina (Fauchald, 1977).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: Sur de California (Fauchald, 1977).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio únicamente se registró en la temporada de nortes bajo las siguientes condiciones: P= 4-7.5, Ts= 24-24.5, Tf= 24-24.5, Ss= 6.2-14.2, Sf= 26-37.8, O_{2s}= 7.7-8.5, O_{2f}= 5.6-7.0, MOE= 113-868.

Orden: Eunicida

Superfamilia: Eunicea

Familia: Onuphidae

Especie: *Diopatra ornata* Moore, 1911: Branquias presentes a partir del cuarto o quinto setífero y se continúan alrededor de 80 segmentos, las primeras branquias son más grandes (Figura 43.2-8). Del primero hasta aproximadamente alrededor del setífero 20, se presentan ganchos cubiertos bidentados y setas limbadas. Después del setífero 21 aparecen ganchos subaciculares. Setas pectinadas rectas con numerosos dientecillos. Maxilas III y IV multidentadas. La diagnosis concuerda con González-Ortiz, 1994.

HABITAT REGISTRADO: Intermareal hasta profundidades de menos de 90 m (Fauchald, 1968). En substratos con tamaños mezclados (Hartman, 1968). En sedimentos arenosos, lodo-arenosos, P=20-100m, T=20-31, MO=0.20-2.21 (González-Ortiz, 1994).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: Desde Vancouver, Canadá hasta la Bahía de Chacahua, Oaxaca (Fauchald, 1968). En el Golfo de California (Berkeley y Berkeley, 1939; Rioja, 1941; Hartman, 1944; Fauchald, 1968; Van der Heiden y Hendrickx, 1982; Arias-González, 1984; Sarti-Martínez, 1984; Lezcano-Bustamante, 1989; en Jalisco (Berkeley y Berkeley, 1939; Fauchald, 1968), en Oaxaca (Fauchald, 1968), Plataforma intermedia y media entre la Ensenada del Morro de Ayuta, río de Tehuantepec y la Laguna del Mar Muerto (González-Ortiz, 1994).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 8-12, Ts= 26-27, Tf= 24.5-25, Ss= 22.9-29.7, Sf= 36-36.3, O_{2s}= 4.1.3-4.9, O_{2f}= 1.9-4.2, MOE= 122-43, 574. En la temporada de nortes: P= 4, Ts= 24.5, Tf= 24.5, Ss= 14.17, Sf= 37.8, O_{2s}= 7.7, O_{2f}= 6.96, MOE= 868.

Orden: Phyllodocida

Suborden: Glyceriformia

Familia: Glyceridae

Especie: *Glycera convoluta* Keferstein, 1862: Prostomio punteado, con 14 a 16 anillos y cuatro pequeñas antenas frontales (Figura 43.1-3). Proboscis cubierta con dos clases de papilas, las más numerosas están enfundadas en una membrana y las restantes son largas y ovales. Los parapodios tienen dos lóbulos cónicos pre-setales y sub-iguales, y dos lóbulos postsetales, en adición a una branquia superior, larga y digitiforme. Las branquias se presentan a partir de los segmentos 20 ó 25 y se continúan hasta cerca del final del cuerpo. Parapodios posteriores delgados, con lóbulos pre y post-setales más largos. Las setas superiores son capilares delgados y las inferiores constituyen espiníferos compuestos. La diagnosis concuerda con Hernández-Alcántara, 1992.

HABITAT REGISTRADO: Zonas intermareales y profundidades de 40 m, en sedimentos arenosos (Hartman, 1968). En substratos de arena fina y media, y arena limosa, P=28.6-71.9, T=14.5-17.2, S=34.92-35.51, MO=2.4-5.5, OD=1.03-5.40 (Hernández-Alcántara, 1992).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: Sur de Europa, del centro de California al oeste de México (Hartman, 1968). En el Pacífico mexicano frente a las costas de Baja California (Hartman, 1950), Sonora (Sarti-Martínez, 1984) y Sinaloa (Salazar-Vallejo, 1981; Van der Heiden y Hendrickx, 1982; Arias-González, 1984; Padilla-Galicia, 1984). Al norte del Alto Golfo de California, frente a Punta Arboleda, Sonora, frente a la Bahía Santa Inés, Baja California Sur y en Punta Mita, Nayarit (Hernández-Alcántara, 1992).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio sólo se registró en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 7, Ts= 27.5, Tf= 25, Ss= 17.9, Sf= 35.8, O_{2s}= 7.6, O_{2f}= 7.1, MOE= 151.

Orden: Phyllodocida

Suborden: Nereidiformia

Familia: Hesionidae

Especie: *Gyptis brevipalpa* (Hartmann-Schröder, 1959): Prostomio pentagonal o cuadrangular, con dos pares de ojos en forma de cacahuete. Antenas laterales digitiformes y antena media pequeña. Cirros tentaculares dorsales largos, los ventrales son más cortos que el ancho del cuerpo. Parapodios sub-birrámicos anteriormente, birrámicos con pequeños lóbulos notopodiales a partir del quinto setífero, neuropodios con lóbulos presetales cortos y cónicos y lóbulos postsetales redondeados. Neurosetas compuestas, bidentadas, con el margen ligeramente aserrado. Cirros ventrales cortos, usualmente más cortos que el lóbulo neuropodial (Figura 43.1-4). La diagnosis concuerda con Hernández-Alcántara, 1992.

HABITAT REGISTRADO: En profundidades de 10-189 m, en sedimentos arenosos, limosos y arcillosos (Uebelacker, 1984). En substratos de arena fina, P=22-72, T=14.5-15, S=35.45-35.46, MO=3.9-6.9, OD=3.09-3.17 (Hernández-Alcántara, 1992). En lodo y lodo arenoso, P=17-33, T=28, S=36.94, MO=0.59 (Granados-Barba, 1994).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: Centroamérica, Washington, California y de Virginia a Florida U.S.A. (Hartmann, 1959), norte del Golfo de México (Uebelacker, 1984), Golfo de California (Van der Heiden y Hendrickx, 1982; Hernández-Alcántara, 1992), Campeche (Granados-Barba, 1994).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio sólo en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 4, Ts= 28, Tf= 25, Ss= 17.9, Sf= 35.8, O_{2s}= 7.6, O_{2f}= 7.1, MOE= 8, 688.

Orden: Eunicida

Familia: Lumbrineridae

Género: *Lumbrinerides* sp. Orenzanz, 1973: Prostomio largo, aguzado, sin papilas nucales (Figura 43.1-5). Maxila IV con espinas articuladas o dentadas. Mandíbulas posteriores bífidas. Maxilas robustas y subtriangulares. Ganchos cubiertos bidentados. La diagnosis concuerda con Fauchald, 1977.

HABITAT REGISTRADO: Arena fina, arena lodosa (Fauchald, 1977).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: Sur de California (Fauchald, 1977). En México se ha encontrado en Baja California Sur (Salazar-Vallejo et. al., 1987).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 7, Ts= 26, Tf= 25, Ss= 27.6, Sf= 36.1, O₂s= 3.3, O₂f= 2.3, MOE= 36, 775. En la temporada de nortes bajo las siguientes condiciones: P= 4, Ts= 24.5, Tf= 24.5, Ss= 14.1, Sf= 37.8, O₂s= 7.7, O₂f= 6.9, MOE= 868.

Orden: Eunicida

Familia: Lumbrineridae

Especie: *Lumbrineris januaris* (Grube, 1878): Prostomio ligeramente redondeado. Parapodios bien desarrollados, con lóbulos presetales cortos, los lóbulos postsetales son moderadamente largos y auriculares o digitiformes en setígeros anteriores, gradualmente se hacen más cortos en las regiones media y posterior del cuerpo (Figura 43.1-6). Los primeros 11 a 23 setígeros presentan setas limbadas simples y compuestas, existen también ganchos compuestos, multidentados, cubiertos, que reemplazan a las setas limbadas compuestas, alrededor de los setígeros 12-23. Los ganchos cubiertos simples gradualmente reemplazan a ganchos compuestos alrededor de los setígeros 19-29. En los setígeros 30-35 no se presentan setas limbadas. Fórmula maxilar: maxila I, unidentada y curvada, maxila II, con 5-6 dientes, maxila III, con dos dientes, maxila IV unidentada. La diagnosis concuerda con Hernández-Alcántara, 1992.

HABITAT REGISTRADO: En profundidades de 10-14 m y 82-168 m, en sedimentos de arena media, fina, arcillosa, y limosa, en arcilla arenosa y limosa (Uebelacker, 1984), arena limosa, P=28.6, T=16.8, S=35.19, MO= 3.6, OD= 5.4 (Hernández-Alcántara, 1992), lodo, lodo arenoso, arena lodosa, arena y grava, P= 16.5-69, T=24-27.8, S= 35.44-36.5, MO=0.06-1.45 (Grandos-Barba, 1991), lodo arenoso y arena lodosa, arena y grava P=16.5-69, T=26, S=35.3-37, MO=0.22-1.05, OD=3.9-4.32 (Rodríguez-Villanueva, 1993, Miranda-Vázquez, 1993), lodo, P=34, T=25, S=36.22, MO=1.51 (Granados-Barba, 1994).

DISTRIBUCION PREVIA: Trinidad y Tobago, Río de Janeiro, Brasil (Hartman, 1944), de Carolina del Norte a Florida (Gardiner, 1976), norte del Golfo de México (Uebelacker, 1984), en el Pacífico mexicano frente a las costas de Sonora

(Sartini-Martínez, 1984), frente a la desembocadura del río el Fuerte, Sinaloa (Hernández-Alcántara, 1992), Tabasco y Campeche (Granados-Barba, 1991). En la costa de Tamaulipas y Veracruz (Rodríguez-Villanueva, 1993), Campeche, Yucatán (Miranda-Vázquez, 1993) y Campeche (Granados-Barba, 1994).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio sólo en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 7-12, Ts= 26-27.5, Tf= 24.5-25, Ss= 17.9-29.7, Sf= 35.8-36.3, O_{2s}= 4.1-7.6, O_{2f}= 1.9-7.1, MOE= 122-43, 574.

Orden: Eunicida

Familia: Eunicidae

Especie: *Lysidice ninetta* Audouin & Milne-Edwards, 1833: Con tres antenas occipitales, sin branquias ni cirros tentaculares (Figura 43.2-14). Prostomio con palpos fusionados, hendidos distalmente, con un par de ojos colocados a un lado de las antenas laterales externas. Presenta cirros dorsales digitiformes y acículas negras. Las setas aciculares bidentadas cubiertas aparecen alrededor del setífero 20. Falcíferos compuestos, bidentados, cubiertos y aserrados en su margen interno. La diagnosis concuerda con Hernández-Alcántara, 1992.

HABITAT REGISTRADO: 15-82 m, en arena fina a gruesa y áreas rocosas intermareales (Gathof, 1984), fondos duros entre algas y fanerógamas (San Martín y Major, 1988), arena fina, P=30-52, T=19-22, S=35.1-35.5, MO=4.2, OD=3.62-5.29 (Hernández-Alcántara, 1992), lodo, arena, arena con grava y fragmentos de concha, P=37-46, T=26.5-28, S=36.4-36.8, MO=0.2-0.8, OD=3.4-4.2 (Miranda-Vázquez, 1993), arena lodosa, arena con grava y arena, P=24-42, T=26-30, S=34.4-37.3, MO=0.4-0.9 (Rodríguez-Villanueva, 1993). Bajo profundidades de 0.3-11.4, T=24-29, S=35.21-36.48, OD=4.37-6.30 (Ochoa, 1996).

DISTRIBUCION PREVIA: Cosmopolita en aguas tropicales (Hartman, 1944), Guerrero (Rioja, 1941), Oeste de México (Fauchald, 1970), Baja California Sur (Rioja, 1959; Fauchald, 1970; Salazar-Vallejo, 1985), Golfo de California (Hernández-Alcántara, 1992), Laguna de Tamiahua, Veracruz (Nava-Montes, 1989), Cuba (San Martín y Major, 1988 como *L. collaris*), Campeche y Yucatán (Miranda-Vázquez, 1993; Rodríguez-Villanueva, 1993), en arrecifes del Sur del Golfo de México (Ochoa, 1996).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio únicamente se registró en la temporada de nortes bajo las siguientes condiciones: P= 9, Ts= 24.5-25, Tf= 24.5-25, Ss= 8.7-13.7, Sf= 22.7-37.9, O_{2s}= 7.4-8.7, O_{2f}= 6.5-8.4, MOE= 359-390.

Familia: Nereidae
 Orden: Phyllodocida
 Suborden: Nereidiformia
 Familia: Nereidae

Especie: ***Nereis pelagica*** Linnaeus, 1758: Prostomio con forma de corazón, con 4 ojos posteriores en arreglo rectangular. Proboscis con un par de maxilas oscuras y paragnatos arreglados como sigue: área I, 1 ó 2, área II, con numerosos conos y varias hileras, área III, más de 15 formando un grupo compacto, área IV, 4 en arreglo romboidal, áreas VII y VIII, varias hileras con paragnatos de varios tamaños. Parapodios anteriores con cirros dorsales largos, lóbulos notopodiales y neuropodiales cónicos y truncados, cirros ventrales tan largos como los lóbulos setales (Figura 43.1-7). Los lóbulos notopodiales se hacen más cónicos en setígeros posteriores y los cirros ventrales más cortos que estos. En setígeros medios y posteriores, la parte distal de las setas presentan varios dientes gruesos en la base, aunque en la región posterior del cuerpo pueden ser lisos. La diagnosis concuerda con González-Ortiz, 1994.

HABITAT REGISTRADO: En la Plataforma Continental, en sedimentos finos a gruesos (Taylor, 1984). En Plataforma Continental del Golfo de California en substratos de arena fina y limosa, P=29.9-100.0, T=13.2-16.4, S=34.99-35.54, MO=3.0-5.7, OD=0.83-5.11 (Hernández-Alcántara, 1992). En arena con grava, P=45, T=28, S=36.7, OD=3.48, MO=0.29 (Miranda-Vázquez, 1993). Bajo una P=9, T=28, S=35.93 y OD=5.05 (Ochoa, 1996).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: Cosmopolita (Taylor, 1984), en el Pacífico mexicano frente a las costas de Baja California (Rioja, 1962; Padilla-Galicia, 1984), en el sur del río El Fuerte, Sinaloa y en Punta Mita, Nayarit (Hernández-Alcántara, 1992). Arrecifes del sur del Golfo de México (Ochoa, 1996).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 8-12, Ts= 26-30, Tf= 24.5-25, Ss= 17.6-29.7, Sf= 35.8-36.3, O₂s= 4.1-5.5, O₂f= 1.9-3.6, MOE= 124-43, 574. Durante la época de nortes a una P= 4, Ts= 24.5, Tf= 24.5, Ss= 14.1, Sf= 37.8, O₂s= 7.7, O₂f= 6.9, MOE= 868.

Orden: Phyllodocida
 Suborden: Nereidiformia
 Familia: Pilargidae

Especie: ***Parandalia ocularis*** Emerson & Fauchald, 1971: Cuerpo y prostomio cilíndrico (Figura 43.2-9), con un par de palpos biarticulados, el palpostilo parece un pezón. Un par de ojos subcutáneos conspicuos, situados en la superficie dorsal, entre el segundo y tercer setígeros. Los primeros 6 setígeros son más gruesos y con el epitelio superficial areolado, los parapodios de esta región son pequeños e incrementan su tamaño en el sexto setígero, que es de un tamaño similar al de los restantes parapodios.

Primeros dos setígeros unirrámeos, el primero en posición notopodial. Los primeros notopodios (setígeros 3-5) están reducidos, con una o dos setas simples pequeñas, los notopodios están más desarrollados a partir de los setígeros 9-10, donde también aparecen las acículas notopodiales muy expuestas. Todas las neurosetas tienen la parte basal cilíndrica, y en la parte distal muchas hileras transversales de pequeños dientes. La diagnosis concuerda con Hernández-Alcántara, 1992.

HABITAT REGISTRADO: Profundidades de 40-50 m, en substrato arcillo limoso (Emerson y Fauchald, 1971). Sedimentos de arena fina, P=76.0-104.1, T=15.3, S=34.99-35.24, MO=4.8, OD=0.76-2.97 (Hernández-Alcántara, 1992).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: California (Emerson y Fauchald, 1971), en el Pacífico mexicano sólo frente a las costas de Sonora (Salazar-Vallejo, 1981; Van der Heiden y Hendrickx, 1982; Arias-González, 1984 y Padilla-Galicia, 1984), en Punta Mita, Nayarit y al norte de Santa Rosalía, Baja California Sur (Hernández-Alcántara, 1992).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio en la temporada de secas bajo las siguientes condiciones: P= 5, Ts= 27.5, Tf= 27, Ss= 15.5, Sf= 18.5, O_{2s}= 7.7, O_{2f}= 7.2, MOE= 173. Durante la época de nortes: P= 4-9, Ts= 24-25, Tf= 24-25, Ss= 6.1-14.2, Sf= 22.7-37.8, O_{2s}= 7.7-8.7, O_{2f}= 5.6-6.9, MOE= 113-868.

Orden: Phyllodocida

Suborden: Nereidiformia

Familia: Pilargidae

Especie: *Parapronospio pinnata* (Ehlers, 1901): Prostomio largo y delgado, más ancho a nivel de los ojos. Sin carúnculo. Palpos con un velo basal conspicuo. Prostomio fusionado con el primer segmento formando una ala lateral grande alrededor del prostomio. Primer setígero y lóbulos parapodiales bien desarrollados. Lamelas notopodiales foliosas, más grandes en los setígeros 1-5, más pequeñas en los setígeros subsecuentes. Sin bolsas interparapodiales o interramales. Tres pares de branquias a partir del primer setígero (Figura 43.2-11). Todas las setas anteriores son capilares. Ganchos cubiertos en los neuropodios a partir del setígero 9 y en los notopodios a partir del setígero 20, los ganchos tienen cuatro diente-cillos sobre el diente principal. Setas ventrales a manera de sable a partir del setígero 9. La diagnosis concuerda con Granados-Barba, 1994.

HABITAT REGISTRADO: Desde menos de 3 m de profundidad hasta 1300 m en sedimentos lodosos, lodo arcillosos y lodosos (Foster, 1969, 1971, Light, 1978). En substratos de arena fina, media y limosa, y lodosos, P=22.2-120.0, T=12.7-17.5, S=34.92-35.54, MO=1.5-7.2, OD=0.54-5.40 (Hernández-Alcántara, 1992). De 12-150 m en lodo, lodo arenoso, arena lodosa y arena, P=15.5-145, T=16-31,

S=29.42-37.3, MO=0.11-2.31, OD=1.27-4.32 (Rodríguez-Villanueva, 1993; Miranda-Vázquez, 1993). En lodo y lodo arenoso, P=16-150, T=20-28, S=35.91-36.95, MO=0.68-1.66 (Granados-Barba, 1994).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: Cosmopolita, en aguas tropicales y templadas (Light, 1978). En el Pacífico mexicano frente a las costas de Baja California como *Prionospio (Parapronospio) pinnata* (Hartman, 1963; Fauchald, 1972; Reish, 1968; Lizárraga-Partida, 1973). En Sinaloa (Salazar-Vallejo, 1981, Van der Heiden y Hendrickx, 1982; Reish, 1968; Arias-González, 1984; Padilla-Galicia, 1984; Lezcano-Bustamante, 1989). En la Plataforma Continental del Golfo de California (Hernández-Alcántara, 1992). En las Plataformas petroleras del Sur del Golfo de México (Granados-Barba, 1994).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante este trabajo en la época de secas bajo las siguientes condiciones: P= 7-12, Ts= 26-28, Tf= 25, Ss= 15.5-24.8, Sf= 32.2-35.5, O_{2s}= 3.3-6, O_{2f}= 2-5.1, MOE= 76-43. En la temporada de nortes las condiciones en las que se presentó fueron P= 7.5-9.5, Ts= 24-24.5, Tf= 24, Ss= 5-7.5, Sf= 16.4-26, O_{2s}= 8.5-9, O_{2f}= 5.6-7.4, MOE= 103-408.

Orden: Phyllodocida

Suborden: Nereidiformia

Familia: Pilargidae

Especie: *Sigambra tentaculata* (Treadwell, 1941): Prostomio con tres antenas largas, lisas y filiformes. La antena media llega alrededor del sexto setígero. Palpos con pequeños palpostilos digitiformes. Cirros dorsales del primer setígero filiformes y extremadamente largos, los siguientes son más anchos basalmente. Sin cirros ventrales en el setígero 2. Ganchos notosetales aciculares a partir del setígero 4, acompañados por una notoacícula interna y ocasionalmente una seta emergente punteada. Neurosetas punteadas con el margen aserrado, las setas más cortas se ubican en la parte anterior del fascículo neuropodial y presentan aserraciones más gruesas (Figura 43.2-10). La diagnosis concuerda con Hernández-Alcántara, 1992.

HABITAT REGISTRADO: Desde zonas intermareales hasta profundidades de 5121 m, en sedimentos lodosos, arenosos, arena mezclada con lodo y fragmentos de conchas (Wolf, 1984). En substratos de arena fina, limosa y limo arenosos, a una P=37.2-120, T=12.9-15.1, S=34.98-35.48, MO=3.0-7.2, OD=0.54-4.21 (Hernández-Alcántara, 1992). Lodo arenoso, P=15-103, T=21-28, S=35.51-36.99, MO=0.39-1.58 (Granados-Barba, 1994).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: De Nueva Inglaterra a Florida (Pettibone, 1966), noroeste de Estados Unidos (Hartman, 1968), Mar Negro, Mar Rojo, Sudáfrica, noreste de Sudamérica, norte del Golfo de México (Wolf, 1984), Pacífico mexicano frente a las costas de Sinaloa (Van der Heiden y Hendrickx, 1982 y Padilla-Galicia, 1984), Laguna de Tamiahua (Nava-Montes, 1989), Nayarit

(Lezcano-Bustamante, 1989), Yucatán (Ortiz-Hernández, 1990), al sur de San Felipe, Baja California Norte, frente a Bahía de San Andrés; Baja California Sur, frente a Bahía Santa Ma., Sinaloa y en Punta Mita, Nayarit (Hernández-Alcántara, 1992), Jalisco (Varela-Hernández, 1993), Campeche y Yucatán (Rodríguez-Villanueva, 1993, Miranda-Vázquez, 1993), Campeche (Granados-Barba, 1994).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante el presente estudio en la época de secas bajo las siguientes condiciones: P= 4-12, Ts= 27-28, Tf= 25, Ss= 17.9-24.8, Sf= 35.8-36.2, O_{2s}= 4.1-7.6, O_{2f}= 1.9-7, MOE= 123-43, 574. En la temporada de nortes las condiciones en las que se presentó fueron P= 9-16, Ts= 24-25, Tf= 24-25, Ss= 8.7-13.8, Sf= 22.7-31.6, O_{2s}= 7.6-8.7, O_{2f}= 6.5-8.2, MOE= 172-390.

Orden: Spionida

Suborden: Spioniformia

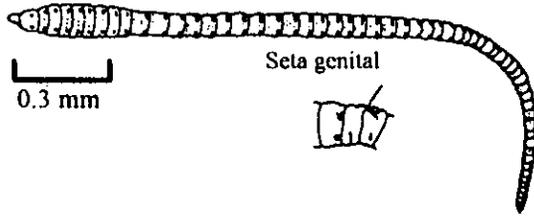
Familia: Spionidae

Especie: ***Streblospio benedicti*** Webster, 1879: Prostomio cónico. Un sólo par de branquias en el setígero 1. En el setígero 2 se presenta un collar dorsal evidente. Notosetas a manera de capilar (lisas), neurosetas anteriores lisas (Figura 43.2-12). La diagnosis concuerda con Fauchald, 1977.

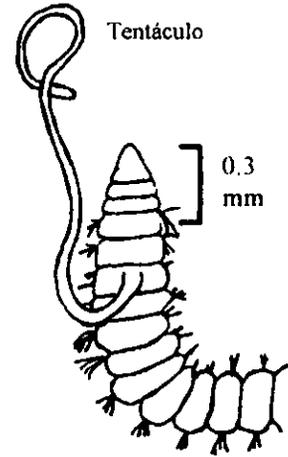
HABITAT REGISTRADO: Arena lodosa (Fauchald, 1977 y Salazar-Vallejo *et. al.*, 1987).

DISTRIBUCIÓN PREVIA: Costas de California (Fauchald, 1977) y Baja California Sur (Salazar-Vallejo *et. al.*, 1987).

RIO PÁNUCO, TAMAULIPAS: Durante la época de secas bajo las siguientes condiciones: P= 4-12, Ts= 26-30, Tf= 24.5-27, Ss= 14-29.7, Sf= 18.5-36.3, O_{2s}= 4.1-7.7, O_{2f}= 1.9-7, MOE= 76-43, 574. En la temporada de nortes las condiciones en las que se presentó esta especie fueron P= 4-16, Ts= 24-25, Tf= 24-25, Ss= 5-14.1, Sf= 16.4-37.9, O_{2s}= 7.4-9, O_{2f}= 5.6-8.4, MOE= 67-868.



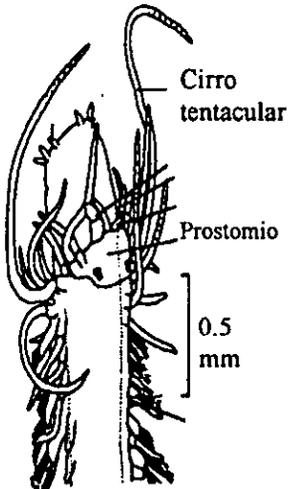
1. *Capitella capitata*



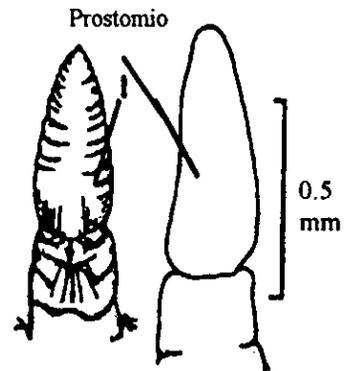
2. *Cossura brunnea*



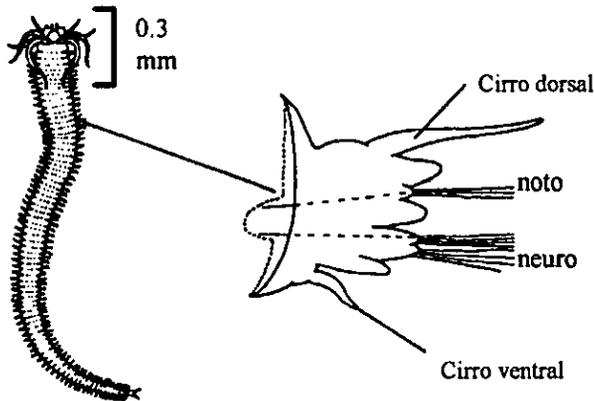
3. *Glycera convoluta*



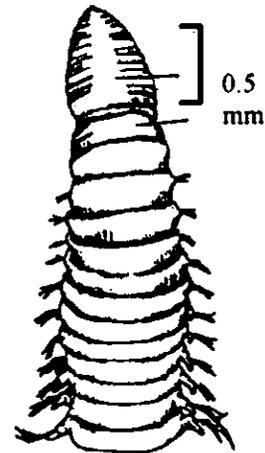
4. *Gyptis brevipalpa*



5. *Lumbrinerides sp.*



6. *Nereis pelagica*

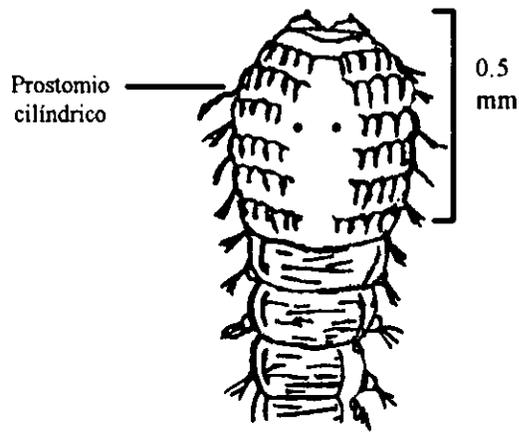


7. *Lumbrineris januarii*

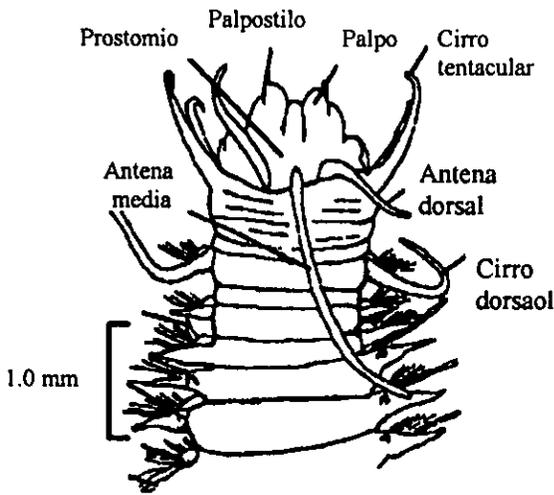
FIG. 43.1. Esquemas de los poliquetos identificados. Láminas 1,3,7 (Hutchings, 1984). 2 (Fauchald, 1977). 4,5,6 (Uebelacker, 1984).



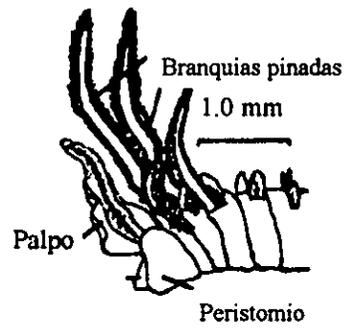
8. *Diopatra ornata*
(branquias)



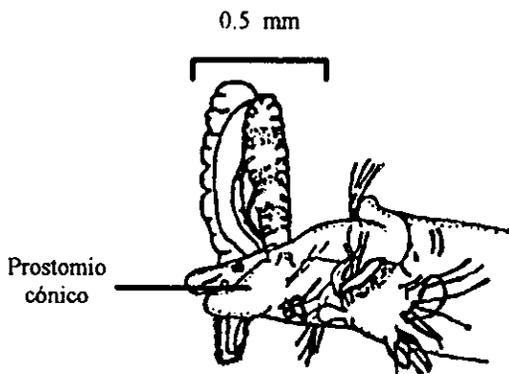
9. *Parandalia ocularis*



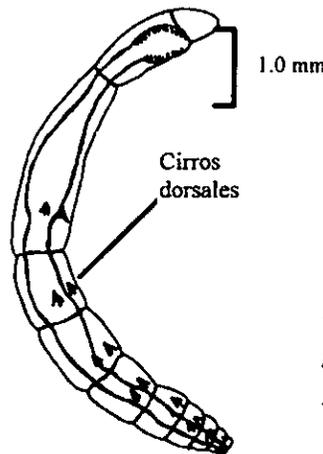
10. *Sigambra tentaculata*



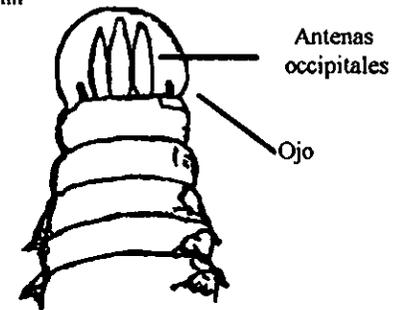
11. *Parapronospio pinnata*



12. *Streblospio benedicti*



13. *Ctenodrilus sp.*



14. *Lysidice ninetta*

FIG. 43.2. Esquemas de los poliquetos identificados.
Láminas 8,9,12, 4 (Salazar-Vallejo, 1987). 10 (Wolf, 1984). 11 (Maciolek, 1985). 13 (Fauchald, 1977).