

00366

4:  
2ej



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología**

**Instituto de Ciencias del Mar y Limnología**

**Composición y distribución de macroalgas en el sistema lagunar de Urías (Mazatlán, Sinaloa, México): variación estacional de la biomasa en relación con la disponibilidad de nutrientes y algunos factores ambientales.**

**T E S I S**

Para optar al grado de:  
**Maestro en Ciencias**  
(Biología Marina)

Presenta:

**MARIA JULIA OCHOA IZAGUIRRE**

Director de Tesis: Dr. Federico Páez Osuna  
Codirector: Dr. J. José Luis Carballo Cenizo

Mazatlán, Sinaloa

Noviembre 1999

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

270064



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

*Dedicatoria*

*Con cariño ...*

*A mis hijos; Ricardo Jr., Roberto y Rodrigo, por entender mi ausencia*

*A mi esposo Ricardo por su apoyo y comprensión*

*A Elvira, por ser una madre para mis hijos*

*A mis padres y hermanos, por haber guiado mi vida por el sendero correcto*

*A mis amigos, por su amistad*

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, Estación Mazatlán, bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna y Dr. J. José Luis Carballo Cenizo.

**Comité asesor de Tesis:**

**Dr. Federico Páez Osuna**

**Dr. J. José Luis Carballo Cenizo**

**Dra. Elisa Serviere Zaragoza**

**Dra. Maria Esther de la Rosa Duque**

**Jurado de Tesis:**

**Dra. Maria Esther de la Rosa Duque      Presidente**

**Dr. Federico Páez Osuna      Secretario**

**Dra. Elisa Serviere Zaragoza      Vocal**

**Dr. J. José Luis Carballo Cenizo      Suplente**

**Dr. Just Cebrian      Suplente**

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi sincera gratitud a quienes hicieron posible el logro de esta tesis.

Al Dr. Federico Páez Osuna, director de tesis, por brindarme la oportunidad de obtener este logro a través de su enseñanza y buenos consejos que enriquecieron mi vida académica, pero ante todo, por su admirable profesionalismo para dirigir este trabajo.

Al Dr. J. José Luis Carballo Cenizo, codirector de tesis, por proporcionarme con su enseñanza, las herramientas necesarias para hacerme más fácil el camino hacia la recta final, y por el estímulo para seguir siempre adelante.

Al Jurado de Tesis: Dra. Elisa Serviere Zaragoza, Dra. María Esther de la Rosa Duque y Dr. Just Cebrian por su valiosa revisión al manuscrito y por contribuir a enriquecer este trabajo con sus sugerencias. Asimismo por su buena disposición en todo momento.

Al Dr. Domenico Voltolina, por dedicarme parte de su valioso tiempo a orientarme en los inicios de este proyecto.

Al M. en C. Roberto Cortés Altamirano, por permitirme realizar el análisis taxonómico de las macroalgas en el laboratorio de Plancton, bajo su responsabilidad.

A los técnicos académicos de este Instituto que sin duda representan un sólido soporte para los alumnos de este Posgrado:

Químico Humberto Bojórquez Leyva, por su continua participación en los muestreos de campo, así como por su enseñanza y ayuda en la ejecución de los análisis químicos.

Mat. Germán Ramírez Reséndiz, por la asesoría brindada en el análisis de datos así como el apoyo en el centro de cómputo para la elaboración de mapas y gráficos. Por su desinteresada ayuda en la presentación de esta tesis pero sobre todo, por su paciencia.

Sra. Ma. Clara Ramírez Jáuregui, responsable de la biblioteca "Dra. Ma. Elena Caso", por su excelente disposición en todo momento para brindar su apoyo en la adquisición de material bibliográfico. Asimismo por la revisión a la presentación de la literatura citada en esta tesis.

Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández, por su colaboración en la ejecución de los análisis químicos.

M. en C. Arturo Núñez Pastén, por su apoyo en el laboratorio de Plancton.

Srita. Margarita Cordero Ruiz, por el eficiente apoyo que brinda a los estudiantes de este Posgrado en la realización de trámites escolares.

A los profesores, por su enseñanza.

Al personal administrativo, por su apoyo para llevar a cabo mis actividades durante mi estancia en este Instituto.

A los estudiantes de este Posgrado:

M. en C. Jorge Ricardo Ruelas Insunza, por su participación en los muestreos de campo y por su contagioso humor para hacer agradables esos momentos.

M. en C. Martín F. Soto Jiménez, por su desinteresada ayuda en la realización del análisis granulométrico.

M. en C. Rosalba Alonso Rodríguez, por su asesoría en cómputo, así como su apoyo con material bibliográfico y otros más.

A mis compañeros de generación Angela Rebeca Eng goon G. y Jonás Efrain Barranco R. por su compañerismo y solidaridad a lo largo de nuestra estancia en este instituto donde compartimos momentos agradables y a veces no tan agradables.

Al Biol. Pesq. Manuel de Jesús Armenta Monge y al estudiante de la FACIMAR Fco. Javier Ayala Cota por colaborar en las colectas de macroalgas por buceo.

A la M. en C. Patricia Garduño G., mi amiga, por estar siempre dispuesta a ayudar, y por el apoyo moral que siempre me ha brindado.

A los profesores M. en C. Pablo Piña y Ramón Morán A., al Fís. Rosendo Saucedo, por su apoyo académico.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por proporcionarme el apoyo para mi superación profesional.

A cada uno de ustedes, gracias por su amistad...

# INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Hipótesis</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>4</b>
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Área de estudio</b> .....	<b>5</b>
Localización y descripción general.....	5
Características climáticas e hidrológicas generales.....	6
<b>2.2 Variables físicas y químicas</b> .....	<b>8</b>
Temperatura.....	9
Clorinidad.....	9
pH.....	9
Sólidos suspendidos totales.....	9
Oxígeno disuelto.....	10
Demanda bioquímica de oxígeno.....	10
Fósforo total.....	10
Fósforo disuelto.....	11
Amonio.....	11
Nitritos.....	12
Nitratos.....	12
<b>2.3 Muestreo y análisis de sedimentos</b> .....	<b>13</b>
Muestreo de sedimentos.....	13
Análisis granulométrico.....	13
Determinación de fósforo total en sedimento.....	14
Determinación de materia orgánica en sedimento.....	14
<b>2.4 Estudio cualitativo de la flora</b> .....	<b>14</b>
Selección de las localidades.....	14
Método de muestreo.....	14
Identificación taxonómica.....	15
<b>2.5 Estudio cuantitativo de las poblaciones macroalgales</b> .....	<b>15</b>
Descripción de las localidades.....	15
Método de muestreo.....	16
Procesamiento en el laboratorio.....	17
<b>2.6 Análisis de los datos</b> .....	<b>17</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1 Climatología</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2 Variables físicas y químicas</b> .....	<b>24</b>
Temperatura y clorinidad.....	24

pH.....	25
Sólidos suspendidos totales.....	25
Oxígeno disuelto y DBO.....	27
Fósforo total y fósforo disuelto.....	27
Amonio, nitritos y nitratos.....	30
Nitrógeno inorgánico total.....	33
Relación N:P.....	33
<b>3.3 Composición del sedimento.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Heterogeneidad ambiental en el Sistema de Urías: relación entre las variables ambientales.....</b>	<b>35</b>
<b>3.5 Discusión sobre las variables ambientales.....</b>	<b>41</b>
<b>3.6 Discusión sobre la composición de los sedimentos.....</b>	<b>47</b>
<b>3.7 Estudio cualitativo de la flora.....</b>	<b>49</b>
Composición, riqueza y distribución.....	49
Caracterización ambiental del sistema en base a la composición florística.....	51
Hábitat y sustrato.....	54
<b>3.8 Discusión del estudio cualitativo de la flora.....</b>	<b>55</b>
<b>3.9 Análisis cuantitativo de las principales poblaciones algales.....</b>	<b>57</b>
<b>3.10 Relación de la biomasa macroalgal con las variables ambientales.....</b>	<b>60</b>
<b>3.11 Discusión del análisis cuantitativo y la relación de la biomasa macroalgal con las variables físicas y químicas.....</b>	<b>66</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>5. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>76</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>88</b>

## INDICE DE FIGURAS ..... Pág.

Fig. 1 Sistema lagunar Estero de Uriás. Ubicación de las estaciones de muestreo del estudio cuantitativo y cualitativo. ....	7
Fig. 2 Precipitación durante el ciclo de muestreo en la región de Mazatlán, Sin. ....	22
Fig. 3 Minutos luz acumulados entre periodos intermuestrales en la región de estudio. ....	22
Fig. 4 Temperatura superficial del agua en la región de estudio durante los años 1996-1999. ....	23
Fig. 5 Temperatura superficial del agua y promedio mensual de insolación en la región de estudio durante los años 1996 -1999. ....	23
Figs. 6-ABC. Variación estacional de la temperatura (A), clorinidad (B) y pH (C), en las estaciones 1, 2 y 4. ....	26
Figs. 7-ABC. Variación estacional de sólidos suspendidos (A), oxígeno disuelto (B) y demanda bioquímica de oxígeno (C), en las estaciones 1, 2 y 4. ....	28
Figs. 8-AB. Variación estacional de fósforo total (A) y fósforo disuelto (B), en las estaciones 1, 2 y 4. ....	29
Figs. 9-ABC. Variación estacional de amonio (A), nitritos (B) y nitratos (C), en las estaciones 1, 2 y 4. ....	32
Figs. 10-AB. Variación estacional del nitrógeno inorgánico total (A) y la relación N:P (B), en las estaciones 1, 2 y 4. ....	34
Fig. 11 Análisis de componentes principales (PCA) de las estaciones 1, 2 y 4. ....	40
Fig. 12 Riqueza de especies por estación y época de muestreo. ....	50
Fig. 13 Dendrogramas de similaridad para los periodos de secas y lluvias. En el mapa se muestran los agrupamientos de las estaciones obtenidos durante el periodo de lluvias. ....	52
Fig.14-ABC. Comportamiento de la biomasa en las estaciones 1, 2 y 4. ....	59

Fig. 15-ABC. Variación estacional de la biomasa de <i>Ulva lactuca</i> en función de la temperatura (A), clorinidad (B) y minutos luz acumulados entre periodos intermuestrales (C) en la estación 4..	62
Fig. 16-AB. Variación estacional de la biomasa de <i>U. lactuca</i> en función de nitritos (A) y fósforo total (B) en la estación 4..	63
Fig. 17-ABC. Variación estacional de la biomasa de <i>Gracilaria sjoestedtii</i> en función de la temperatura (A), clorinidad (B) y minutos luz acumulados entre periodos intermuestrales (C) en la estación 4..	64
Fig. 18-AB. Variación estacional de la biomasa de <i>G. sjoestedtii</i> en función de nitritos (A) y amonio (B) en la estación 4..	65

**INDICE DE TABLAS ..... Pág.**

Tabla 1. Comparación de las variables físicas y químicas  
entre estaciones por época de muestreo. ....37

Tabla 2. Comparación de las variables físicas y químicas  
entre épocas por estación de muestreo. ....38

Tabla 3. Abundancia media (Y) de las especies de  
macroalgas responsables de la disimilaridad entre  
los grupos, ordenadas de acuerdo a su  
contribución y a la disimilaridad media entre los  
grupos comparados en el dendrograma cuando el  
porcentaje de contribución acumulado alcanza el  
60 %, según la Fig. 14. ....53

<b>ANEXOS.....</b>	<b>Pág.</b>
Anexo I. Valores obtenidos de la medición de variables físicas y químicas en el sistema lagunar Estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa.....	89
Anexo II. Relación N:P en las estaciones y épocas de muestreo.....	90
Anexo III. Contenido de materia orgánica, fósforo y granulometría de los sedimentos superficiales (0-2 cm) del estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa .....	91
Anexo IV. Valores de las correlaciones significativas (*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001) entre las variables ambientales examinadas en las aguas del Estero de Urías, Mazatlán, Sin. ....	92
Anexo V. Distribución de las macroalgas en las estaciones y épocas de muestreo .....	94
Anexo VI. Distribución de las especies de acuerdo al tipo de sustrato donde se colectaron en cada época y al # de diferentes sustratos en los que estuvo presente cada especie. ....	96
Anexo VII. Valores promedio (g/m <sup>2</sup> ) por muestreo/estación de las especies de macroalgas colectadas para el análisis cuantitativo en el estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. ....	97
Anexo VIII. Valores de las correlaciones significativas (*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001) entre la biomasa macroalgal y las variables físicas y químicas. ....	98
Anexo IX. Valores de las correlaciones cruzadas significativas entre la biomasa macroalgal y las variables físicas y químicas con desfases de 15 y 30 días anteriores a cada muestreo (*p<0.05, **p<0.01). ....	99

## RESUMEN

Desde febrero de 1998 hasta febrero de 1999, se realizó un estudio físico, químico y biológico en el sistema lagunar de Uriás (Mazatlán, Sinaloa, México), para poder establecer la variación estacional de la biomasa de las principales poblaciones macroalgales en relación a la concentración de nutrientes en el agua, y a otros factores ambientales. Asimismo, se estudió la composición y distribución florística de las macroalgas a lo largo del estero. Según los resultados, las concentraciones de nutrientes quedaron por encima de los valores considerados normales para aguas costeras, lo que sugiere que el sistema se encuentra eutroficado. La mayores concentraciones detectadas en la época de lluvias, sugiere que el sistema recibe importantes aportes a partir de escurrimientos. Se encontraron diferencias significativas entre las estaciones de estudio, para ambos periodos (secas y lluvias), indicando la gran heterogeneidad ambiental que existe en este sistema lagunar con respecto a estos parámetros. El análisis de las variables físicas y químicas, de forma conjunta mediante técnicas de ordenación multivariante, mostró que existen periodos ambientales muy marcados, que coinciden con las tres épocas climáticas que abarcó el presente estudio (secas 1998 y 1999, lluvias 1998). En el estudio florístico se identificaron 44 especies de algas contabilizando ambos periodos de forma conjunta. El número de especies presentes (35), y el número de especies exclusivas (13), fue mayor en la época de secas, que en la época de lluvias (31 y 9 respectivamente para lluvias). El análisis de clasificación indicó que en la época de lluvias la distribución de las macroalgas delimitaron 4 zonas florísticas con cierta homogeneidad ambiental: cabecera del estero, estero el Infiernillo, estaciones ubicadas cerca y hacia la boca, y las estaciones de la parte media del estero. Sin embargo, en la época de secas, los factores que controlan esta distribución se encontraron más dispersos por todo el sistema, y no delimitaron unidades ambientales como en el caso anterior. El estudio cuantitativo mostró la dominancia de dos especies de macroalgas; *Ulva lactuca* (Linnaeus) que alcanzó su máximo desarrollo ( $126.76 \text{ g/m}^2$ ) a principios de marzo de 1998, y *Gracilaria sjoestedtii* (Kyllin) que alcanzó los valores máximos de biomasa ( $237.48 \text{ g/m}^2$ ) a finales de octubre de 1998. Al analizar el comportamiento de ambas poblaciones, con relación a los factores ambientales, especialmente con los nutrientes, se observó que estos últimos no representaron un factor limitante para su desarrollo, debido a que se encuentran en exceso. Los resultados sugieren que otros factores como la temperatura, la salinidad y la luz, juegan un papel más determinante en la distribución y biomasa de estas poblaciones.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las macroalgas constituyen uno de los principales componentes de los ecosistemas bentónicos, y son consideradas como los productores más importantes de las aguas costeras poco profundas (Neushul & Coon, 1971). Participan en los ciclos del carbono y del nitrógeno (Welsh, 1980; Owens & Stewart, 1983; Darley, 1987), reciclan parte de la materia orgánica disuelta, acumulan y consolidan el sustrato, y detienen la erosión (Scagel, 1959). Factores ambientales como la luz, temperatura y nutrientes entre otros, pueden limitar su desarrollo, tanto por su exceso, como por su deficiencia, lo cual, tiene como consecuencia que muestren ciclos estacionales en su crecimiento y reproducción, que se relacionan principalmente con las fluctuaciones estacionales de tales factores (Darley, 1987).

Entre los factores más importantes responsables del crecimiento de las macroalgas, están los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, nutrientes que a altas concentraciones, han provocado desarrollos desmesurados de poblaciones de *Ulva lactuca* (Cotton, 1911; Burrows, 1971), y otras especies como *Enteromorpha linza* (Kwong-yu *et al.*, 1982) y *E. intestinalis* (Fong *et al.*, 1994, 1996). En este sentido, las aguas costeras adyacentes a las zonas urbanas reciben considerables aportes de aguas residuales ricas en nutrientes, algunas veces de forma continuada y durante periodos prolongados de tiempo (Sfriso *et al.*, 1992). Las comunidades macroalgales responden de diversa forma según su grado de tolerancia a estos compuestos, así en algunas especies con gran capacidad de absorción de compuestos nitrogenados y fosforados, se producen grandes incrementos en su abundancia, y en otras, que no toleran estas condiciones, provocan una inhibición de su crecimiento (Pedersen & Borum, 1996). Esto, da lugar a un proceso conocido como eutroficación, el cual se considera un problema importante en el medio costero (Sfriso *et al.*, 1988). En este sentido, investigaciones realizadas por Ho (1981), Bjornsater *et al.*, (1990), entre otros, demuestran que los altos contenidos de fósforo y nitrógeno en los tejidos de *Ulva* spp. y *E. intestinalis*, reflejan cuantitativamente los niveles de nutrientes existentes en el agua, indicándonos la posibilidad de utilizar no solamente la

presencia y dominancia de estas especies como indicadoras de eutroficación en cuerpos de agua costeros (Edwards, 1973), sino también como una medida del grado de eutroficación, reflejado en la concentración de nutrientes en sus tejidos. Este proceso es más relevante en cuerpos de agua semicerrados, donde se observa una clara disminución de la diversidad, con el consiguiente aumento de la dominancia de algunas pocas especies, fenómeno que también se considera como buen indicador del proceso de eutroficación.

El actual problema de la contaminación en algunos cuerpos de agua costeros está relacionado con el continuo aumento de la población, y el desarrollo industrial, cuya actividad genera grandes volúmenes de residuos que son descargados directamente, o a través de los ríos. En este sentido, el número de trabajos sobre producción primaria en lagunas costeras en nuestro país, es todavía muy reducido y la relación con los procesos de eutroficación es incipiente y aún poco estudiado (Contreras *et al.*, 1996). Esta situación nos indujo a iniciar un estudio que permitiera conocer el papel de las macroalgas en uno de estos ecosistemas costeros, su relación con los factores ambientales, y en particular con los que se consideran responsables del proceso de eutroficación como los nutrientes.

## **1.1 Antecedentes**

Desde principios de siglo, se sabe, que una alta concentración de nutrientes en el medio marino, provoca el crecimiento excesivo de algunas poblaciones macroalgales (Cotton, 1911), siendo en parte responsable de este fenómeno, las aguas residuales urbanas que son descargadas directamente, o bien sin un tratamiento eficiente, y que llevan considerables cantidades de materia orgánica. Esto ha generado que muchos investigadores se interesen por estos procesos de eutroficación, que relacionan el ciclo de nutrientes y los efluentes urbanos e industriales, con las poblaciones macroalgales y fitoplanctónicas (Sfriso *et al.*, 1987, 1988, 1989, 1992). Es importante destacar el trabajo de Lapointe (1989), que relaciona la producción macroalgal con la concentración de nutrientes en áreas oligotróficas, ricas en carbonatos en la bahía de Florida. En este ambiente, y a diferencia de otras áreas

costeras donde el nitrógeno es considerado el nutriente limitante primario, fue el fósforo el que limitó el crecimiento algal. Estudios similares sobre el papel de la disponibilidad de los nutrientes en el crecimiento macroalgal de aguas estuarinas son los realizados por Pedersen & Borum (1996) y Valiela *et al.*, (1997), donde se muestra que desarrollos desmesurados de poblaciones macroalgales son generadas por las descargas de nutrientes a las aguas costeras. Duarte (1995) concluye que cuando aumentan los nutrientes se produce un cambio en las comunidades de productores primarios, desde los pastos de lento crecimiento y grandes macroalgas, a macroalgas de rápido crecimiento y el fitoplancton, ya que estos últimos son competidores superiores cuando hay limitación de luz, mientras que los pastos y grandes algas lo son cuando hay limitación de nutrientes.

Otros estudios inherentes a nuestra investigación, son los que relacionan el efecto de la contaminación o algún tipo de estrés ambiental, con la estructura y dinámica de las comunidades estuarinas. Edwards (1973) realizó un inventario de la flora ficológica en 3 estuarios del noroeste de Inglaterra que reciben diferentes tipos de contaminantes, concluyendo que la riqueza de especies estaba en relación directa con el grado de contaminación. Josselyn & West (1985) realizaron un estudio de la dinámica espacio temporal de la comunidad macroalgal estuarina de la Bahía de San Francisco, y concluyeron que el incremento estacional de las macroalgas está relacionado con el incremento de salinidad, temperatura y disponibilidad de luz en el fondo, y que la aparición no cíclica de un desarrollo desmesurado de macroalgas, parecía estar causada por una combinación de los factores físicos asociados con la afluencia del río. Soulsby *et al.*, (1985), concluyen que la distribución y biomasa de macroalgas en esas áreas están controladas por una conjunción de factores como disponibilidad del hábitat, factores físicos y climáticos, y por el pastoreo, mientras que el efecto de los nutrientes que derivan de aguas residuales es insignificante. En México, no existen investigaciones relevantes que relacionen las poblaciones macroalgales en aguas estuarinas, con los procesos de eutroficación (Espinoza, 1993). Solo se conocen algunos estudios de tipo florístico en la boca del estero de Urías y áreas adyacentes que se iniciaron en la década de los setenta (Tirado, 1974; Lozano, 1986; Buendía *et al.*, 1986; Balderas *et al.*, 1990), siendo de gran relevancia

el trabajo de Alvarez (1977), que llevó a cabo un estudio hidrobiológico de los esteros Urías y la Sirena, concluyendo que el exceso de material orgánico de origen antropogénico que recibe el estero, provoca una alta productividad primaria, principalmente diatomeas, dinoflagelados y macroalgas.

## **1.2 Hipótesis**

- 1.- El desarrollo de las poblaciones macroalgales que habitan en el sistema lagunar estero de Urías está directamente influenciado por la disponibilidad de nutrientes, que provienen principalmente de las descargas residuales domésticas e industriales de la zona urbana de Mazatlán, Sinaloa.
- 2.- La distribución de la concentración de los nutrientes depende de la hidrodinámica, morfología del sistema lagunar, y de la magnitud de los aportes antropogénicos localizados en la parte intermedia del ecosistema.
- 3.- El desarrollo de la biomasa macroalgal encuentra sus condiciones más favorables en primavera e inicios de verano, en sitios donde los niveles de nutrientes, y otros factores como temperatura, salinidad, luz y tipo de sustrato, entre otros, son más favorables.

## **1.3 Objetivos**

### **Objetivo general**

Establecer la relación de las poblaciones macroalgales, su grado de asociación y la relevancia de la biomasa con los factores ambientales, en particular con la disponibilidad de nutrientes en dos períodos claramente distinguibles (secas y lluvias), durante el ciclo 1998-1999 en el cuerpo lagunar denominado estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa, México.

### **Objetivos específicos**

- 1.- Obtener información sobre las características físicas y químicas en las

localidades de muestreo seleccionadas durante los periodos de secas y lluvias.

2.- Obtener el inventario florístico en el área de estudio para las épocas de secas y lluvias.

3.- Registrar la distribución espacial de las macroalgas en el cuerpo lagunar considerando las condiciones de secas y lluvias del ciclo 1998-1999.

4.- Definir el grado de asociación entre las estaciones localizadas a lo largo del cuerpo lagunar en base a su composición florística.

5.- Establecer la variación estacional de la biomasa macroalgal y su posible relación con los niveles de concentración de nutrientes en el agua, y otros factores físicos y químicos.

6.- Evaluar el potencial de algunas especies de macroalgas como posibles indicadores de la eutroficación de aguas lagunares subtropicales, con base a su presencia o ausencia en las áreas de muestreo.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudio**

#### **Localización y descripción general**

El área de estudio conocida como estero de Urías, es un cuerpo lagunar localizado en el sur del estado de Sinaloa (México), entre los 23° 10' 36" y 23° 13' 00" latitud Norte y entre los 106° 20' 00" y 106° 25' 35" longitud Oeste, en la entrada del Golfo de California (Fig. 1). El estero mantiene comunicación libre con el mar por medio de una boca permanente. Tiene una superficie aproximada de 18 km<sup>2</sup> y una longitud de 17 km, y a lo largo de él se desarrollan la mayor parte de las actividades del puerto de Mazatlán. Los primeros kilómetros cercanos a la boca corresponden a la zona portuaria, después le sigue un tramo comprendido entre el Km 3 y el 7 aproximadamente, donde se concentra la flota camaronera y atunera del puerto, y se ubican las industrias pesqueras que procesan alimentos, y aportan grandes cantidades de desechos orgánicos al estero. Próxima a esa zona, se ubica una planta

localidades de muestreo seleccionadas durante los períodos de secas y lluvias.

2.- Obtener el inventario florístico en el área de estudio para las épocas de secas y lluvias.

3.- Registrar la distribución espacial de las macroalgas en el cuerpo lagunar considerando las condiciones de secas y lluvias del ciclo 1998-1999.

4.- Definir el grado de asociación entre las estaciones localizadas a lo largo del cuerpo lagunar en base a su composición florística.

5.- Establecer la variación estacional de la biomasa macroalgal y su posible relación con los niveles de concentración de nutrientes en el agua, y otros factores físicos y químicos.

6.- Evaluar el potencial de algunas especies de macroalgas como posibles indicadores de la eutroficación de aguas lagunares subtropicales, con base a su presencia o ausencia en las áreas de muestreo.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudio**

#### **Localización y descripción general**

El área de estudio conocida como estero de Urías, es un cuerpo lagunar localizado en el sur del estado de Sinaloa (México), entre los 23° 10' 36" y 23° 13' 00" latitud Norte y entre los 106° 20' 00" y 106° 25' 35" longitud Oeste, en la entrada del Golfo de California (Fig. 1). El estero mantiene comunicación libre con el mar por medio de una boca permanente. Tiene una superficie aproximada de 18 km<sup>2</sup> y una longitud de 17 km, y a lo largo de él se desarrollan la mayor parte de las actividades del puerto de Mazatlán. Los primeros kilómetros cercanos a la boca corresponden a la zona portuaria, después le sigue un tramo comprendido entre el Km 3 y el 7 aproximadamente, donde se concentra la flota camaronera y atunera del puerto, y se ubican las industrias pesqueras que procesan alimentos, y aportan grandes cantidades de desechos orgánicos al estero. Próxima a esa zona, se ubica una planta

termoeléctrica, y se vierten grandes cantidades de desechos residuales domésticos (Páez *et al.*, 1990). El resto del estero hasta la cabecera está cubierto por áreas de manglar con diferente grado de desarrollo.

De acuerdo a la clasificación sobre las lagunas costeras, Lankford (1977) lo clasifica como laguna costera interna del tipo IIIB (IIIA), que comprende los cuerpos de agua que presentan depresiones inundadas en los márgenes internos y están protegidos del mar por barreras arenosas producto de la acción de las olas y corrientes.

El sistema lagunar tiene algunos esteros tributarios denominados: El Infiernillo, Pichichines, Barrón, Zacate, Caimán y Confites.

### **Características climáticas e hidrológicas generales**

El clima de acuerdo a la clasificación modificada de Köppen (García, 1973) es tropical y subtropical con lluvias en verano. La temperatura media anual tiene un promedio de 25° C. Los vientos predominantes provienen del NW, pero en los meses de junio a septiembre, predominan del SW. El patrón meteorológico presenta dos épocas muy marcadas en el año, una de lluvias que abarca desde julio a octubre, donde se registran tormentas tropicales, y otra de baja precipitación pluvial de noviembre a junio (Secretaría de Marina, 1974).

No tiene un aporte continuo de agua dulce, por lo que sus características fisicoquímicas están altamente influenciadas por las mareas. Sin embargo, en las épocas de lluvia el estero recibe escurrimientos principalmente a través del complejo lagunar esteros Pichichines, Confites, Barrón, Zacate y Caimán situados en la parte más meridional del sistema. El promedio de salinidad es de 34.5 ‰ para otoño y de 34 ‰ para invierno (Alvarez, 1977; Heredia *et al.*, 1988). Las variaciones de salinidad dependen de la evaporación y del volumen de los escurrimientos que recibe el sistema. Por presentar salinidades más elevadas en la cabecera que en la boca, de forma casi permanentemente se clasifica como antiestuario (Pritchard, 1967). Alvarez (1977) señala que las aguas del estero son renovadas en un tiempo relativamente corto, lo cual permite que las aguas residuales provenientes de la

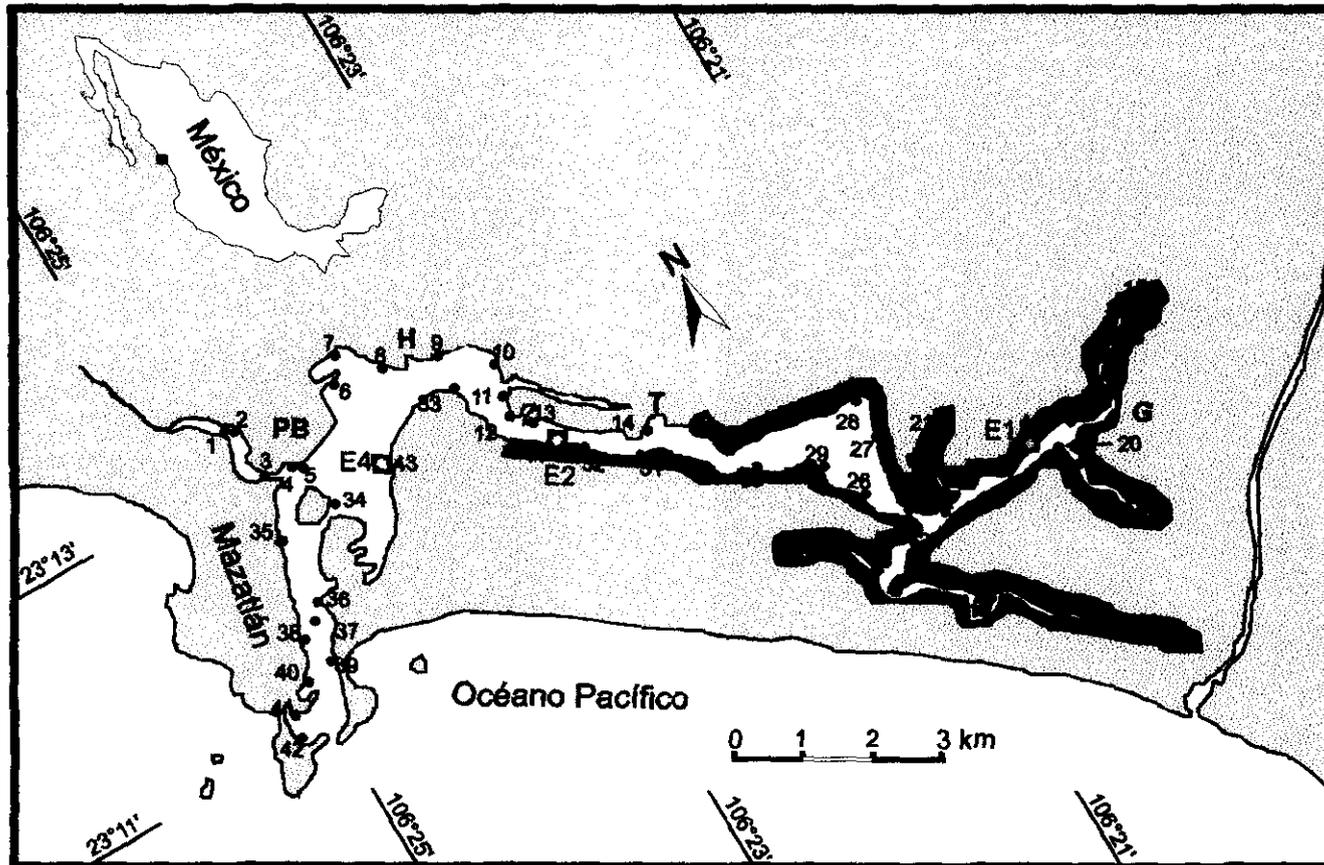


Fig. 1. Sistema lagunar Estero de Urías. Ubicación de las estaciones de muestreo del estudio cualitativo (●) y cuantitativo (■).

■ Zona de manglar PB: Parque Industrial "Bonfil" H: Harinera T: Termoeléctrica G: Granja camaronícola

actividad antropogénica, así como las aguas sobrecalentadas que provienen de la planta termoeléctrica sean reemplazadas rápidamente. También señala que el excesivo aporte de materia orgánica proveniente del rastro, y las aguas sobrecalentadas de la planta termoeléctrica originan sedimentos totalmente anóxicos. Los sedimentos varían desde fangosos, limosos-arenosos hasta arenosos, predominando hacia el canal de navegación los sedimentos arenosos (Osuna *et al.*, 1986).

El tiempo de residencia estimado para el fósforo es de 5.5 a 6.5 días, pero en áreas más quietas, como canales meándricos, marismas, áreas de manglar y muelles, hay gran acumulación de contaminantes que representan serios problemas para la salud del ecosistema (Páez *et al.*, 1990).

El tipo de marea es mixta y semidiurna, con predominancia semidiurna. La velocidad de corriente de marea varía desde -10 cm/s durante el reflujo hasta 22 cm/s durante el flujo (Villalba, 1986). Debido a que el sistema lagunar es profundo tanto en la entrada como en su porción central, el tiempo de recambio hidrodinámico es del orden de 5-7 días (Páez *et al.*, 1990).

## 2.2 Variables físicas y químicas

Las mediciones de algunas variables, y la toma de muestras para el análisis de agua, se efectuaron de forma paralela a los muestreos realizados para el análisis cuantitativo de las macroalgas. En tres estaciones, se midieron en el agua: temperatura, pH, cloruros, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitritos, nitratos, amonio, fósforo disuelto, fósforo total y sólidos en suspensión totales. En sedimentos, se midió fósforo total, materia orgánica y granulometría. Las muestras de agua se tomaron a la mitad de la columna de agua, haciendo una muestra compuesta de 5 litros, tomadas del área entre los transectos trazados en cada estación. Los muestreos se realizaron cada 15 días, desde febrero a mayo para la época de secas y de agosto a octubre para la época de lluvias. Desde noviembre de 1998 a febrero de 1999, los muestreos se realizaron cada 30 días.

Los datos de horas luz para el periodo de estudio fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico estación Mazatlán.

Las técnicas aplicadas para los análisis químicos fueron principalmente de Strickland & Parsons (1972); Rosales (1980) y Grasshoff *et al.*, (1983).

La precisión de las variables fue estimada como el coeficiente de variación.

### **Temperatura**

La temperatura superficial del agua se midió directamente con un termómetro de cubeta con precisión de 0.1°C.

### **Clorinidad Strickland & Parsons (1972)**

Se tomó una submuestra de 100 ml de agua filtrada por cada estación y se conservó en refrigeración hasta su determinación. Los halógenos presentes en el agua se precipitan cuantitativamente por titulación con nitrato de plata. Se toman alícuotas de muestra problema de 1.0 ml, se diluyen en 10.0 ml de agua destilada y se titulan con nitrato de plata 0.0942N. Por cada corrida de muestras también se corrió un blanco de 5 alícuotas de 10 ml de agua destilada para corrección de la lectura. El coeficiente de variación fue del 0.3 % para un nivel de cloruros de 1 ‰.

### **pH**

El pH del agua se midió con un potenciómetro calibrado con soluciones amortiguadoras de referencia pH = 7.0 y pH = 4.0. Los electrodos se colocaron inmediatamente (después de calibrarlos) en cada una de las muestras hasta que se estabilizaron.

### **Sólidos suspendidos totales**

Para el filtrado del agua se utilizaron filtros de nitrocelulosa de 0.45 micras (Millipore tipo HA), los cuales fueron previamente secados en una estufa a 50° C y tarados en una balanza analítica. Se filtraron determinados volúmenes de agua hasta saturar el filtro, luego de pasar la muestra se añadieron 30-60 ml de agua destilada para remover las sales retenidas. Después cada filtro se llevó a secado por 12 horas a 50°C, posteriormente se pesaron y por diferencia de pesos se determinó la cantidad

de sólidos en suspensión.

El agua filtrada se utilizó para determinación de cloruros y de los nutrientes: fósforo disuelto, nitritos y nitratos.

#### **Oxígeno disuelto Strickland & Parsons (1972)**

La muestra se tomó directamente en el campo utilizando botellas DBO de 300 ml, inmediatamente se fijó con 1 ml de solución de sulfato manganeso (II) seguida de 1 ml de solución de yoduro alcalino, se conservó en refrigeración para continuar el análisis en el laboratorio el cual consiste en formar en la muestra una cantidad de yodo equivalente al oxígeno presente originalmente en la disolución. La adición de sulfato manganeso (II) y yoduro alcalino a la muestra hace que se precipite hidróxido de manganeso (III). La disolución se acidula con 1 ml de ácido sulfúrico concentrado haciendo que el compuesto de manganeso se disuelva y se oxide cuantitativamente el yoduro a yodo. El contenido de yodo es equivalente al del oxígeno disuelto presente originalmente en la disolución y se determina por titulación con una disolución estándar de tiosulfato de sodio 0.01N y usando almidón como indicador. Para el presente trabajo se titularon alícuotas de 10 ml de disolución, se utilizó un dosi-mat para su titulación. La precisión fue de 2.3 %.

#### **Demanda bioquímica de oxígeno Rodier (1981)**

En el laboratorio se tomaron 2 submuestras de agua sin filtrar en botellas DBO de 300 ml por cada estación, se saturaron de oxígeno con un aireador durante 3 minutos, inmediatamente una de las botellas se fijó añadiendo 1 ml de sulfato manganeso y 1 ml yoduro alcalino y se determinó la concentración de oxígeno disuelto. La segunda botella fue incubada por 5 días en un lugar oscuro y a una temperatura entre 20 y 22° C. Después de la incubación se le determinó la concentración de oxígeno disuelto. La demanda bioquímica de oxígeno se obtuvo por diferencia entre las concentraciones medidas en la primera y segunda botella.

#### **Fósforo total Strickland & Parsons (1972)**

Se tomaron 10 ml de muestra directamente del agua sin filtrar y se les añadió 2 gotas de ácido sulfúrico 4.5M para prevenir la formación de partículas y la digestión de

reactivos en todos los compuestos del fósforo en la muestra. Posteriormente, se digiere la materia orgánica con una mezcla de ácido sulfúrico-persulfato de potasio. Mediante este proceso se libera el fósforo que se encuentra unido a la materia orgánica en forma de fosfato. Esta digestión también hidroliza los polifosfatos en ortofosfatos los cuales reaccionan con molibdato de amonio para formar el molibdofosfato que a su vez es reducido por el ácido ascórbico en medio ácido para formar el azul de molibdeno que se lee en el espectrofotómetro a 880 nm. El cálculo de la concentración se realizó a partir de una curva de calibración elaborada con concentraciones conocidas. El coeficiente de variación fue de 2.5 % para una concentración de 1  $\mu\text{M}$ .

#### **Fósforo disuelto Strickland & Parsons (1972)**

Se tomó una submuestra de 100 ml de agua filtrada, a la que se añadieron 2 gotas de cloruro de mercurio al 4 % (Kirkwood, 1992) y se congelaron hasta su determinación. Se tomaron alícuotas de 10 ml y se les agregó una disolución de molibdato de amonio en ácido sulfúrico y una disolución de ácido ascórbico a la disolución de la muestra para formar molibdofosfato de amonio, que es reducido por el ácido ascórbico en azul de molibdeno. Su intensidad se llevó a lectura en un espectrofotómetro a 880 nm, y el cálculo de la concentración se efectuó de manera similar que en el fósforo total. Con precisión de 3 % a 5.5  $\mu\text{M}$ .

#### **Amonio (Solórzano, 1969; Páez *et al.*, 1997)**

Debido a que los organismos liberan rápidamente amonio, y también lo consumen como nutrimento, se recomienda que el análisis sea realizado lo más pronto posible. En este caso la muestra se tomó directamente en el campo. Se tomaron 4 ml de muestra recibéndola en un vial que contenía 2 ml de solución fenol, se conservó en refrigeración en una hielera hasta llegar al laboratorio para efectuar el análisis inmediatamente. Se forma un complejo de iones de calcio y magnesio con citrato en presencia de pH alto para eliminar las interferencias debidas a la precipitación. En una disolución ligeramente alcalina, el amoniaco reacciona con el hipoclorito para formar monocloramina, la cual en presencia de fenol y cantidades catalíticas de nitroprusida forma el azul de indofenol, que se lee su absorbancia en un

espectrofotómetro a 640 nm. Se preparó una curva de calibración mediante una serie de estándares con concentraciones ya conocidas de cloruro de amonio de 0 a 1  $\mu\text{M}$ . Se corrieron 2 blancos; un blanco estándar para corregir la absorbancia causada por los reactivos y el agua destilada y un blanco problema con muestra problema para corregir la absorbancia de la muestras. La precisión estimada fue de 9% a 20  $\mu\text{M}$ .

#### **Nitritos Strickland & Parsons (1972)**

Se tomó una submuestra de 100 ml de agua filtrada, que se fijó con una solución de cloruro de mercurio al 4 % (Kirkwood, 1992) y se congeló hasta su análisis. Se tomaron alícuotas de 10 ml para determinar la concentración de nitritos presentes en la muestra. Se hace reaccionar el nitrito con una amina aromática (sulfanilamida en solución ácida), obteniéndose un compuesto diazonio que a su vez se hace reaccionar con una segunda amina aromática N-(1-naftil-etilendiamina) para formar un azocompuesto altamente colorido, que es llevado a lectura en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm. La absorbancia obtenida es proporcional a la concentración de nitritos en la muestra. Para conocer su concentración se preparó una curva de calibración con estándares de nitrito de sodio en agua destilada con concentraciones entre 0 y 10.0  $\mu\text{M}$ , a los cuales se les determinó la absorbancia. La precisión fue de 3%.

#### **Nitratos Strickland & Parsons (1972)**

La toma y conservación de la muestra fue la misma que para nitritos. Antes de aplicar la técnica, los nitratos son reducidos a nitritos a través de una columna de cadmio-cobre. Para efectuar la reducción, se agrega a la muestra una disolución de cloruro de amonio que produce un efecto amortiguador en la disolución y forma un complejo con el cadmio que ha sido oxidado durante la reducción del nitrato. Una vez reducidos los iones nitrato a nitrito se aplica la técnica antes descrita. La precisión estimada para nitritos más nitratos fue de 9 % en 6.0  $\mu\text{M}$ .

## **2.3 Muestreo y análisis de sedimentos**

### **Muestreo de sedimentos**

En cada estación de muestreo se tomó una muestra de sedimento durante la época de secas/98 y lluvias/98, para caracterizar las estaciones y conocer su relación con las macroalgas. Se hizo un análisis granulométrico que permitió conocer el tipo de sustrato al cual se encuentran asociadas las macroalgas. También se determinó la concentración de fósforo en sedimentos, con el fin de estimar la cantidad de fósforo disponible en el sedimento y buscar si existe alguna relación con las macroalgas. En este mismo sedimento se estimó la materia orgánica por pérdidas por ignición. La muestra de sedimento fue recolectada con un tubo de plástico de 6.5 cm de diámetro, seleccionando para los análisis solamente la sección de los 2 cm superiores de muestra.

### **Análisis granulométrico**

El análisis se hizo de acuerdo al método propuesto por Folk (1974) que consiste en tomar una alícuota de 10 a 15 gramos de muestra de sedimento y lavarla varias veces con peróxido de hidrógeno al 30 % para eliminar la materia orgánica presente. Después de eliminar esta materia orgánica, el sedimento es tamizado a través de una malla de 62 micras para separar los sedimentos gruesos como arenas y gravas de los finos (limos y arcillas), utilizando para ello un litro de agua destilada. La fracción gruesa retenida en el tamiz es secada (70-90°C) y pesada para conocer el porcentaje total de gravas y arenas. Posteriormente, la fracción líquida que contiene los limos y arcillas que fueron arrastrados por el agua a través del tamiz son transferidos a una probeta de 1 litro y añadiendo 0.6 g de hexametofosfato de sodio que actúa como dispersante evitando la floculación. Posteriormente, se agita muy bien el contenido en la probeta y se procede al pipeteo. En este estudio se hicieron dos pipeteos a los 20 segundos a 20 cm de profundidad de la probeta y a las 4 horas a 5.5 cm de profundidad. En cada pipeteo se tomó un volumen de 20 ml de la mezcla de agua-sedimento, los cuales se llevaron a un crisol previamente tarado, se pesaron y se secaron. Una vez conocidos los pesos de los sedimentos retenidos en los tamices y pipeteos se procedió a hacer los cálculos correspondientes para determinar el

porcentaje de arenas, limos y arcillas.

**Determinación de fósforo total en sedimento** (Strickland & Parsons, 1972; Aspila *et al.*, 1976; Páez *et al.*, 1991)

Se tomaron alícuotas de 0.4 g de sedimento seco y molido, el cual se calcinó en la mufla a 550°C durante 1 hora. Posteriormente, se diluyeron las cenizas con 10 ml de HCL 1M, colocándose en baño sónico por 10 minutos seguido de centrifugación a 2500 r.p.m. durante 10 minutos, para después retirar el extracto ácido. La determinación del fósforo total a partir del extracto ácido se determinó por la técnica colorimétrica descrita por Strickland & Parsons, (1972).

**Determinación de materia orgánica en sedimento** (Dean, 1974; Páez *et al.*, 1984)

Se determinó el porcentaje de pérdidas por ignición, después de calcinar el sedimento en crisoles en un horno mufla a una temperatura de 550°C por una hora. La diferencia entre el peso del crisol antes de quemarse y el peso después de la calcinación es el peso perdido por ignición, y se atribuye a la transformación de la materia orgánica presente en la muestra en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

## 2.4 Estudio cualitativo de la flora

### Selección de las localidades

Para realizar el inventario de macroalgas se establecieron 45 estaciones a lo largo de todo el sistema lagunar, tratando de cubrir la mayor heterogeneidad ambiental y espacial posible (Fig.1). Las estaciones fueron ubicadas mediante un posicionador geográfico por satélite, y los muestreos se realizaron a finales de abril y principios de noviembre de 1998, fecha hasta que se prolongó la época de lluvias.

### Método de muestreo

En cada estación, se recolectaron ejemplares representativos de las diferentes especies encontradas a lo largo de 2 transectos perpendiculares entre sí, de aproximadamente 50 metros de longitud cada uno (uno paralelo y otro perpendicular a la línea de costa). El transecto perpendicular abarcó desde la zona supralitoral

superior hasta la zona submareal, y las algas se colectaron mediante buceo. Con el transecto paralelo se cubrió la zona de mareas donde las algas se recogieron de forma manual, mediante un recorrido a lo largo del mismo. Las algas se despegaron del sustrato con una espátula, se guardaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas, y se transportaron al laboratorio para ser fijadas en formol al 4 % con agua de mar, para su posterior identificación taxonómica.

### **Identificación taxonómica**

La identificación taxonómica se realizó de acuerdo a las características morfológicas externas, internas y reproductivas: tipo de ramificaciones, color, forma de crecimiento, talla, disposición, tipo de células y estructuras reproductivas. Para conocer las características morfológicas internas de la planta se hicieron cortes longitudinales y transversales que fueron observados en un microscopio compuesto a 10x y 40x.

Las claves dicotómicas empleadas fueron de Abbott & Hollenberg (1976); Abbott (1983); Dawson (1949, 1954, 1956, 1961, 1962a, 1962b, 1963); Hollenberg & Dawson, 1961; Joly; 1967 y Setchell & Gardner (1920, 1924), y la clasificación sistemática de Wynne (1986).

## **2.5 Estudio cuantitativo de las poblaciones macroalgales**

### **Descripción de las localidades**

Después de realizar un estudio general del sistema, para detectar las áreas de mayor concentración de macroalgas, se establecieron 3 estaciones de muestreo donde se realizó el estudio cuantitativo (Fig. 1), las que se localizan próximos a los sitios que reciben las distintas descargas residuales.

Estación 1, se localiza en la parte más interna del sistema. Es un área rodeada de manglar, próxima a la granja de camarón denominada la "Clementina" con una profundidad media de 50 cm. Los sedimentos son principalmente areno-limosos con cierta diferenciación entre las épocas climáticas.

Estación 2, se localiza hacia la parte media del sistema, distante de la planta termoeléctrica, aproximadamente 2 km. Es una zona rodeada de manglar, la profundidad media es de 1.20 m, los sedimentos en secas son principalmente arenosos con cierta predominancia de restos de concha de moluscos.

Estación 4, es una zona localizada propiamente en el estero de Urías, frente a la flota atunera y cercana a la localización de las industrias que procesan productos marinos, la profundidad media es de 80 cm. Los sedimentos son predominantemente arenosos.

### **Método de muestreo**

En cada estación se colectó la biomasa de macroalgas y se midieron una serie de variables ambientales que se especifican en el apartado de variables físicas y químicas. Los muestreos se realizaron cada 15 días, desde febrero a mayo para la época de secas, y desde agosto a octubre de 1998 para la época de lluvias. Aunque el estudio estaba previsto que finalizara en octubre de 1998, los muestreos se continuaron con una periodicidad mensual hasta febrero de 1999, para intentar completar el ciclo de las especies *Gracilaria sjoestedtii* (desaparición) y *Ulva lactuca* (aparición) como había sido observado en el periodo de secas de 1998.

Por consiguiente, nuestro estudio abarcó tres épocas climáticas; de febrero a mayo de 1998, con 7 muestreos (época de secas/98), de agosto a octubre de 1998 con 7 muestreos (época de lluvias/98), y de noviembre de 1998 a febrero de 1999 con 4 muestreos (época de secas/99).

En la época de secas los muestreos se realizaron durante la bajamar. En la época de lluvias se realizaron en pleamar debido a que la bajamar iniciaba a primeras horas de la madrugada.

El estudio cuantitativo de las macroalgas se realizó con el método de transectos y cuadrantes, que se aplica con mucha frecuencia en los estudios de distribución y abundancia de macroalgas (e.g. Vásquez y González, 1995; Alveal y Romo, 1995). Como unidad de muestreo se utilizó un cuadrado de 50 cm de lado (0.25 m<sup>2</sup> de superficie) que era lanzado desde una embarcación de apoyo.

Se realizó un estudio para estimar el área mínima de muestreo, para lo cual se representó el coeficiente de variación de la biomasa de las especies, frente al aumento gradual en el área de muestreo (Bakus, 1990), observándose una estabilización de la curva de biomasa al llegar a un área equivalente a 6 cuadrantes ( $1.5 \text{ m}^2$ ). En cada estación se colectó a lo largo de tres transectos (réplicas) perpendiculares a la línea de costa, cubriendo desde la zona supralitoral superior hasta la zona submareal. En las estaciones 1 y 2, donde el área cubierta por macroalgas era menor con respecto a la estación 4, los transectos fueron de 75 metros y separados 25 metros entre sí. Se colectó el material presente en dos cuadrantes al inicio de cada transecto a los 25 metros y a los 50 metros. En la estación 4 los transectos estaban separados entre sí 100 metros; y se colectaron cuadrates al inicio del transecto a los 50 metros y a los 100 metros.

Se colectó todo el material ficológico presente en cada cuadrante, y se guardó en bolsas de plástico debidamente etiquetadas para su transporte al laboratorio para continuar con su tratamiento.

### **Procesamiento en el laboratorio**

Los ejemplares se separaron por especie, se identificaron taxonómicamente y se lavaron con agua de mar para eliminar epibiontes y sedimento. Después, se introdujeron en una estufa donde se mantuvieron a una temperatura entre  $50$  y  $60^\circ\text{C}$  hasta obtener peso constante, este proceso tardó aproximadamente de 3 a 5 días, dependiendo de la especie. Posteriormente, se pesaron utilizando una balanza Ohaus de 400 g con precisión de  $\pm 0.1$  g.

Para cada estación y muestreo se estimó la biomasa por especie como g peso seco/ $\text{m}^2$  (suma de la biomasa total estandarizado a  $1 \text{ m}^2$ ).

## **2.6 Análisis de los datos**

Una vez realizados los análisis físico-químicos, se elaboró una matriz que contenía todos los datos de las variables ambientales medidas en cada estación, y por muestreo. Después de comprobar que los datos no seguían una distribución normal,

se utilizó el coeficiente de correlación de rango de Spearman ( $\rho$ ), para datos no normales (Zar, 1984; Calvo, 1985), para determinar las asociaciones entre las variables ambientales. Posteriormente, se estudiaron todas las variables en conjunto, mediante el análisis de componentes principales (ACP), ya que se considera uno de los análisis multivariantes más adecuados para el estudio de las variables ambientales (Warwick & Clarke, 1991; Clarke & Warwick, 1994).

El ACP parte de una matriz original generada solo por los datos y reduce las dimensiones de los datos produciendo un espacio de bajas dimensiones (en cuanto al número de ejes) definido por ejes llamados componentes principales, los cuales son combinaciones de las variables originales seleccionadas jerárquicamente en la dirección que ellas proyecten una mayor variabilidad. En resumen, el ACP sintetiza la información n-dimensional en un número de variables mínimo llamados factores o componentes que expliquen la varianza total obtenida en la comunidad (Farrel *et al.*, 1995).

Se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas a las variables físicas y químicas medidas utilizando la prueba U de Mann-Whitney para dos muestras independientes para estudiar las diferencias significativas entre las épocas de muestreos en cada estación, así como entre las estaciones por cada época (Zar, 1984; Calvo, 1985).

Con los datos del estudio cualitativo se construyó una matriz presencia/ausencia de especies por estación y época de muestreo, que se analizó desde dos perspectivas sugeridas por Field *et al.*, (1982) para el estudio de comunidades bentónicas marinas: análisis univariantes y análisis multivariantes. Entre los análisis univariantes, se estimó la riqueza de especies en cada estación (número de especies) (Magurran, 1991), y entre los multivariantes, se utilizaron métodos de clasificación de las estaciones en función de su composición específica (presencia/ausencia), que agrupa las muestras (estaciones) y/o las especies según sus afinidades (Naranjo *et al.*, 1997; Farrel *et al.*, 1995). Para la aplicación de las técnicas de clasificación, se construyó en primer lugar, una matriz de similaridad aplicando el índice cualitativo de Sorensen.

$$\text{Índice de Sorensen: } C_s = \frac{2a}{2a + b + c}$$

donde:

$a$  = número de especies presentes en las dos muestras (estaciones) que se están comparando

$b$  = número de especies presentes en la primera muestra y ausentes en la segunda

$c$  = número de especies ausentes en la primera muestra y presentes en la segunda

Una de las grandes ventajas de la utilización de este índice, es que no tiene en cuenta las dobles ausencias en las matrices originales, tan frecuentes en los estudios de ecología del bentos (Krebs, 1989) y facilita la clasificación de las estaciones (o especies) en grupos afines, o su ordenación espacial mediante diagramas bi-tridimensionales en los que la semejanza entre cada par de estaciones queda reflejada por su distancia relativa en la representación. Posteriormente, los resultados son expresados en dendrogramas que representan las relaciones entre las muestras utilizando como método de agrupación UPGMA ('unweighted pair-group method using centroids') (Sneath & Sokal, 1973).

A continuación, se estudió la contribución media de cada especie a la disimilaridad entre cada par de grupos comparados, de los establecidos en los dendrogramas. De esta forma es posible determinar que especies son las responsables de los agrupamientos que se observen en los dendrogramas, así como conocer el grado de discriminación de las especies entre los mismos (Clarke, 1993; Estacio *et al.*, 1999). Esta discriminación entre grupos se basó en la matriz de similitud obtenida mediante la aplicación del índice de Sorensen. Al calcular la disimilaridad media entre los pares de muestras ( $j$ , en el primer grupo y  $k$  en el segundo), podemos obtener la disimilaridad media total  $\bar{\delta}_{jk}$  entre los grupos comparados. Al hacer lo mismo en cada  $\delta_{jk}(i)$  resulta la contribución media  $\bar{\delta}_i$  de la especie  $i$  al total de la disimilaridad. Debido a que hay muchos pares de muestras contribuyendo a la media  $\bar{\delta}_{jk}$ , es posible conocer la consistencia de la contribución de una especie a  $\bar{\delta}_{jk}$  mediante la relación del cociente entre  $\bar{\delta}_i$  y su desviación típica

$(\bar{\delta}/SD(\delta))$ . Si  $\bar{\delta}$  es grande y la desviación es pequeña, entonces su cociente será grande  $(\bar{\delta}/SD(\delta))$ , por lo que podemos decir que la especie no solo contribuye mucho a la disimilaridad entre los grupos, sino que también lo hace consistentemente, lo que significa que es una buena especie discriminante entre los grupos comparados.

A los datos resultantes del estudio cuantitativo se aplicaron correlaciones de Spearman para datos no paramétricos (Zar, 1984; Calvo, 1985) para conocer las relaciones entre la biomasa macroalgal y las variables físicas y químicas medidas. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación cruzada con desfases de 15 y 30 días anteriores a cada muestreo, porque en ocasiones el efecto de una variable ambiental no se refleja instantáneamente sobre la variable biótica, ya que este efecto se puede producir días, o incluso semanas, después del registro de la variable ambiental.

Cada uno de los análisis y las pruebas referidas, así como las representaciones gráficas fueron realizadas mediante los paquetes computacionales Excel'97, Statgraphics, Statistica versión 5, y Primer versión 1994.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Climatología

Durante el presente estudio, la temporada de lluvias se extendió desde junio a noviembre (Fig. 2), registrándose los valores más elevados en verano, con un máximo de 395.8 mm en septiembre (CNA, 1998).

Durante el año de muestreo se registraron vientos variables del nor-noroeste en el invierno y vientos más fuertes del oeste-noroeste durante el verano.

La disminución en el número de horas luz en verano-otoño se relaciona con la presencia de cielos nubosos, que fueron responsables de las lluvias registradas durante estos meses (Fig.3).

La temperatura ambiental media anual para la región de Mazatlán, fue de 25°C, con un máximo de 29.3°C en verano (junio) y un mínimo de 19.8°C en invierno (diciembre). La temperatura superficial del agua de mar registró en promedio 26.6°C entre febrero y noviembre, con un máximo de 30.8°C en verano y un mínimo de 22°C en invierno (CNA, 1998). Las Figs. 4 y 5 , representan la temperatura media mensual del agua para los años 96 al 99. En ella, puede observarse claramente el inicio de El Niño 98 a finales de 1997, alcanzando su nivel máximo para la época de invierno en diciembre de 1997 seguida de enero de 1998, y provocando temperaturas medias del agua mayores a las reportadas para esas fechas en los años anteriores (>5°C). Sin embargo, al finalizar el año de 1998, las temperaturas registradas fueron menores a los años anteriores, indicando el inicio de un año La Niña. Por otro lado, para el año 1998, la insolación registrada fue contraria a la registrada en el año anterior con máxima en invierno-primavera y mínima en verano-otoño (Fig. 5), (CNA, 1998).

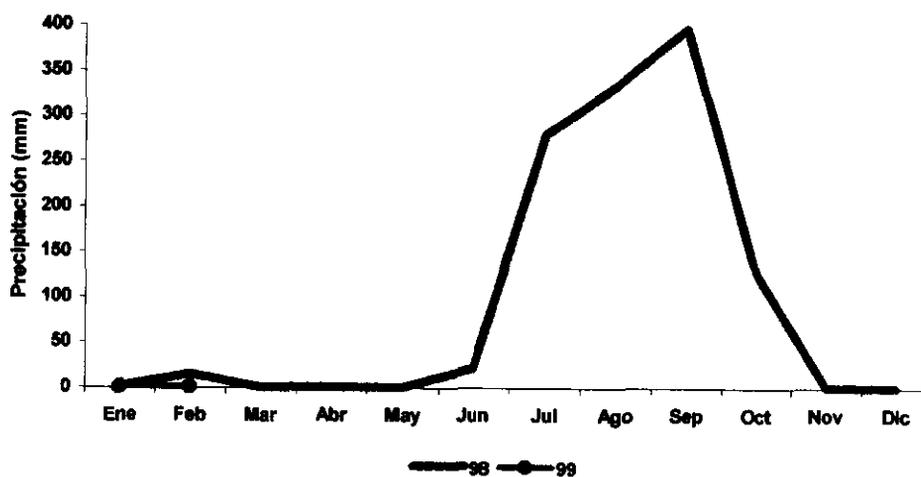


Fig. 2. Precipitación durante el ciclo de muestreo en la región de Mazatlán, Sin.

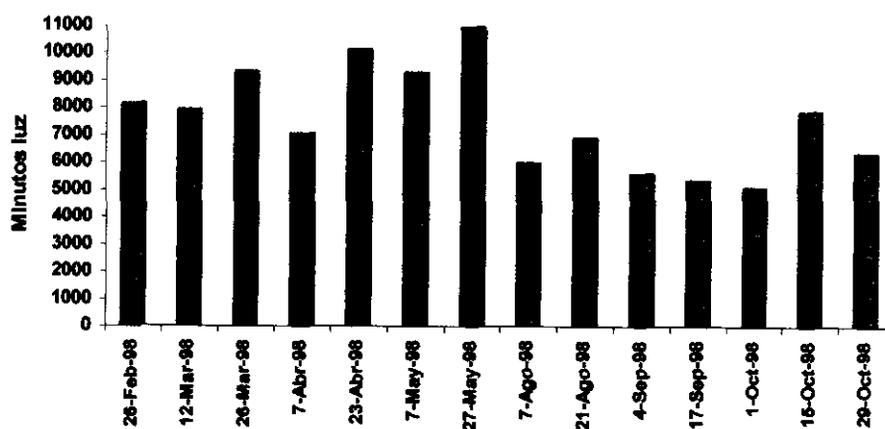


Fig. 3. Minutos luz acumulados entre periodos intermuestrales en la región de estudio.

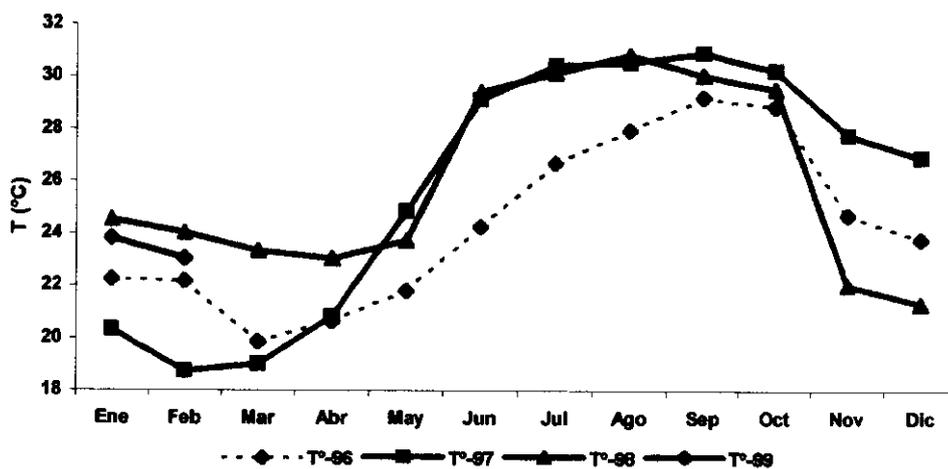


Fig. 4. Temperatura superficial del agua en la región de estudio durante los años 1996-1999.

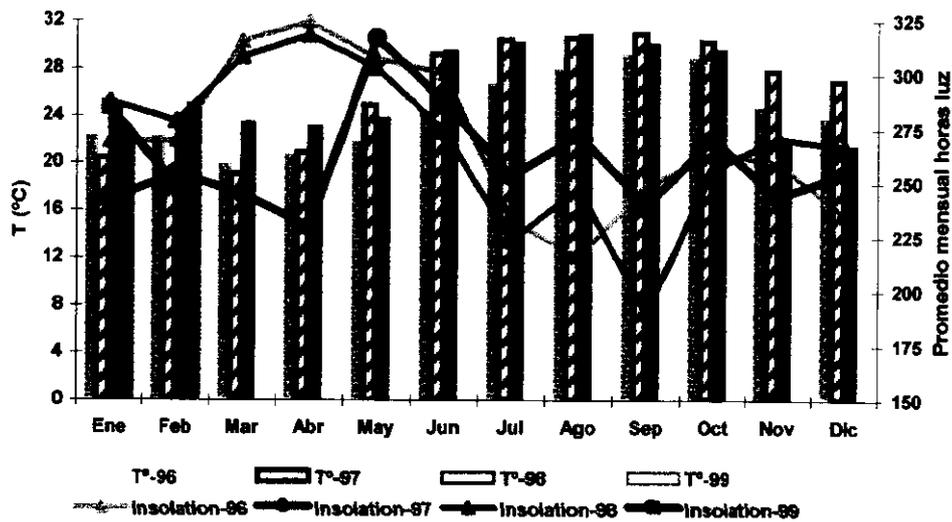


Fig. 5. Temperatura superficial del agua y promedio mensual de insolución en la región de estudio durante los años 1996-1999.

## 3.2 Variables físicas y químicas

### Temperatura y clorinidad

Los valores mínimos de temperatura en la época de secas/98 se registraron en la estación 1 (Anexo I, Fig. 6A), con valores entre 24 y 27°C con promedio de 25.5°C, mientras que en las estaciones 2 y 4 los valores fueron más similares, estuvieron entre 24.4 y 30°C con promedio de 27.1°C en ambas estaciones. En lluvias se observó un comportamiento más similar entre las estaciones. Las estaciones 1 y 4 presentaron una temperatura promedio igual a 29.9°C, mientras que en la estación 2 la temperatura promedio fue ligeramente mayor con 30.8°C. Después de la época de lluvias se observó un descenso de temperatura y se aprecia claramente que la estación 1 registró la mínima temperatura con 20.6°C, correspondiente al período de secas/99.

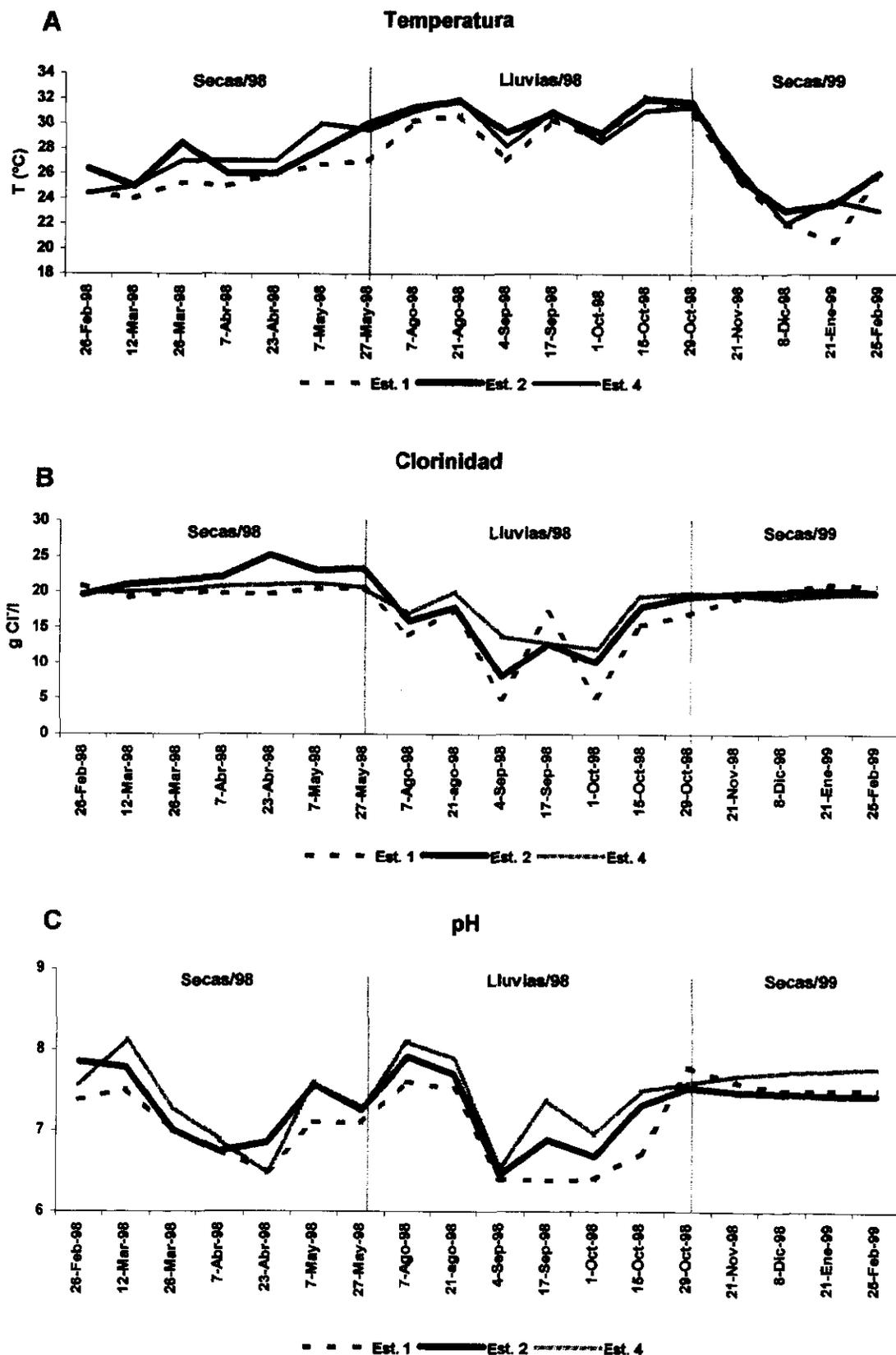
La clorinidad presentó un comportamiento estacional con mínimos en verano-otoño (lluvias) y máximos en primavera-invierno (secas) con diferencias entre las estaciones de muestreo. En la Fig. 6B se observan los valores de clorinidad obtenidos. Las clorinidades mínimas y máximas registradas para la época de secas fueron de 19.24 y 25.21 g Cl<sup>-</sup>/l, registradas en las estaciones 1 y 2 respectivamente. En secas, las estaciones 1 y 4 fueron muy similares, con clorinidades entre 19.24 y 21.31 g Cl<sup>-</sup>/l con promedios de 20.12 y 20.54 g Cl<sup>-</sup>/l respectivamente. Sin embargo, la estación 2 presentó variaciones más marcadas conforme se avanzó en los muestreos presentando valores entre 19.57 y 25.21 g Cl<sup>-</sup>/l y su valor promedio fue mayor con 22.28 g Cl<sup>-</sup>/l. En época de lluvias se presentaron fuertes precipitaciones pluviales lo que provocó un descenso de la clorinidad en el sistema, haciéndose más marcados estos descensos en los muestreos que coincidieron con el momento de la precipitación. Los valores de clorinidad para lluvias estuvieron entre 5.03 y 20.2 g Cl<sup>-</sup>/l y se registraron en las estaciones 1 y 2 respectivamente. Las estaciones 1 y 2 presentaron valores entre valores promedios de 13.02 y 14.58 g Cl<sup>-</sup>/l, mientras que en la estación 4 fue ligeramente mayor con 16.84 g Cl<sup>-</sup>/l.

## **pH**

Las variaciones de pH en el sistema no fueron muy notables. Se encontró un gradiente positivo de pequeña magnitud de la cabecera (estación 1) hacia la boca del sistema (estación 4). En la Fig. 6C, se puede observar que el comportamiento del pH sigue una misma tendencia en las tres estaciones muestreadas con ligeras variaciones entre ellas mismas. En la estación 1, en el periodo de secas el pH osciló entre 6.49 y 7.51, en cambio en lluvias estuvo entre 6.38 y 7.74. Los valores medios fueron 7.10 y 6.97 respectivamente. En la estación 2, los valores estuvieron entre 6.74 y 7.85 en secas y entre 6.45 y 7.91 en lluvias, y con promedios de 7.46 y 7.21 respectivamente. En la estación 4, los valores registrados estuvieron entre 6.47-8.12 en secas y entre 6.56-8.09 en lluvias. El promedio para ambas épocas fue 7.40 y 7.42 respectivamente.

## **Sólidos suspendidos totales**

La distribución de los sólidos en el estero fue muy heterogénea, como puede observarse en la Fig. 7A. Las variaciones fueron muy notables tanto entre los muestreos de cada estación, como entre las estaciones mismas. En general la presencia de sólidos en secas fue menor para la estación 1 con valores entre 1.7 y 18.8 mg/l y promedio de 11.3 mg/l pero contrario a esto, en lluvias aumentaron considerablemente alcanzando valores entre 14.8 y 88.2 mg/l y un valor promedio de 39.0 mg/l. Las estaciones 2 y 4 mostraron un comportamiento más regular, en promedio las concentraciones de sólidos en secas fueron de 16.0 y 19.0 mg/l, esta misma tendencia se mantiene en lluvias con valores ligeramente más bajos (14.6 y 16.8 mg/l). Después de la época de lluvias, los valores de los sólidos suspendidos tienden a bajar en las tres estaciones.



## **Oxígeno disuelto y DBO**

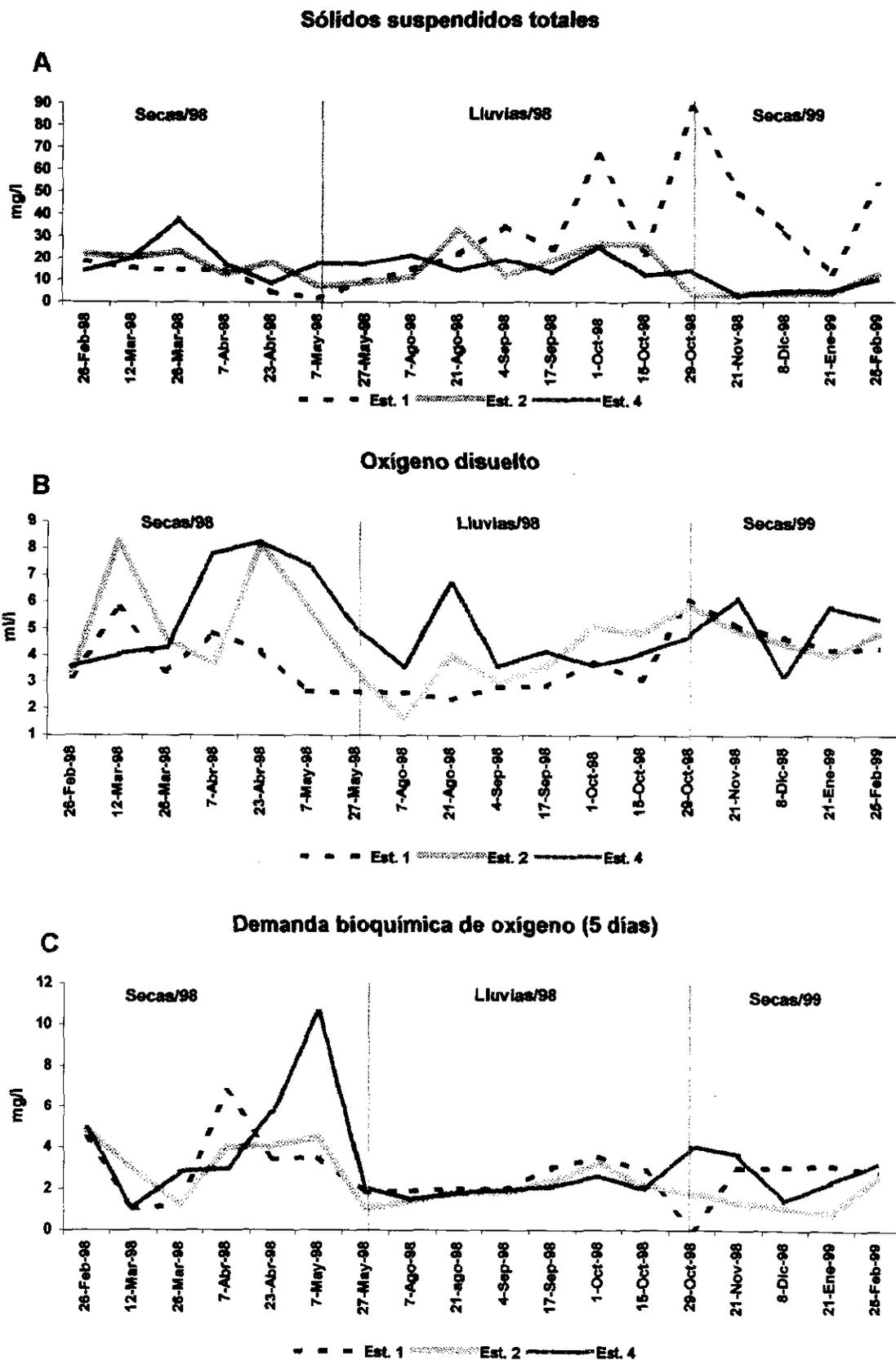
El oxígeno disuelto, presentó variaciones notables entre las estaciones así como entre los muestreos (Fig. 7B). En la estación 1, en secas, los valores estuvieron entre 2.6-5.8 ml/l, mientras que en lluvias, oscilaron entre 2.3 y 6.1 ml/l. La concentración promedio fue de 3.8 ml/l en secas y 3.6 ml/l en lluvias. En la estación 2, durante la época de secas, las concentraciones oscilaron entre 3.3-8.3 ml/l. En promedio 5.2 ml/l. En la época de lluvias, se observó un descenso, con valores entre 1.6-5.9 ml/l. Con promedio de 4.0 ml/l. La estación 4 presentó variaciones de forma gradual tanto para secas como para lluvias, aquí las concentraciones estuvieron entre 3.6- 8.2 ml/l y promedio de 5.8 ml/l en la época de secas y entre 3.6-6.7 ml/l en lluvias y promedio de 4.6 ml/l para la época de lluvias.

La demanda bioquímica de oxígeno presentó variaciones más notables en secas (Fig. 7C). Las estaciones 1 y 2 mostraron un patrón de variación semejante con una demanda promedio de 3.2 mg/l, mientras que la estación 4 la demanda promedio fue más elevada con 4.3 mg/l. En esta última estación, se observó la mayor demanda bioquímica de oxígeno (10.61 ml/l) en la época de secas.

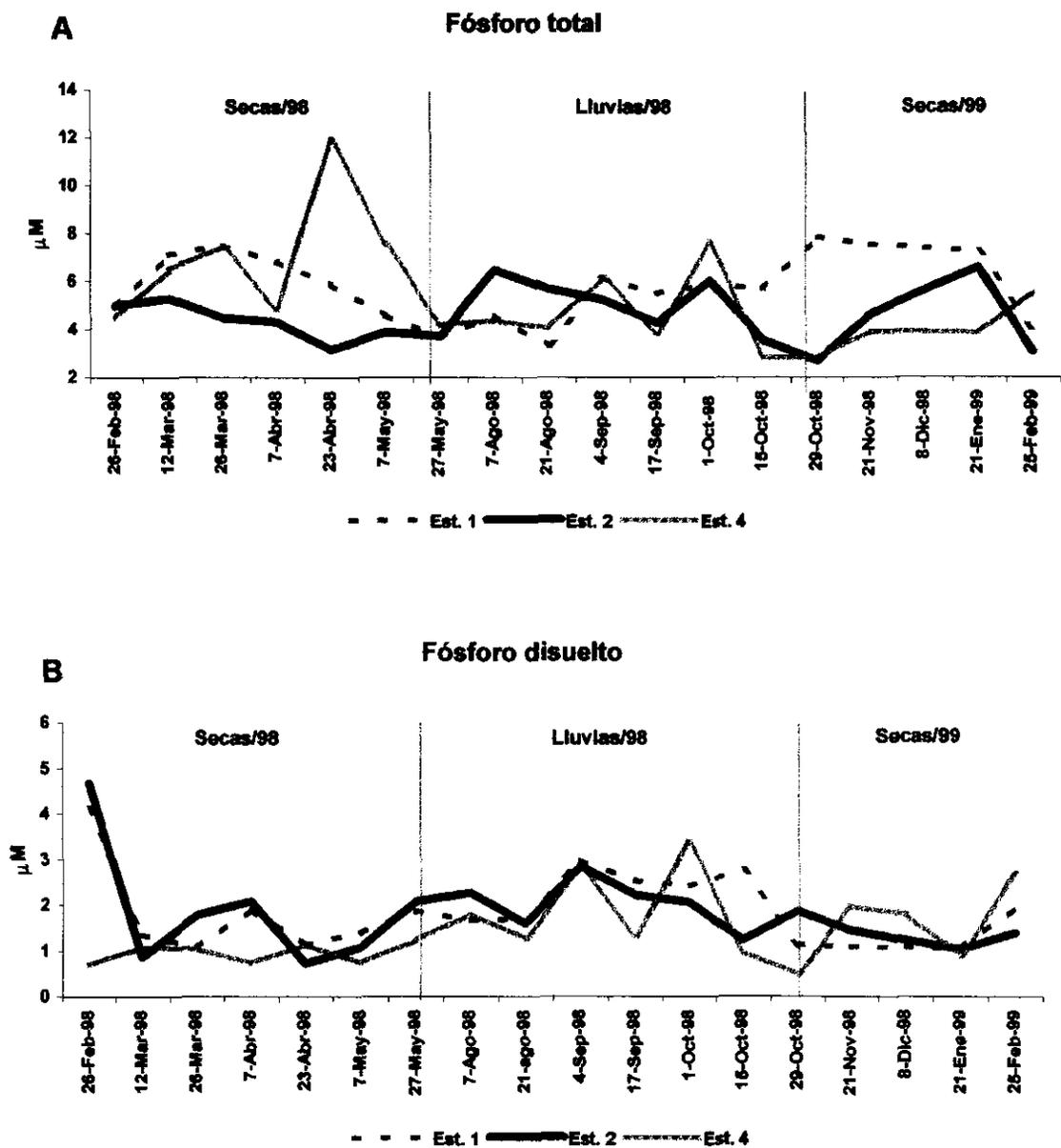
En lluvias se observó un comportamiento muy semejante entre las demandas bioquímicas de oxígeno de las tres estaciones, los valores promedio registrados en las estaciones 1, 2 y 4 fueron de 2.5, 2.1 y 2.4 mg/l.

## **Fósforo total y fósforo disuelto**

Las variaciones de fósforo total fueron muy notables entre las estaciones (Fig. 8A). El intervalo de concentración para la estación 1 en secas estuvo entre 3.7 y 7.1  $\mu\text{M}$ , mientras que en lluvias fue de 3.3 a 7.8  $\mu\text{M}$ , los valores promedio para ambas épocas fueron semejantes 5.8 y 5.6  $\mu\text{M}$ . En la estación 2 el intervalo de fósforo estuvo entre 3.2 y 5.3  $\mu\text{M}$  en secas y de 2.7 a 6.5  $\mu\text{M}$  en lluvias. Se midieron concentraciones promedio de 4.2 y 4.8  $\mu\text{M}$  respectivamente. Cuando se compararon entre sí, se observaron diferencias significativas entre las dos épocas estudiadas. La estación 4, presentó mayor variación entre los muestreos de secas, aquí se observó un pico de 11.9  $\mu\text{M}$ , que fue el valor máximo de concentración medido en este estudio,



*Figs. 7-ABC. Variación estacional de sólidos suspendidos (A), oxígeno disuelto (B) y demanda bioquímica de oxígeno (C), en las estaciones 1, 2 y 4.*



Figs. 8-AB. Variación estacional de fósforo total (A) y fósforo disuelto (B), en las estaciones 1, 2 y 4.

los valores de concentración estuvieron entre 4.2 a 11.9  $\mu\text{M}$ , mientras que en lluvias entre 2.8 a 7.6  $\mu\text{M}$ , siendo el promedio de 5.8 y 5.6  $\mu\text{M}$  para la época de secas y lluvias respectivamente.

Lo valores máximos de fósforo disuelto, se encontraron en las estaciones 1 y 2 al inicio de los muestreos de secas (feb/98) (Fig.8B) con concentraciones de 4.1 y 4.7  $\mu\text{M}$  respectivamente, mientras que en la estación 4 la concentración para esta fecha estuvo dentro de los valores más bajos que se registraron en este estudio.

Los valores medidos en la estación 1, estuvieron entre 1.1 y 4.1  $\mu\text{M}$  en secas y entre 1.1 y 3.0  $\mu\text{M}$  en lluvias, con ligeras diferencias en el valor promedio (1.8 y 2.2  $\mu\text{M}$ ). En la estación 2 las concentraciones estuvieron entre 0.7 a 4.7  $\mu\text{M}$  en secas y entre 1.2 a 2.8  $\mu\text{M}$  en lluvias, aunque se observan variaciones notables entre los mínimos y máximos entre ambas estaciones el valor promedio para ambas épocas fue muy semejante (1.9 y 2.0  $\mu\text{M}$ ). La estación 4 presentó los valores menores de concentración, los cuales quedaron en el intervalo 0.7 a 1.2  $\mu\text{M}$  en secas y de 0.5 a 3.4  $\mu\text{M}$  en lluvias. Con valores promedio de 0.94 y 1.74  $\mu\text{M}$  para secas y lluvias respectivamente.

#### **Amonio, nitritos y nitratos**

El comportamiento del amonio (Fig. 9A) siguió la misma tendencia en las 3 estaciones durante la época de secas con ligeras variaciones entre los valores de concentración de las estaciones, mientras que en lluvias se observan variaciones más marcadas entre muestreos y estaciones. El intervalo de concentración para la estación 1 fue de 1.1 a 14.8  $\mu\text{M}$  en secas y de 8.8 a 21.2  $\mu\text{M}$  en lluvias, con valores promedio de 10.2 y 17.2 respectivamente

En el caso de la estación 2 las concentraciones fueron superiores a la estación 1 con valores entre 4.6 y 25.9 en secas y entre 3.1 y 31.4 en lluvias los valores promedio fueron de 15.4 y 17.4  $\mu\text{M}$  para cada época. La estación 4, en época de secas, presentó valores dentro del intervalo 5.6 y 20.5  $\mu\text{M}$  y promedio de 13.0  $\mu\text{M}$ . En época de lluvias, estuvieron entre 7.2 y 36.2 y un valor promedio de 17.9  $\mu\text{M}$ .

Las concentraciones de nitritos (Fig.9B) al inicio de secas (feb/98), tuvieron un comportamiento irregular entre las estaciones, el cual conforme al avance de los muestreos observó una tendencia semejante entre las estaciones 1 y 4.

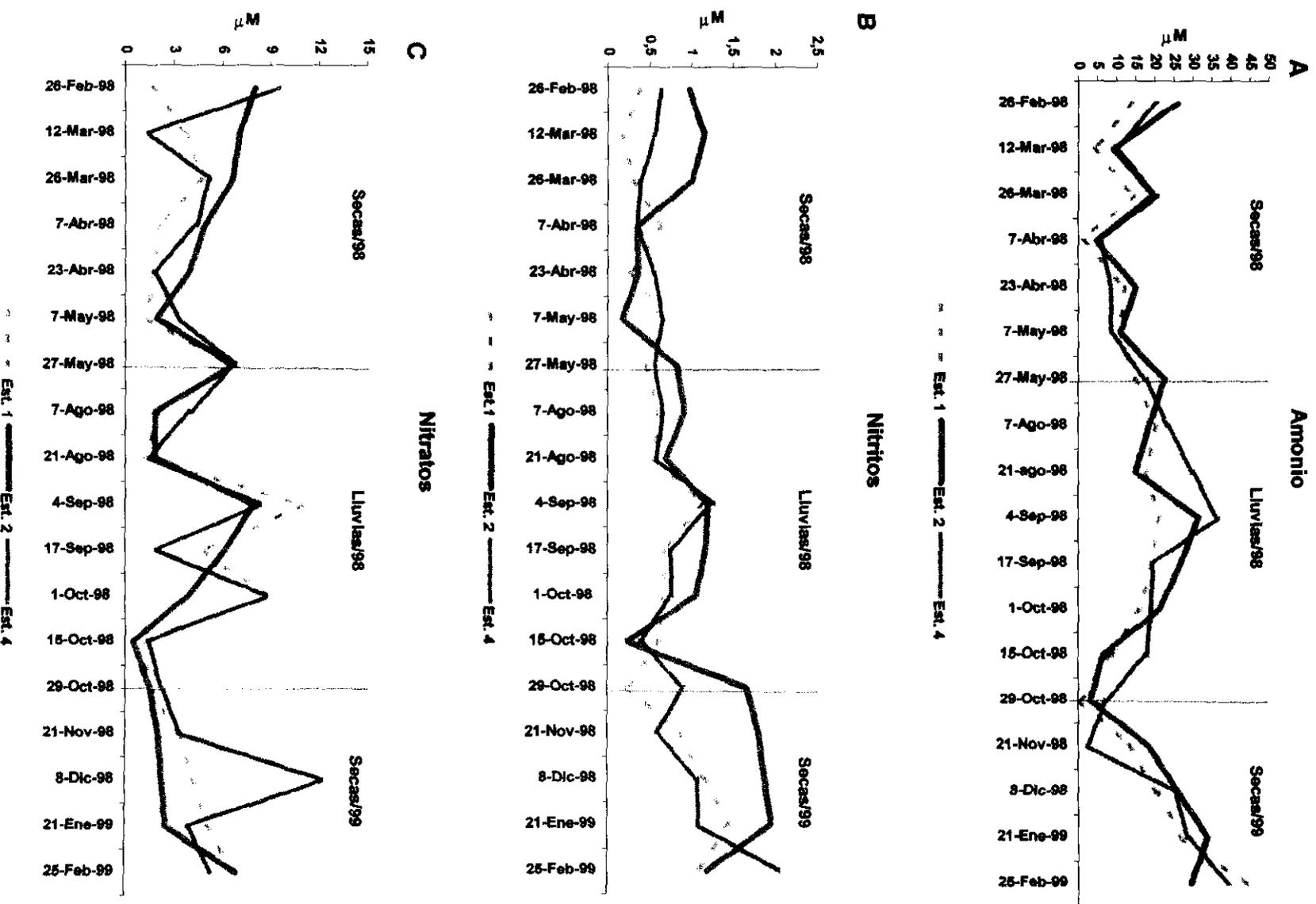
Los valores en la concentración de la estación 1 fueron menores comparados a las estaciones 2 y 4. El intervalo de concentración en la estación 1 fue de 0.17 a 0.68  $\mu\text{M}$  en secas mientras que en lluvias fue de 0.24 a 1.16  $\mu\text{M}$ , los valores promedio de cada estación fueron de 0.41 y 0.65  $\mu\text{M}$ .

Las concentraciones de la estación 2 fueron ligeramente mayores a la estación 4. Estuvieron en el intervalo de 0.17 a 1.16  $\mu\text{M}$  en secas y de 0.23 a 1.67  $\mu\text{M}$  en lluvias, con promedio de 0.69 y 0.99  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Para la estación 4, las concentraciones de secas estuvieron en el intervalo de 0.34 a 0.66  $\mu\text{M}$ , en promedio 0.53  $\mu\text{M}$  y en lluvias de 0.38 a 1.26 con promedio de 0.74  $\mu\text{M}$ .

Al igual que el amonio y los nitritos, los nitratos tuvieron un comportamiento irregular al inicio de los muestreos de secas (Fig. 9C), el cual se fue homogeneizando con el avance de los muestreos, posteriormente, en lluvias se observaron variaciones más notables entre los muestreos y estaciones.

En secas, la estación 1 presentó las menores concentraciones que se ubicaron dentro del intervalo de 1.4  $\mu\text{M}$  a 6.5  $\mu\text{M}$ , mientras que en lluvias estuvieron entre 1.2 y 10.9  $\mu\text{M}$ .

Los valores promedio para ambas épocas fueron de 3.1 y 4.4  $\mu\text{M}$ . En el caso de la estación 2 las concentraciones fueron ligeramente mayores a la estación 4. Los valores estuvieron entre 1.9 y 8.0  $\mu\text{M}$  en secas y entre 0.5 y 7.9  $\mu\text{M}$  en lluvias, con promedio de 5.6 y 3.3  $\mu\text{M}$  respectivamente. En cambio la estación 4 presentó concentraciones entre 1.4 y 9.4  $\mu\text{M}$  en secas y entre 1.4 y 8.7  $\mu\text{M}$  en lluvias. Los valores promedio en ambas épocas fueron de 4.6 y 3.9  $\mu\text{M}$ , respectivamente.



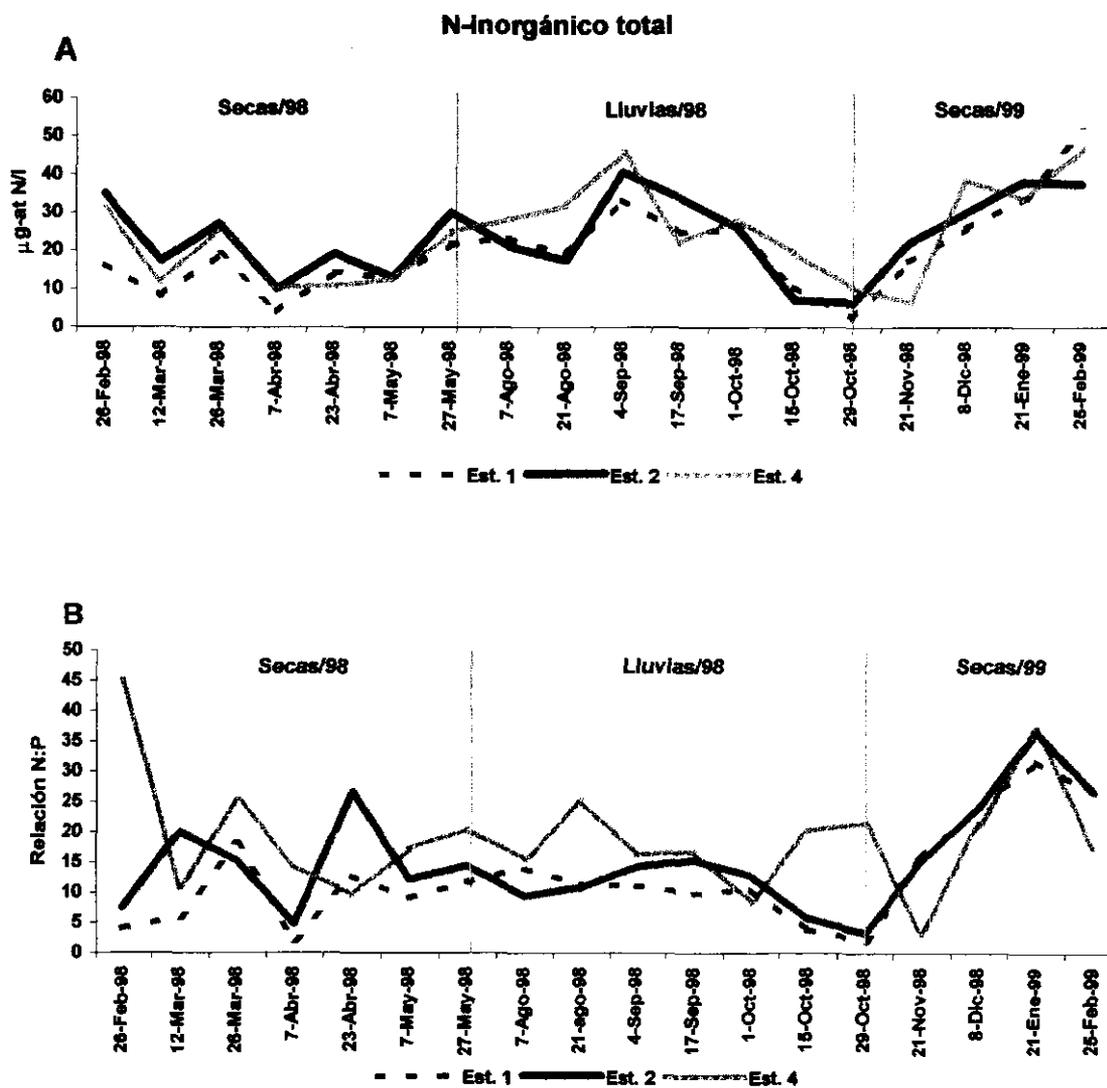
Figs. 9-ABC. Variación estacional de amonio (A), nitritos (B) y nitratos (C), en las estaciones 1, 2 y 4.

### **Nitrógeno inorgánico total**

Esta variable resume los valores de las especies del nitrógeno ya descritas en este estudio (Fig. 10A). Las concentraciones en la estación 1, estuvieron en el intervalo de 3.8 a 21.7  $\mu\text{M}$ , con promedio de 13.7  $\mu\text{M}$ , mientras que en lluvias entre 1.8 a 33.3  $\mu\text{M}$  y promedio de 19.8  $\mu\text{M}$ . La estación 2 presentó los mayores valores de concentración en secas en el intervalo de 9.9 a 34.8  $\mu\text{M}$  con promedio de 21.6  $\mu\text{M}$  y entre 7.1 y 40.5 en lluvias, con promedio de 21.8  $\mu\text{M}$ . La estación 4 presentó valores entre 10.3 y 25.9  $\mu\text{M}$  en secas, con promedio de 18.1  $\mu\text{M}$  y en lluvias, entre 2.0 y 45.7  $\mu\text{M}$ , con promedio de 22.3  $\mu\text{M}$ .

### **Relación N:P**

La relación N:P (Anexo II), en la estación 1 (Fig. 10B) presentó variaciones entre los muestreos en el intervalo 2.0-18.1 para la época de secas, mientras que en lluvias tiende a ser más homogéneo y decrece gradualmente hacia finales de la época, encontrando valores entre 1.6 y 14.0. En el caso de la estación 2, en la época de secas sus valores se mantuvieron por arriba de la estación 1, en el intervalo de 4.7 a 26.7, lo mismo sucede en lluvias al inicio se mantiene más homogéneo y decrece al finalizar la época con valores entre 3.3 a 15.3. Sin embargo, la estación 4 tuvo un comportamiento muy irregular para las dos épocas, aquí se encontró un máximo de 45.0 al inicio de los muestreos de secas, decreciendo notablemente y manteniéndose entre 9.6 a 25.7, continuado estas variaciones entre los muestreos hacia lluvias, al finalizar esta época decrece notablemente, pero aumenta considerablemente entre diciembre y enero, para decrecer de nuevo en febrero de 1999.



Figs. 10-AB. Variación estacional del nitrógeno inorgánico total (A) y la relación N:P (B), en las estaciones 1, 2 y 4.

### 3.3 Composición del sedimento

De acuerdo al análisis granulométrico (Anexo III) se observó que predominaron los sedimentos arenosos en las tres estaciones de estudio, con ligeras variaciones en cuanto a las épocas de muestreo. En la estación 1, en la época de secas, el porcentaje de arenas (62.0 %) fue menor que en lluvias (71.5%). Por el contrario en la estación 2 los sedimentos arenosos representaron un mayor porcentaje en secas (92.6%) que en lluvias (76.4%). En la estación 4 los sedimentos arenosos fueron similares (92.6%) en secas y lluvias.

Por otra parte, el comportamiento del fósforo total en el sedimento presentó variaciones notables entre estaciones y épocas. En las estaciones 1 y 4, las concentraciones fueron mayores en secas (188.4 y 339.9  $\mu\text{g-at/g}$ ) que en lluvias, cuando los valores estuvieron en 156.78 y 228.4  $\mu\text{g-at/g}$ . Por el contrario, en la estación 2 las concentraciones fueron mayores en lluvias (209.0  $\mu\text{g-at/g}$ ) con respecto a secas (161.2  $\mu\text{g-at/g}$ ).

Otro componente importante en los sedimentos sin duda, es la materia orgánica. Se observó un mayor porcentaje (25.7%) en la época de secas de la estación 1, mientras que en lluvias disminuyó notablemente a 4.5 %, este mismo comportamiento se observó en la estación 4, pero con una menor diferencia en sus valores. Por el contrario en la estación 2 el porcentaje fue mayor en lluvias que en secas.

### 3.4 Heterogeneidad ambiental en el Sistema de Urías: relación entre las variables ambientales

Se observaron diferencias significativas entre la mayoría de las medias de las variables ambientales para los dos periodos de estudio, secas y lluvias (Tabla 1). Así, en la estación 1, se obtuvieron diferencias significativas para la temperatura, clorinidad, fósforo disuelto, amonio, nitritos y nitrógeno inorgánico total, siendo mayores los valores de las diferencias en la época de lluvias que en secas para la

temperatura, y los nutrientes, pero contrario para la clorinidad. En la estación 2, fueron significativamente diferentes los nitratos, nitritos, fósforo disuelto y total, siendo mayores los valores de estas diferencias en lluvias que en secas para las variables mencionadas a excepción de los nitratos. Por otro lado, en la estación 4, las diferencias significativas entre ambas épocas fueron también para la temperatura y los nutrientes; fósforo total y disuelto, amonio, nitritos y nitratos. Siendo mayores los valores de las diferencias en lluvias que en secas para la temperatura, amonio nitritos y fósforo disuelto y contrario para nitratos y fósforo total.

En cuanto a la relación N:P el análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre secas y lluvias para las estaciones 2 y 4, siendo mayores los valores en lluvias que en secas en ambas estaciones.

Al comparar los valores de cada variable física-química entre las estaciones en la época de secas y lluvias separadamente (Tabla 2) se observó que la mayoría de las variables presentaron diferencias significativas entre estaciones para una misma época. Tenemos que la temperatura, presentó diferencias significativas entre la estación 1-2 tanto en secas como en lluvias y entre las estaciones 1-4 en época de secas. Asimismo, esa diferencia se observó entre las estaciones 2 y 4 en época de lluvias. Otra variable importante en este estudio es la clorinidad que presentó diferencias significativas al compararla entre todas las estaciones tanto en secas como en lluvias.

Los nutrientes tuvieron un comportamiento irregular entre las estaciones. El amonio observó diferencias significativas entre las estaciones 1-2, y 2-4 en la época de secas. El nitrato también presentó diferencias entre las estaciones antes mencionadas, pero además entre las estaciones 1-4 en secas. La variable que presentó diferencias significativas entre todas las estaciones comparadas y épocas fue el nitrito. El nitrógeno inorgánico total presentó las mismas diferencias significativas que el amonio por ser esta especie la que representa el mayor porcentaje. Respecto a la relación N:P, se observó que la mayoría de las estaciones y épocas comparadas presentaron diferencias significativas a excepción del N:P entre las estaciones 1 y 2 en la época de lluvias donde no hubo tales diferencias.

Tabla 1. Comparación de las variables físicas y químicas entre estaciones por época de muestreo.

Los valores promedio $\pm$ desv.std. significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre estaciones por época se marcan con un asterisco (\*).

( Entre paréntesis el número de muestras).

Variable	SECAS						LLUVIAS											
	Est.1	vs	Est. 2	Est.1	vs	Est. 4	Est. 1	vs	Est. 2	Est. 1	vs	Est. 4	Est. 2	vs	Est. 4			
Temperatura (°C)	25.5 $\pm$ 1.1*		27.13 $\pm$ 1.75*	25.5 $\pm$ 1.1*		27.13 $\pm$ 2.08*	27.13 $\pm$ 1.75		27.13 $\pm$ 2.08	29.96 $\pm$ 1.65*		30.87 $\pm$ 1.1*	29.96 $\pm$ 1.65		29.92 $\pm$ 1.97	30.87 $\pm$ 1.1*		29.92 $\pm$ 1.97*
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
Clorinidad (g Cl/l)	20.1 $\pm$ 0.58*		22.28 $\pm$ 6.55*	20.1 $\pm$ 0.58*		20.54 $\pm$ 0.54*	22.28 $\pm$ 6.55*		20.54 $\pm$ 0.54*	13.03 $\pm$ 5.5*		14.58 $\pm$ 4.30*	13.03 $\pm$ 5.5*		16.84 $\pm$ 3.46*	14.58 $\pm$ 4.30*		16.84 $\pm$ 3.46*
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
Sólidos susp.tot. (mg/l)	11.33 $\pm$ 6.29*		15.96 $\pm$ 1.81*	11.33 $\pm$ 6.29*		19.01 $\pm$ 9.34*	15.96 $\pm$ 1.81		19.01 $\pm$ 9.34	39.02 $\pm$ 27.76		18.66 $\pm$ 10.70	39.02 $\pm$ 27.76		15.48 $\pm$ 7.06*	18.66 $\pm$ 10.70		15.48 $\pm$ 7.06
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
pH	7.1 $\pm$ 0.39*		7.46 $\pm$ 0.41*	7.1 $\pm$ 0.39*		7.4 $\pm$ 0.60*	7.46 $\pm$ 0.41		7.4 $\pm$ 0.60	6.97 $\pm$ 0.63*		7.21 $\pm$ 0.55*	6.97 $\pm$ 0.63*		7.42 $\pm$ 0.52*	7.21 $\pm$ 0.55*		7.42 $\pm$ 0.52*
	(5)		(5)	(5)		(5)	(5)		(5)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
Oxígeno disuelto (ml/l)	3.79 $\pm$ 1.19*		5.23 $\pm$ 2.35*	3.79 $\pm$ 1.19*		5.77 $\pm$ 1.96*	5.23 $\pm$ 2.35		5.77 $\pm$ 1.96	3.35 $\pm$ 1.29*		3.99 $\pm$ 1.42*	3.35 $\pm$ 1.29*		4.56 $\pm$ 1.20*	3.99 $\pm$ 1.42*		4.56 $\pm$ 1.20*
	(7)		(6)	(7)		(7)	(6)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
DBO (mg/l)	3.16 $\pm$ 2.03		3.22 $\pm$ 1.54	3.16 $\pm$ 2.03		4.29 $\pm$ 3.21	3.22 $\pm$ 1.54		4.29 $\pm$ 3.21	2.54 $\pm$ 0.70*		2.06 $\pm$ 0.59*	2.54 $\pm$ 0.70		2.44 $\pm$ 0.93	2.06 $\pm$ 0.59*		2.44 $\pm$ 0.93*
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(6)		(7)	(6)		(7)	(7)		(7)
Fósforo total ( $\mu$ M)	5.79 $\pm$ 1.44*		4.25 $\pm$ 0.74*	5.79 $\pm$ 1.44		6.71 $\pm$ 2.67	4.25 $\pm$ 0.74*		6.71 $\pm$ 2.67*	5.56 $\pm$ 1.39*		4.85 $\pm$ 1.40*	5.56 $\pm$ 1.39*		4.44 $\pm$ 1.66*	4.85 $\pm$ 1.40		4.44 $\pm$ 1.66
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
Fósforo disuelto ( $\mu$ M)	1.83 $\pm$ 1.05		1.90 $\pm$ 1.35	1.83 $\pm$ 1.05		0.94 $\pm$ 0.22	1.90 $\pm$ 1.35*		0.94 $\pm$ 0.22*	2.17 $\pm$ 0.67		2.01 $\pm$ 0.51	2.17 $\pm$ 0.67*		1.74 $\pm$ 0.96*	2.01 $\pm$ 0.51*		1.74 $\pm$ 0.96*
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
Amonio ( $\mu$ M)	10.18 $\pm$ 5.48*		15.37 $\pm$ 7.67*	10.18 $\pm$ 5.48		12.99 $\pm$ 6.30	15.37 $\pm$ 7.67*		12.99 $\pm$ 6.30*	17.23 $\pm$ 4.55		17.43 $\pm$ 10.24	17.23 $\pm$ 4.55		17.89 $\pm$ 10.94	17.43 $\pm$ 10.24		17.89 $\pm$ 10.94
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(6)		(7)	(6)		(7)	(7)		(7)
Nitritos ( $\mu$ M)	0.41 $\pm$ 0.19*		0.69 $\pm$ 0.39*	0.41 $\pm$ 0.19*		0.53 $\pm$ 0.12*	0.69 $\pm$ 0.39*		0.53 $\pm$ 0.12*	0.65 $\pm$ 0.27*		0.99 $\pm$ 0.45*	0.65 $\pm$ 0.27*		0.74 $\pm$ 0.26*	0.99 $\pm$ 0.45*		0.74 $\pm$ 0.26*
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
Nitratos ( $\mu$ M)	3.12 $\pm$ 1.95*		5.56 $\pm$ 2.11*	3.12 $\pm$ 1.95*		4.59 $\pm$ 2.83*	5.56 $\pm$ 2.11*		4.59 $\pm$ 2.83*	4.38 $\pm$ 3.98		3.35 $\pm$ 2.74	4.38 $\pm$ 3.98		3.90 $\pm$ 2.98	3.35 $\pm$ 2.74		3.90 $\pm$ 2.98
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
N-inorg. total ( $\mu$ g-at N/l)	13.72 $\pm$ 6.26*		21.62 $\pm$ 9.23*	13.72 $\pm$ 6.26		18.11 $\pm$ 8.66	21.62 $\pm$ 9.23*		18.11 $\pm$ 8.66*	19.80 $\pm$ 10.49		21.78 $\pm$ 12.87	19.80 $\pm$ 10.49		20.3 $\pm$ 14.14	21.78 $\pm$ 12.87		20.3 $\pm$ 14.14
	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)	(7)		(7)
Relación N:P	9.04 $\pm$ 5.59*		14.37 $\pm$ 7.43*	9.04 $\pm$ 5.59*		20.38 $\pm$ 12.43	14.37 $\pm$ 7.43*		20.38 $\pm$ 12.43	8.96 $\pm$ 4.34		10.23 $\pm$ 4.43	8.96 $\pm$ 4.34*		14.34 $\pm$ 7.03*	10.23 $\pm$ 4.43*		14.34 $\pm$ 7.03*

Tabla 2. Comparación de las variables físicas y químicas entre épocas por estación de muestreo. Los valores promedio  $\pm$  dev.std.significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre épocas por estaciones se marcan con un asterisco (\*). (Entre paréntesis el número de muestras).

Variable	Estación 1		Estación 2		Estación 4	
	Secas	Lluvias	secas	Lluvias	Secas	Lluvias
Temperatura (°C)	25.5 $\pm$ 1.1*	29.96 $\pm$ 1.65*	27.13 $\pm$ 1.75	30.87 $\pm$ 1.1	27.13 $\pm$ 2.08*	29.92 $\pm$ 1.97*
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
Clorinidad (g Cl-/l)	20.1 $\pm$ 0.58*	13.03 $\pm$ 5.5*	22.28 $\pm$ 6.55	14.58 $\pm$ 4.30	20.54 $\pm$ 0.54	16.84 $\pm$ 3.46
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
Sólidos susp.tot. (mg/l)	11.33 $\pm$ 6.29	39.02 $\pm$ 27.76	15.96 $\pm$ 1.81	18.66 $\pm$ 10.70	19.01 $\pm$ 9.34*	15.48 $\pm$ 7.06*
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
pH	7.1 $\pm$ 0.39	6.97 $\pm$ 0.63	7.46 $\pm$ 0.41*	7.21 $\pm$ 0.55*	7.4 $\pm$ 0.60	7.42 $\pm$ 0.52
	(5)	(7)	(5)	(7)	(5)	(7)
Oxígeno disuelto (ml/l)	3.79 $\pm$ 1.19*	3.35 $\pm$ 1.29*	5.23 $\pm$ 2.35	3.99 $\pm$ 1.42	5.77 $\pm$ 1.96*	4.56 $\pm$ 1.20*
	(7)	(7)	(6)	(7)	(7)	(7)
DBO (mg/l)	3.16 $\pm$ 2.03	2.54 $\pm$ 0.70	3.22 $\pm$ 1.54*	2.06 $\pm$ 0.59*	4.29 $\pm$ 3.21*	2.44 $\pm$ 0.93*
	(7)	(6)	(7)	(7)	(7)	(7)
Fósforo total ( $\mu$ M)	5.79 $\pm$ 1.44	5.56 $\pm$ 1.39	4.25 $\pm$ 0.74*	4.85 $\pm$ 1.40*	6.71 $\pm$ 2.67*	4.44 $\pm$ 1.66*
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
Fósforo disuelto ( $\mu$ M)	1.83 $\pm$ 1.05*	2.17 $\pm$ 0.67*	1.90 $\pm$ 1.35*	2.01 $\pm$ 0.51*	0.94 $\pm$ 0.22*	1.74 $\pm$ 0.96*
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
Amonio ( $\mu$ M)	10.18 $\pm$ 5.48*	17.23 $\pm$ 4.55*	15.37 $\pm$ 7.67	17.43 $\pm$ 10.24	12.99 $\pm$ 6.30*	17.89 $\pm$ 10.94*
	(7)	(6)	(7)	(7)	(7)	(7)
Nitritos ( $\mu$ M)	0.41 $\pm$ 0.19*	0.65 $\pm$ 0.27*	0.69 $\pm$ 0.39*	0.99 $\pm$ 0.45*	0.53 $\pm$ 0.12*	0.74 $\pm$ 0.26*
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
Nitratos ( $\mu$ M)	3.12 $\pm$ 1.95	4.38 $\pm$ 3.98	5.56 $\pm$ 2.11*	3.35 $\pm$ 2.74*	4.59 $\pm$ 2.83*	3.90 $\pm$ 2.98*
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
N-inorg.total ( $\mu$ g-at N/l)	13.72 $\pm$ 6.26*	19.80 $\pm$ 10.49*	21.62 $\pm$ 9.23	21.78 $\pm$ 12.87	18.11 $\pm$ 8.66	20.3 $\pm$ 14.14
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
Relación N:P	9,04 $\pm$ 5,59	8,96 $\pm$ 4,34	14,37 $\pm$ 7,43*	10,23 $\pm$ 4,43*	20,8 $\pm$ 12,13*	14,34 $\pm$ 7,03*
	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)

Por otro lado, entre las variables mejor correlacionadas (Anexo IV) se tiene que en las estaciones 2 y 4 en lluvias y secas respectivamente, la temperatura superficial del agua se correlacionó positivamente con la clorinidad ( $r=0.86$  y  $r=0.81$  con  $p<0.05$ ). Por el contrario en la estación 1 su relación fue negativa para ambas épocas ( $r=-0.59$  y  $p<0.05$ ). Otra correlación importante de la temperatura se dio de forma negativa con los nitratos durante la época de lluvias en las estaciones 1 y 2 ( $r=-0.93$  y  $r=-0.86$  con  $p<0.05$ ). De la misma forma podemos señalar otras correlaciones de la clorinidad en la estación 2 que fueron relevantes como con el pH con  $r=-1.0$  en la época de secas, y con el nitrógeno inorgánico total y el amonio ( $r=-0.96$  y  $p<0.01$ ) en la época de lluvias. Igualmente con estas dos últimas variables se vuelve a repetir la correlación en la estación 4 durante la época de lluvias.

Al resumir el nitrógeno inorgánico total de las formas nitrogenadas, amonio, nitritos y nitratos y correlacionarlo con cada una de las formas del nitrógeno, se puede observar que el amonio por ser el componente más abundante (75%), presentó una correlación cercana a 1.0 en las 3 estaciones de muestreo. Sin embargo, con el oxígeno disuelto, el nitrógeno inorgánico total observó una correlación negativa con valores de  $r=-0.56$ ,  $r=-0.63$  y  $p<0.05$  en ambas épocas de las estaciones 1 y 2, pero, en la estación 4 se obtuvieron valores de  $r=-0.90$  y  $p<0.01$  para la época de lluvias y  $r=-0.77$  y  $p<0.001$  en ambas épocas.

Otras correlaciones importantes entre los nutrientes, se observaron entre el fósforo disuelto de forma positiva con los nitritos en la estación 1 en lluvias y en ambas épocas ( $r=0.86$  y  $0.61$  y  $p<0.05$ ); con los nitratos en las estaciones 2 y 4 en la época de lluvias ( $r=0.86$ ,  $r=0.81$  y  $p<0.05$ ), y con el nitrógeno inorgánico total y el amonio en ambas épocas de la estación 2 ( $r=0.63$ ,  $r=0.66$  y  $p<0.05$ ).

Por otra parte, el análisis de componentes principales considerando todos los muestreos de forma conjunta (Fig. 11), indicó dos gradientes de variación que en conjunto explican el 90% de la varianza total. Sobre el PC1 (72.32 % de la varianza total), las variables que más influencia ejercieron fueron, los nutrientes, principalmente, el amonio (-0.491), nitratos (-0.42) y nitritos (-0.38). Hacia el eje negativo del PC1, quedaron incluidos los muestreos iniciales de las estaciones 2 y 4

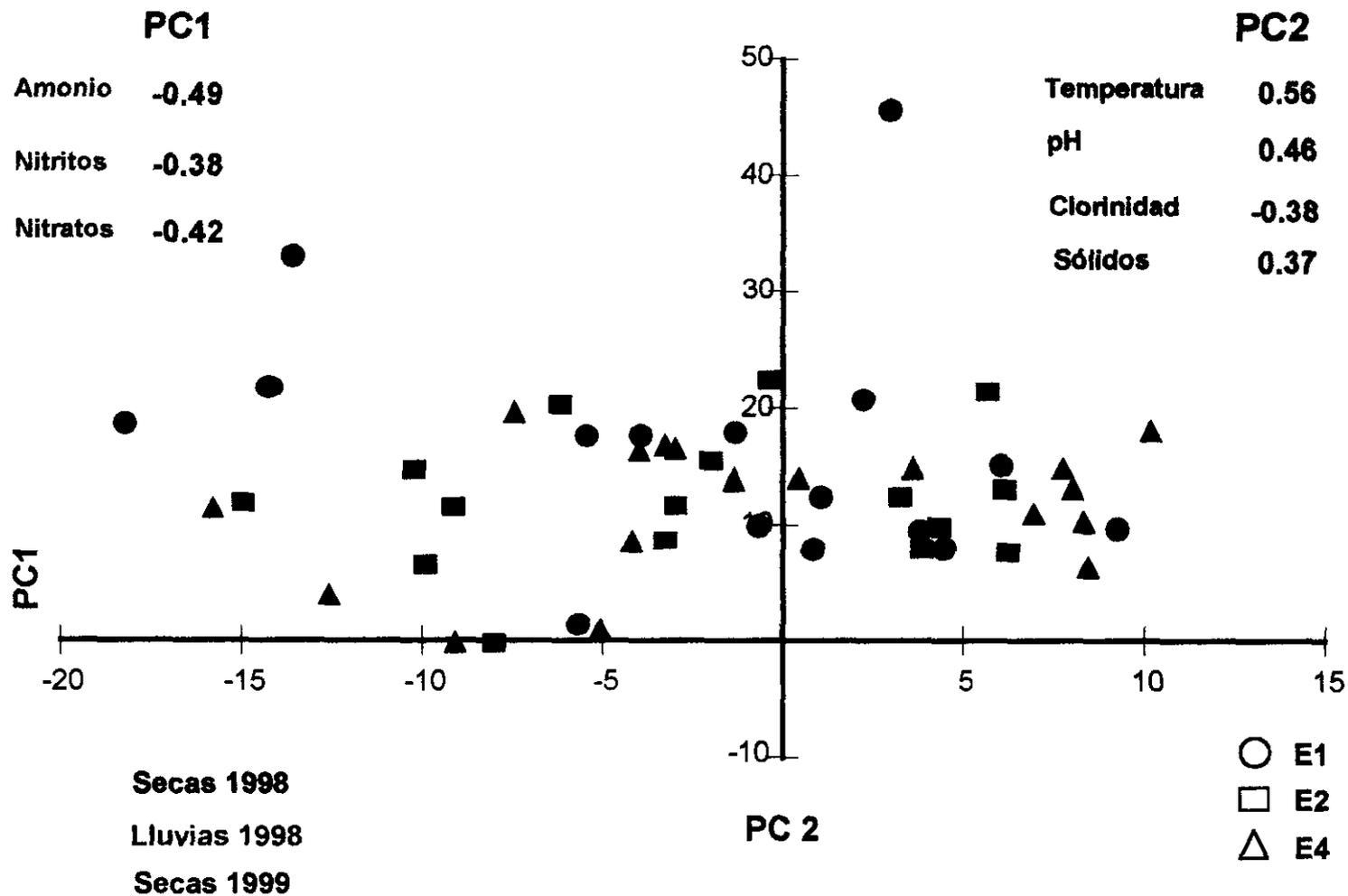


Fig. 11. Análisis de componentes principales de las estaciones 1, 2 y 4.

y finales de las estaciones 1 y 2 de la época de secas/98, quedando ubicados entre los muestreos de lluvias/98 y secas/99. Los muestreos inicial y final (1 y 18) de la estación 2, quedaron muy cercanos, lo que sugiere que en las dos épocas de secas (98 y 99) que abarca el estudio, estas estaciones presentaron condiciones similares en cuanto a los nutrientes. La misma situación se da entre los muestreos finales de la época de secas/99 (muestreo 17 de las estaciones 1, y 4) con el muestreo inicial de la estación 4, y muestreos 7 y 3 de la estación 2. Sobre el PC2 (16.63 % de la varianza total) las variables que más influyeron fueron la temperatura (0.56), el pH (0.4589), los cloruros (-0.37821), y los sólidos en suspensión (0.374). El componente II a diferencia con el anterior, muestra un gradiente muy claro, agrupando las muestras en función de las tres épocas climáticas que abarcó el estudio, periodo secas 1998 (febrero-mayo), lluvias 1998 (agosto-octubre), y secas 1999 (diciembre-febrero). De esta forma, en la representación encontramos asociados los muestreos correspondientes a la época de lluvias (muestreos del 8 al 14), por debajo de este grupo encontramos los muestreos correspondientes a la época de secas/98 (muestreos 1 al 7), finalmente, más abajo tenemos los muestreos 15 al 18 que corresponden con la época de secas para el ciclo 1999.

### **3.5 Discusión sobre las variables ambientales**

La temperatura superficial del agua, así como la clorinidad mostraron un comportamiento estacional típico de aguas tropicales y subtropicales (De la Lanza, 1994), con valores altos en verano-otoño y mínimos en invierno-primavera para la temperatura, y al contrario para la clorinidad. Las temperaturas más bajas en este periodo de estudio se encontraron en la cabecera del sistema (estación 1), contrario a lo señalado por Alvarez (1977); Cortés (1982,1984); Villalba (1986), que registraron un gradiente positivo de la boca hacia la cabecera en época de secas. Estas diferencias sin embargo, pudieran atribuirse a la diferente profundidad de las estaciones de seguimiento, así como a la hora en que se efectuó la medición. Arenas *et al.*, (1986) durante un ciclo de variación diurna registraron los mínimos de temperatura en las primeras horas de la mañana, y los más altos entre las 10 y 18 horas. En nuestro caso, el caso los muestreos de la cabecera (estación 1), se hicieron

entre 8 y 10 de la mañana, mientras que en el resto se realizó entre las 11 y las 14 horas. Sin embargo, en la época de secas/98, se observó un marcado aumento de la temperatura en relación con los años anteriores, debido al calentamiento de las aguas provocado por el fenómeno "El Niño" presente a finales del año 1997 y que se prolongó hasta principios de 1998 (Garza, 1999).

La clorinidad es referida como un parámetro químico conservativo independiente que describe las propiedades del agua de mar (De la Lanza, 1994). Los valores más altos de clorinidad para el sistema se registraron en la época de secas. El promedio de clorinidad en la cabecera y la boca fueron muy similares, mientras que en la parte media del estero (estación 2) fue mayor. Es posible que esta estación, por la cercanía a la planta termoeléctrica esté influenciada por las aguas sobrecalentadas que descargan en el sistema, las cuales probablemente al ser vertidas ya contienen salinidades mayores, además, producen una mayor evaporación, y por consiguiente aumentan la salinidad. Por el contrario en lluvias las estaciones 1 y 2 son más parecidas, mientras que las estaciones 1 y 4 muestran un gradiente positivo hacia la boca del estero de 3.8 g CL/l, tal vez ocasionado por las aguas oceánicas con mayor salinidad que entran al sistema.

Los valores de pH medidos en el presente estudio estuvieron por debajo de los registrados por Maldonado *et al.*, (1980), registrándose 8.3 en la época de lluvias, y 8.0 en el periodo de secas. Según lo señala De la Lanza (1994), el pH no es una variable química de determinación rutinaria, y sus registros son escasos para aguas costeras mexicanas. El mismo autor también señala que es posible registrar gradientes espaciales que se manifiestan en un incremento desde la cabecera (ácido) hacia la boca (alcalinos) de los estuarios o lagunas, resultado no solo de la mezcla sino también de la precipitación de orgánicos coloidales que se encuentran en suspensión y que con el gradiente de salinidad son retirados del agua. La presencia de sólidos suspendidos en el sistema marcó un gradiente positivo de la cabecera hacia la boca en época de secas. Esta disminución en la concentración de los sólidos en la cabecera, sugiere que en esta área el movimiento del agua es lento, y que los sólidos se encuentran mayormente depositados en el fondo. Además, esta estación

puede que esté influenciada por la dinámica propia de los ecosistemas del manglar en cuanto al ciclo de materia orgánica, esperándose por consiguiente un aumento en la concentración de sólidos en suspensión. Los valores obtenidos en el presente estudio para la época de secas son menores a los registrados por Paéz *et al.*, (1990) en un ciclo de marea dentro del estero. Autores que registraron valores mínimos y máximos de 14.8 y 46.2 mg/l respectivamente. Estos mismos autores, Paéz *et al.*, (1997), encontraron valores de 74 mg/l para secas y de 48 mg/l para el periodo de lluvias en un área cercana a la cabecera.

De forma contraria, en el periodo de lluvias, los sólidos aumentaron considerablemente en la estación 1. Esto puede ser atribuido por una parte a la turbulencia del agua provocada por las precipitaciones, y a los escurrimientos que recibe el sistema. Además, otros factores como al aporte de materia orgánica del manglar, que por la poca profundidad de esta estación, no se distribuyen más ampliamente a lo largo del sistema.

Las estaciones 2 y 4 tuvieron un comportamiento similar tanto en secas como en lluvias, probablemente determinado tanto por la profundidad que permite una distribución más amplia de los sólidos, como el intercambio de agua por la cercanía a la boca del estero.

Como lo señala De la Lanza (1994) en los sistemas lagunares y estuarinos los niveles de oxígeno disuelto son determinados por la respiración y por la fotosíntesis, con variantes locales como las características geomorfológicas y de circulación. Los valores de oxígeno encontrados en este estudio quedan dentro del intervalo 2.6-5.6 ml/l registrado por Gilmartin & Revelante (1978) para el sitio de estudio (2.56-5.62 ml/l), y por encima de los mostrados por Galindo (1986) para secas y lluvias, pero quedan dentro del intervalo para algunas lagunas costeras del pacífico mexicano, cercanas al área de estudio como Huizache-Caimanero (2.0 a 7.0 ml/l) y Ensenada del Pabellón (0.4 a 5.3 ml/l) (De la Lanza, 1994).

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida del contenido de materia orgánica total en el agua, siendo los desechos metabólicos y la actividad de los autótrofos las fuentes principales de materia orgánica en los sistemas. Estas

concentraciones pueden ser muy variables dependiendo de la localidad (De la Lanza, 1994). La demanda bioquímica de oxígeno presentó un comportamiento irregular entre las estaciones y entre los muestreos en la época de secas, siendo mayor la demanda hacia la boca del sistema (estación 4). Por el contrario, en la época de lluvias se observó una mayor demanda en la cabecera (estación 1), debido posiblemente a la influencia antropogénica del área industrial cercana a la boca, y las descargas de la granja camaronícola que se ubica cercana a la cabecera, respectivamente.

El comportamiento del fósforo en el sistema siguió un patrón climático con variaciones locales, que se manifiestan con mayores concentraciones en invierno y disminución en primavera provocada por la asimilación de los productores primarios que incrementan su biomasa en esta época (De la Lanza, 1994). En el periodo de secas, las concentraciones promedio para la cabecera del estero (entre 0.94 y 1.8  $\mu\text{M}$ ) estuvieron por encima de los valores encontrados por Páez *et al.*, (1997) ( $1.4 \pm 0.3 \mu\text{M}$ ), al contrario que en la época de lluvias (1.74 y 2.2  $\mu\text{M}$ ), cuando los valores fueron inferiores a los registrados por estos autores ( $2.5 \pm 2.4 \mu\text{M}$ ). Comparando con el trabajo de Gilmartin & Relevante (1978), las concentraciones de este estudio quedan por encima de las registradas por estos autores (0.57-1.44  $\mu\text{m-at/l}$ ). Sin embargo, Contreras *et al.*, (1996) señalan que valores dentro del intervalo 0.01 y 5.0  $\text{mg-at/l}$ , son normales para la mayoría de las lagunas costeras del Pacífico.

El ciclo del nitrógeno en los cuerpos de agua costeros está determinado principalmente por los procesos biológicos (Presley & Trefry, 1980; Hatton *et al.*, 1982; Blackburn & Sorensen, 1988). Los compuestos predominantes en los ambientes marinos costeros son el amonio, nitritos y nitratos. Las concentraciones de amonio presentan una variación espacial y temporal en los cuerpos lagunares que está relacionada con los procesos biológicos de características heterotróficas (Contreras *et al.*, 1996). En el sistema de Urías, las concentraciones en la época de secas quedaron por debajo de los valores previamente medidos por Páez *et al.*, (1997) para la cabecera del sistema, al contrario de lo ocurrido en el periodo de lluvias, cuando quedaron por encima. En el presente estudio, las variaciones para

esta época fueron mínimas, y los resultados fueron menores a los registrados por De la Lanza y Rodríguez (1990, 1993) para la laguna Huizache-Caimanero donde concluyen que en lluvias las concentraciones de amonio se mantienen más o menos constantes.

Contreras *et al.*, (1996) encontraron que el intervalo promedio en lagunas costeras se encuentra generalmente entre 5 y 10  $\mu\text{g-at/l}$ , señalando que el amonio es una forma común en estos ecosistemas y su permanencia es constante a lo largo de ciclo anual. Además, estos autores señalan que los niveles más altos están relacionados con sistemas donde existen problemas de alteración ambiental. Las formas nitrogenadas del nitrato y nitrito se asocian a sistemas donde las concentraciones de oxígeno son elevadas (Contreras *et al.*, 1997), mientras con el amonio ocurre lo contrario.

Los nitritos presentaron las menores concentraciones en la época de secas, pero se incrementaron en lluvias (1.0  $\mu\text{M}$ ), coincidiendo con Contreras *et al.*, (1996) que señalan que los nitritos se incrementan en lluvias. Además, los valores de este estudio quedan ubicados en el intervalo de 0.01 a 5  $\mu\text{g-at/l}$  para nitritos-nitratos para lagunas costeras considerados como normales. Estos valores para la época de secas quedan por encima de los obtenidos por Páez *et al.*, (1997) en la cabecera del estero y por debajo para la época de lluvias.

Los nitratos tuvieron concentraciones que los ubicaron para la época de secas en mayor proporción con relación al resto de los nutrientes, sin embargo en lluvias, quedaron por encima de los valores encontrados por Gilmartin & Relevante (1978) y por Páez *et al.*, (1997) para la época de secas en la cabecera del sistema, y por debajo de los valores registrados para lluvias.

Por otro lado, Robles (1985) al realizar variaciones diurnas en secas y lluvias en el sistema, observó que las mareas no ejercieron un efecto claro en las variaciones de los nitritos y nitratos. Sin embargo, los fosfatos tuvieron cierta influencia del ciclo de mareas. En lluvias, durante la bajamar se observó un gradiente positivo de la boca hacia el interior, y, en la pleamar se registraron las menores concentraciones, atribuidas al efecto de dilución.

Por otra parte, el nitrógeno inorgánico total osciló entre 13.7 y 21.6  $\mu\text{g-at/l}$  para la época de secas y entre 19.8 a 22.3  $\mu\text{g-at/l}$  para lluvias. Según Contreras *et al.*, (1996), los valores más comunes para lagunas costeras quedan comprendidos entre 5.0 y 10.0  $\mu\text{g-at/l}$  y entre 10 y 15  $\mu\text{g-at/l}$  respectivamente, quedando los valores aquí encontrados por encima.

Además, en los ecosistemas costeros cobra mayor importancia la relación N:P que las altas concentraciones de ciertos nutrientes (Redfield, 1958; Redfield *et al.*, 1963; Rhee, 1978).

Así, una relación N:P menor a 5 indica una limitación de nitrógeno, mayor a 10 es indicativa de una limitación de fósforo, entre 5 y 10 es indiferente (Rinaldi *et al.*, 1992).

La relación N:P menor a 5 se asocia a cuerpos de agua que reciben altas concentraciones de formas fosfatadas proveniente de escurrimientos naturales o antropogénicos, mayor a 10 está relacionada a sistemas con una marcada influencia oceánica (Contreras *et al.*, 1997). La relación N:P en el sistema observó un comportamiento irregular ya que en la estación 1, tanto en lluvias como en secas el promedio quedó por debajo de 10, que son los valores que generalmente presentan la mayoría de los estuarios (Contreras, *et al.*, 1997). Sin embargo este comportamiento cambia en las estaciones 2 y 4 para las dos épocas consideradas, ya que sus valores promedios quedaron entre 10 y 20 lo que sitúa a estas estaciones de acuerdo a lo anteriormente señalado como deficientes en fósforo y con un exceso de nitrógeno.

Respecto a la relación entre variables físicas y químicas, aun cuando el comportamiento de la temperatura y la clorinidad en general para el sistema se manifestó de acuerdo a las variaciones climáticas, no sucedió así entre las estaciones, y su relación parece obedecer a factores más locales, que se manifiestan en la relación positiva que se observa en la boca en secas que puede estar mayormente influenciada por el agua oceánica que entra al sistema, mientras que en la estación 2 esta se presenta en lluvias posiblemente influenciada por las aguas sobrecalentadas de la planta termoeléctrica situada cercana a esta estación que tienden a aumentar la evaporación. Por el contrario en la cabecera (estación 1) al correlacionar todo el

periodo de estudio se dio una correlación negativa posiblemente determinada por los escurrimientos que recibe el sistema en esta zona en época de lluvias que provoca un mayor decremento de la clorinidad con respecto al resto de las estaciones, tal como lo señala Villalba (1986).

La correlación negativa entre el amonio y el oxígeno disuelto, indica que en presencia de oxígeno dominan las especies oxidadas como el nitrato, en cambio cuando hay condiciones reducidas (subóxicas o anóxicas) la forma química dominante del nitrógeno es el amonio (Stumm & Morgan, 1982). Esta relación se obtuvo en la época de secas, cuando las concentraciones de oxígeno en el agua son más elevadas probablemente por la actividad fotosintética de las microalgas (Contreras *et al.*, 1996)

Finalmente, se puede concluir que los factores ambientales presentes en el sistema lagunar de Urías, tuvieron variaciones espacio-temporales. De forma general, su comportamiento siguió un patrón definido el cual fue evidenciado por el análisis de componentes principales aplicado a estas variables, el cual mostró una asociación clara, que permite discernir acerca de las variables que marcaron el gradiente para definir estas agrupaciones entre las estaciones. Lo anterior llevó a establecer la presencia de tres épocas climáticas bien definidas; secas de 1998 (febrero-mayo de 1998), lluvias de 1998 (agosto-octubre de 1998) y secas de 1999 (noviembre de 1998-febrero de 1999).

### **3.6 Discusión sobre la composición de los sedimentos**

La composición de los sedimentos en el sistema sugiere que las diferencias entre las estaciones puede ser causada por la ubicación de las mismas dentro del sistema Urías: la presencia significativa de sedimentos limosos arcillosos en la estación 1, posiblemente, es debida al lento movimiento del agua que acumula partículas más pequeñas. Por el contrario, la mayor composición de sedimentos arenosos en las dos épocas de la estación 4 que fue ubicada cerca de la boca del estero sugiere que el constante movimiento del agua provoca acumulación de sedimentos más gruesos.

Por otro lado, en la estación 2, los sedimentos arenosos son menores en secas, debido probablemente a la composición característica de este sedimento, al observarse que esta estación presenta una gran cantidad de restos de organismos calcáreos, que pueden ser arrastrados fácilmente. Estos resultados son similares a los encontrados por Soto (1998) y Pérez (1999) que señalan la tendencia de acumulación de sedimentos más finos en las zonas con poca influencia del régimen de mareas (aguas arriba) y de mayor tamaño conforme se avanza hacia la boca del sistema. En cuanto a las concentraciones de fósforo total se observó que en la estación 4 se presentaron las mayores concentraciones medidas en este estudio durante la época de secas. Esto en parte, sugiere que la cercanía de esta estación a las fuentes antropogénicas permite una mayor acumulación con respecto a la estación 2, que presentó menores concentraciones tal como lo señaló Pérez (1999) al encontrar un aumento en las concentraciones de fósforo total en los sedimentos desde la cabecera del sistema hacia la boca, coincidiendo los valores más altos con la región portuaria.

Analizando las concentraciones de nutrientes registradas en el estero de Urías durante este estudio y de acuerdo a la escala de nutrientes propuesta por Ignitiades *et al.*, (1992) señalan que, concentraciones de fosfatos entre  $0.90-1.18 \mu\text{g-at.l}^{-1}$  corresponden a aguas eutrofizadas, quedando aquí ubicadas las concentraciones obtenidas en las tres estaciones de muestreo tanto para secas ( $0.94-1.90 \mu\text{M}$  en promedio) como para lluvias ( $1.74-2.17 \mu\text{M}$  en promedio) y como aguas hipertróficas de acuerdo a la escala de Håkanson (1994) que ubica en esta clasificación a las aguas costeras con concentraciones de fósforo total mayores a  $40 \text{ mg. m}^{-3}$  ( $>1.29 \mu\text{M. P.l}^{-1}$ ). Para el nitrógeno encontramos algo parecido, así Ignitiades *et al.*, señalan como aguas eutróficas, aquellas que presentan concentraciones medias entre  $0.79-1.01 \text{ mg-at.l}^{-1}$  para nitratos,  $0.50-0.66 \text{ mg-at.l}^{-1}$  para nitritos y  $2.95-3.85 \text{ mg-at.l}^{-1}$  para el amonio. En este estudio los valores promedio en las tres estaciones estuvieron entre  $3.12$  y  $5.56 \text{ mg-at. l}^{-1}$  para nitratos en secas, y entre  $3.35$  y  $4.38$  en lluvias; para los nitritos entre  $0.41-0.69 \text{ mg-at.l}^{-1}$  en secas y entre  $0.65-0.94 \text{ mg-at.l}^{-1}$  en lluvias, mientras que el amonio quedó entre  $10.18-15.37$  en secas y entre  $17.23-17.89 \text{ mg-at. l}^{-1}$  en lluvias. Esta situación del

sistema es corroborada por las concentraciones de clorofila registradas en el sistema por Barranco (1999), que obtuvo valores de  $10.3 \text{ mg.m}^{-3}$  en un sitio cercano a la estación 4; entre  $6.9\text{-}15.6 \text{ mg.m}^{-3}$  cerca de la estación 2, y, los más altos valores,  $50.3 \text{ mg.m}^{-3}$  hacia el interior del sistema (est. 1). De acuerdo a la escala de Håkanson (1994) un sistema hipertrófico presenta niveles mayores a  $5 \text{ mg.m}^{-3}$ .

### **3.7 Estudio cualitativo de la flora**

#### **Composición, riqueza y distribución**

Se determinaron 44 especies de algas agrupadas en 30 géneros pertenecientes a las Divisiones Chlorophyta (16 especies), Phaeophyta (4 especies) y Rhodophyta (24 especies). Del total de especies, 35 especies se detectaron en la época de secas (13 exclusivas), 31 en la época de lluvias (9 exclusivas), y 22 especies estuvieron presentes en ambas épocas (Anexo V). En la época de secas el valor promedio de especies (3), fue mayor que en la época de lluvias (1 especie). El 82.2 % de las estaciones muestreadas en secas que corresponden a 37 estaciones y el 91 % en lluvias que corresponden a 41 estaciones tuvieron una riqueza igual o menor a 5 especies. Con una riqueza de 6 especies (Fig. 12) se encontró a las estaciones 24, 45, 13 y 36, las dos primeras ubicadas en la parte interna del estero, la estación 13, hacia la parte media y la 36 en la boca del mismo, mientras que 8 especies solo se registraron en la estación 42. La máxima riqueza de especies (10) para esta época, se detectó en la estación 23 ubicada en la parte interior del sistema, justamente en el sitio que se denomina estero el Caimán. Es importante señalar que las estaciones 5 y 8, en las cuales no aparecieron macroalgas en ninguna de las dos épocas, se encontraron recubrimientos de la microalga verde-azul *Microcoleus lyngbyaceae*, con filamentos que en ocasiones alcanzaron más de 10 cm de longitud.

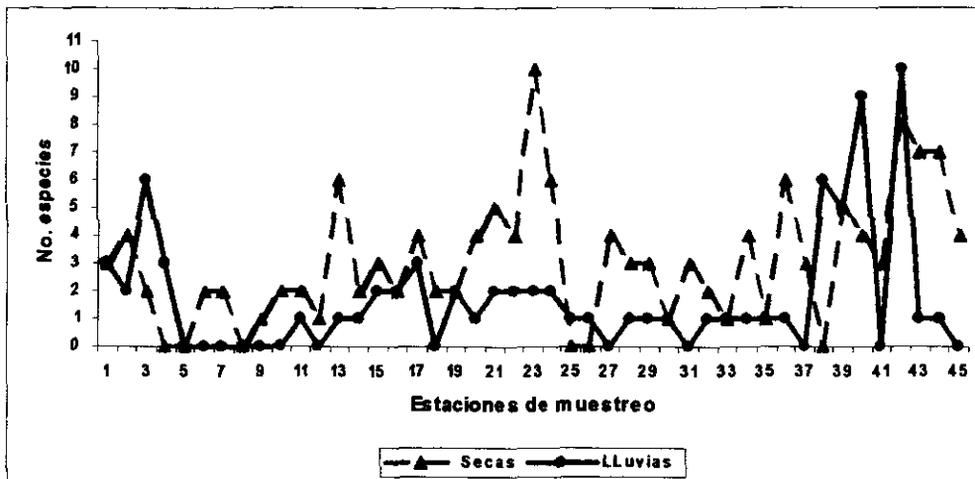


Fig. 12. Riqueza de especies por estación y época de muestreo.

Para la época de lluvias, la riqueza de especies fue en general más baja, detectándose 13 estaciones sin macroalgas, 16 estaciones con una sola especie, y únicamente 4 estaciones tuvieron una riqueza superior a las 5, estaciones 3 y 38 con 6 especies, estación 40 con 9, y estación 42 con 10 especies. Estas estaciones se ubican en la boca del estero casi en la zona de entrada del puerto, a excepción de la estación 3 que se encuentra dentro del estero El Infiernillo. Cabe señalar que desde la estación 7 a la estación 14 donde las macroalgas fueron poco abundantes, o ausentes, también, se encontraron grandes desarrollos de *M. lyngbyaceae*.

Analizando la riqueza por estaciones de muestreo en ambas épocas, se observó que el máximo número de especies fue el mismo (10) y que la mayor riqueza de especies se presentó en las estaciones ubicadas en la boca del estero, sitio que representa la zona de transición entre el ambiente marino y estuarino, donde se observa claramente que la estación 42 presentó el mayor número de especies (9 en secas y 10 en lluvias). Asimismo, se observa que las especies encontradas en cada época son diferentes en la mayoría de estas estaciones, y únicamente *Ulva lobata*, *Padina durvillaei*, *G. sclerophyllum*, *G. abbreviata*, *G. sjoestedtii* y *A. graffei* coincidieron en algunas estaciones en las dos épocas.

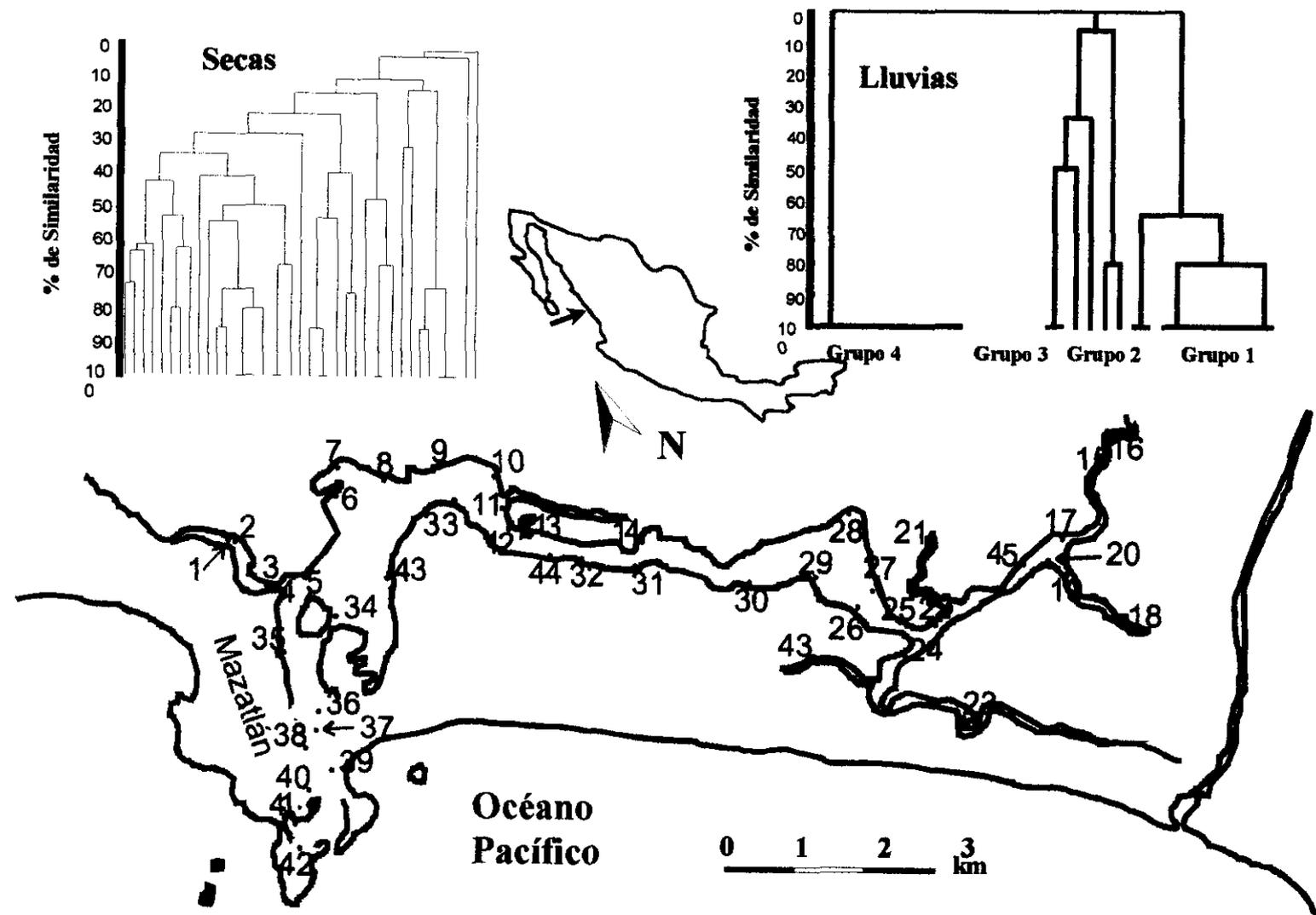
La especie mejor representada en todo el sistema en la época de secas, fue la clorofita *Ulva lactuca* la cual se encontró presente en 25 estaciones, siguiendo *E.*

*clathrata* en 14 estaciones, *Dictyota johnstonii* en 9, *G. sjoestedtii* en 8 y las especies *E. intestinalis*, *Hypnea valentiae*, *Polysiphonia johnstonii*, *Bostrychia* sp. y *C. leprieurii*, estuvieron en 7 estaciones. Por el contrario, en la época de lluvias la especie *Ulva lactuca* estuvo presente solo en una estación, siendo la rodofita *G. sjoestedtii* presente en 11 estaciones, la mejor representada para esta época. A continuación le siguen *C. leprieurii* y *Bostrychia* sp. presentes en 10 y 8 estaciones respectivamente.

### **Caracterización ambiental del sistema en base a la composición florística**

Los índices de similaridad se aplicaron a la matriz de datos estaciones/especies considerando todas las especies presentes en cada época por separado. Posteriormente, se comprobó que la eliminación de las especies ocasionales no tuvo ningún efecto sobre los resultados finales de la clasificación. En la época de secas no se observaron agrupamientos claros. En lluvias se observaron 4 agrupamientos principales (Fig.13). El grupo 1 con una similaridad media de 84.30 %, que se corresponde con las estaciones ubicadas en la parte interior del sistema lagunar (estaciones 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25), grupo 2 con una similaridad media de 28.59 %, que se corresponde con las estaciones ubicadas en el estero el infiernillo y frente al mismo (estaciones 1, 2, 3, 4, 34 y 35), grupo 3 con una similaridad de 19 %, formado por las estaciones ubicadas hacia la parte externa del sistema (estaciones 36, 37 38, 39, 40 y 42), y el grupo 4 con una similaridad del 100 % se corresponden con estaciones ubicadas en su mayoría en la parte media del estero (estaciones 11, 13, 14, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 43 y 44).

Considerando que la época de lluvias fue la que presentó los agrupamientos más definidos, la contribución media de cada especie a la disimilaridad entre cada par de grupos comparados, se realizó únicamente para esta época (Tabla 3), comparando los grupos resultantes del análisis de similaridad. En la Tabla anterior, las dos primeras columnas corresponden a la contribución de cada especie, medidas a partir de los pares de grupos que se comparan, la tercera columna indica la disimilaridad media que aportan las especies responsables de la separación entre los grupos comparados, la cuarta muestra el cociente de la disimilaridad media entre la desviación típica, y



**Fig. 13. Dendrogramas de similitud para los periodos de secas y lluvias. En el mapa se muestran los agrupamientos de las estaciones obtenidos durante el periodo de lluvias. 52**

Tabla 3. Abundancia media ( $Y$ ) de las especies de macroalgas responsables de la disimilaridad entre los grupos, ordenadas de acuerdo a su contribución y a la disimilaridad media entre los grupos comparados en el dendrograma cuando el porcentaje de contribución acumulado alcanza el 60 %, según la Fig. 14.

Entre los grupos 2(1-4,34-35) y 1(15-16,17,19, 20-25)

Especie	$Y_2$	$Y_1$	$\delta_i$	$\delta_i/SD(\delta_i)$	$SD(\delta_i)$	$\Sigma\delta_i\%$
<i>Caloglossa lepreurii</i>	0	1	26.31	2.69	9.77	25.46
<i>Bostrychia</i> sp.	0	0.8	18.73	1.62	11.56	44.29
Entre los grupos 3(36-40 y 42) y 1(15-16,17,19, 20-25)						
	$Y_3$	$Y_1$	$\delta_i$	$\delta_i/SD(\delta_i)$	$SD(\delta_i)$	$\Sigma\delta_i\%$
<i>Caloglossa lepreurii</i>	0	1	16.16	1.5	10.77	16.15
<i>Bostrychia</i> sp.	0	0.8	12.16	1.2	10.12	28.3
<i>Grateloupia abbreviata</i>	0.4	0	8.85	0.61	14.51	37.15
<i>Gelidium sclerophyllum</i>	0.6	0	7.3	1.16	6.29	44.45
<i>Antithamnion graffei</i>	0.6	0	7.14	1.14	6.26	51.59
<i>Callithamnion paschale</i>	0.4	0	4.76	0.77	6.18	56.35
Entre los grupos 3(36-40 y 42) y 2(1-4, 34-35)						
	$Y_3$	$Y_2$	$\delta_i$	$\delta_i/SD(\delta_i)$	$SD(\delta_i)$	$\Sigma\delta_i\%$
<i>Enteromorpha clathrata</i>	0	0.67	10.31	0.82	12.57	10.36
<i>Grateloupia abbreviata</i>	0.4	0	8.19	0.57	14.37	18.59
<i>Gelidium sclerophyllum</i>	0.6	0	6.86	1.12	6.12	25.48
<i>Antithamnion graffei</i>	0.6	0	6.72	1.1	6.11	32.22
<i>Polysiphonia pacifica</i>	0	0.5	6.23	0.76	8.2	38.48
<i>Rhizoclonium</i> sp.	0	0.33	4.74	0.57	8.32	43.24
<i>Ulva lobata</i>	0.4	0	4.47	0.75	5.96	47.73
<i>Gracilaria crispata</i>	0.4	0	4.47	0.75	5.96	52.22
<i>Ceramium mazatlanense</i>	0.4	0	4.47	0.75	5.96	56.71
Entre los grupos 4(11,13,14,26,28,30,32,33,43-44) y 1(15,16,17,19,20-25)						
	$Y_4$	$Y_1$	$\delta_i$	$\delta_i/SD(\delta_i)$	$SD(\delta_i)$	$\Sigma\delta_i\%$
<i>Caloglossa lepreurii</i>	0	1	35.83	4.76	7.52	35.83
Entre los grupos 4(11,13,14,26,28,30,32,33,43-44) y 2(1-4,34-35)						
	$Y_4$	$Y_2$	$\delta_i$	$\delta_i/SD(\delta_i)$	$SD(\delta_i)$	$\Sigma\delta_i\%$
<i>Gracilaria sjoestedtii</i>	1	0	32.94	2.46	13.39	32.94
<i>Enteromorpha clathrata</i>	0	0.67	23.21	1.11	20.91	56.15
Entre los grupos 4(11,13,14,26,28,30,32,33,43-44) y 3(36-40 y 42))						
	$Y_4$	$Y_3$	$\delta_i$	$\delta_i/SD(\delta_i)$	$SD(\delta_i)$	$\Sigma\delta_i\%$
<i>Gracilaria sjoestedtii</i>	1	0	20.01	1.3	15.39	20.01
<i>Grateloupia abbreviata</i>	0	0.4	11.82	0.6	19.7	31.83
<i>Gelidium sclerophyllum</i>	0	0.6	8.19	1.16	7.06	40.02
<i>Antithamnion graffei</i>	0	0.6	8.01	1.14	7.03	48.03
<i>Gracilaria crispata</i>	0	0.4	5.33	0.77	6.93	53.36
<i>Ulva lobata</i>	0	0.4	5.33	0.77	6.93	58.69

finalmente la última columna, muestra el porcentaje de similaridad explicado por el total de especies seleccionadas.

La disimilaridad media entre alguno de los grupos comparados es muy alta; 100 % entre los grupos; 3-1, 4-1, 4-2 y 4-3, 99.4 % entre los grupos 2-1, y 99.56 % entre los grupos 3-2.

La especie que aporta más a la disimilaridad entre los grupos 2-1, y 4-1, es *Caloglossa leprieuri*, con una contribución de 25.31, 35.83 con un cociente de 2.59 y 4.76 respectivamente. Esta misma especie junto con *Bostrychia* sp., tuvieron la mayor contribución al comparar los grupos 3 y 1, con valores de contribución de 16.15 y 12.15, y cociente de 1.5 y 1.2 respectivamente.

Entre los grupos 3 y 2, las especies responsables de la disimilaridad fueron *Gelidium sclerophyllum*, y *Antithamnion graffei* con una contribución de 6.86 y 6.72, y un cociente de 1.12, 1.10, respectivamente. Mientras que entre los grupos 4 y 2 fueron las especies, *Enteromorpha clathrata* y *Gracilaria sjoestedtii*, siendo esta última más consistente al resultar con una contribución de 32.94, 23.21 con un cociente de 2.46 y 1.10 respectivamente. Esta última especie también resultó responsable de la disimilaridad entre los grupos 4 y 3 junto con *Grateloupia abbreviata*, con valores de 20.01 y 11.82 de contribución y un cociente de 1.3 y 0.6 respectivamente.

### **Hábitat y sustrato**

Durante el estudio, las macroalgas aparecieron sobre 6 tipos de sustratos principales: raíces de manglar, roca, arena, epífitas sobre otras algas, epizoicas (principalmente sobre conchas de moluscos y esponjas) y, otros sustratos como trozos de madera, plásticos, boyas, pilotes de concreto (Anexo VI).

En época de secas el mayor número de especies apareció sobre roca (17 especies), raíz de manglar (11 especies) y arena (8 especies). En época de lluvias las macroalgas predominaron también sobre sustrato rocoso (14 especies), y otros tipos de sustratos (7), principalmente sobre trozos de madera, boyas, etc., o bien, como epífitas de otras algas, conchas de moluscos y esponjas. En raíces de manglar el

número de especies encontradas fue menor que en la época de secas (5 especies). Algunas especies se encontraron habitando sobre el mismo tipo de sustrato en las dos épocas. Entre ellas, destacan las especies del género *Ulva* sobre sustrato rocoso, las rodofitas *C. laprieurii* y *Bostrichya* sp. que han sido descritas como exclusivas de raíces de mangle.

### 3.8 Discusión del estudio cualitativo de la flora

Durante el presente estudio, el grupo dominante fue el de las algas rojas, con 24 especies que representan el 54.5 % del total de especies encontradas en el sistema, lo que confirma que las algas rojas tienden a ser más abundantes en aguas subtropicales que tropicales (Darley, 1987).

La presencia de un mayor número de especies encontradas en la boca del estero en ambas épocas, denota que existen condiciones favorables para el establecimiento de especies en la zona de transición de los dos ambientes, el marino y el salobre (o hipersalino) que origina esta heterogeneidad en el sistema. Como es de esperarse, estos límites pueden desarrollar una comunidad propia o ecotonía distinta de las comunidades inmediatas (Margalef, 1974; Krebs 1985).

Especies como *U. lactuca*, *P. durvillaei* y *E. flexuosa* fueron previamente registradas por Tirado (1974) para la boca del estero. En el presente estudio fueron colectadas en estaciones de ese mismo sitio, lo que confirma que estas especies son típicas de esta zona del estero. Igualmente, la mayor parte de las especies encontradas en este sitio, fueron colectadas por Balderas *et al.*, (1990) en sitios adyacentes al exterior de la boca del estero, lo que sugiere que la influencia oceánica en la distribución de estas especies es evidente.

La clorofita *U. lactuca* fue la especie más representativa del sistema en la época de secas, ya que estuvo presente en 25 estaciones. Sin embargo, en la época de lluvias prácticamente desapareció, y su presencia sólo se detectó en una estación (est.42). Esto coincide con lo registrado por Alvarez (1977), quien colectó *Ulva lactuca* en el estero de Urías en tres ocasiones (entre septiembre de 1976 y febrero de

1977) señalándola como escasa. Los resultados del estudio cuantitativo indicaron que esta especie alcanza su máxima biomasa a finales del mes de marzo.

Alvarez (1977) también registró la presencia de la rodofita *Gracilaria* sp. desde septiembre a octubre, y la señala como la especie más abundante y ampliamente distribuida, aunque está ausente en la época de secas. Lo expuesto anterior coincide con nuestro estudio, pero en este caso la presencia de esta especie se prolongó hasta la época de secas, siendo más consistente en el tiempo y espacio ya que se encontró en secas en 9 estaciones y en lluvias en 11 estaciones.

La similitud de especies presentes en ambas épocas (22 especies), sugiere que la mayoría de las especies encontradas en el sistema son algas oportunistas de rápido crecimiento adaptadas a ambientes enriquecidos por nutrientes. En este sentido, Pedersen & Borum (1996) señalan a *Ulva lactuca*, y géneros como *Chaetomorpha*, *Cladophora* y *Ceramium* que fueron identificadas en nuestro estudio.

La presencia de un mayor número de especies sobre sustrato rocoso tanto en lluvias como en secas confirma que la estabilidad del sustrato es una de las propiedades físicas más importantes que limita la distribución de las algas (Santelices, 1977).

Por otra parte, el análisis de clasificación basado en la presencia-ausencia de especies, no detectó una distinción clara entre las diferentes zonas del estero para la época de secas. Esto sugiere que los factores ambientales que controlan la distribución de estas especies están muy dispersos en la época de secas, y por el contrario en la época de lluvias tienden a segregarse. Así lo mostraron los resultados en la época de lluvias donde el análisis evidenció 4 agrupamientos claros, que permiten dividir al sistema en 4 zonas florísticas: (a) una primera zona ubicada en el ecotono (zona de transición entre el medio marino y el estero); (b) una segunda que se ubica aledaña al estero El Infiernillo donde la influencia de las aguas residuales domésticas es mayor; (c) una tercera zona hacia la parte más interna del sistema, donde se observa una mayor influencia de la planta termoeléctrica que provoca un aumento de temperatura notable sobre el área adyacente; y (d) una cuarta situada hacia la parte más interna del sistema coincidiendo con la zona cubierta por manglar

y cercana a las granjas de camarón que también aportan al sistema sus aguas residuales. Estos resultados coinciden con lo señalado por Alvarez (1977), que caracterizó el área de estudio en tres zonas de acuerdo a la morfología, sedimentos, vegetación costera, flora, fauna, así como al tipo de efluentes que se vierten al sistema. En nuestro estudio, de acuerdo a la composición florística del sistema se delimitó una cuarta zona que corresponde al ecotono. La delimitación de estas zonas ecológicas es reflejada por las especies presentes en los grupos de estaciones comparados, y resultantes de la similitud en la época de lluvias.

Ahora bien, el hecho de haber encontrado un mayor número de especies por estación en la época de secas, puede ser explicado a partir de la variabilidad que presentaron las variables físicas y químicas, que al ser analizadas para cada época fueron significativamente diferentes entre secas y lluvias. Las variables que sin duda son las que controlan el desarrollo macroalgal y que arrojaron estos resultados son la temperatura, clorinidad, fósforo disuelto, amonio, nitritos y nitratos, al igual que la relación N:P, ésta última con diferencias solo en la cabecera y boca del sistema. Estas mismas variables también fueron significativamente diferentes entre las estaciones para cada época.

### 3.9 Análisis cuantitativo de las principales poblaciones algales

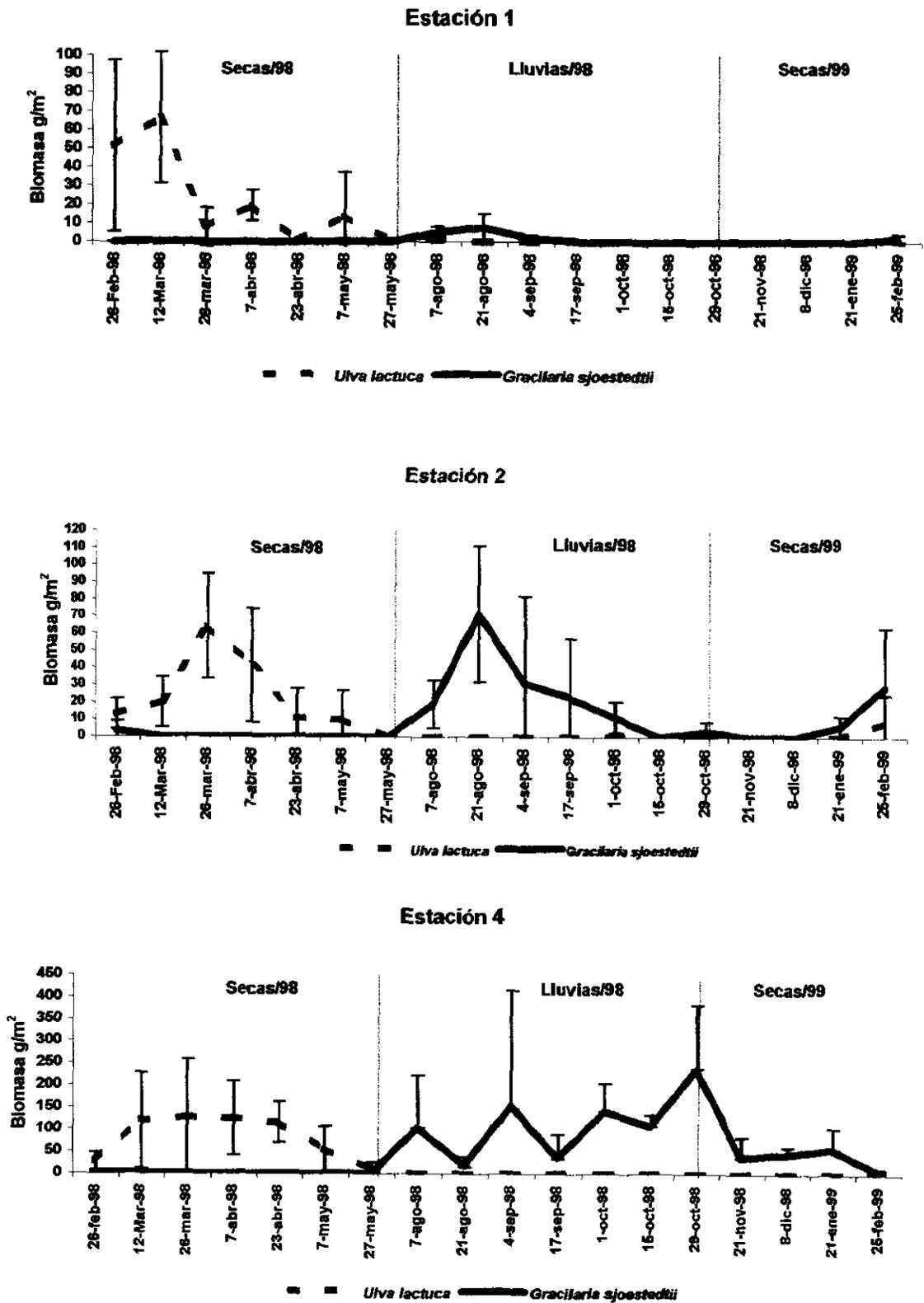
Las especies más abundantes a lo largo del estudio fueron la clorofita *Ulva lactuca*, que dominó en la época de secas en las tres estaciones de seguimiento, y la rodofita *Gracilaria sjoestedtii*, que dominó en la época de lluvias (Anexo VII). También se detectó la presencia ocasional de las clorofitas, *Enteromorpha intestinalis*, *E. flexuosa*, *Caulerpa sertularioides*, la rodofita *Hypnea valentiae* y la feofita *Dictyota johnstoni*.

En la estación 1, la especie dominante *U. lactuca*, alcanzó el máximo de biomasa ( $66.78 \text{ g/m}^2$ ) a principios del mes de marzo de 1998 (Fig.14A), desapareció en el periodo de lluvias y reapareció a finales de febrero de 1999 ( $2.10 \text{ g/m}^2$ ). *G. sjoestedtii* presentó los máximos valores de biomasa a finales de agosto de 1998

(7.78 g/m<sup>2</sup>), después de esta fecha, ya no se encontró hasta finales de febrero de 1999 (1.52 g/m<sup>2</sup>). Las especies de presencia ocasional como *D. johnstonii*, *E. flexuosa* y *C. sertularioides* tuvieron una biomasa menor a 1 g/m<sup>2</sup>.

En la estación 2, se puede observar un comportamiento similar de la biomasa de *U. lactuca* en el periodo de secas, y *G. sjoestedtii* en lluvias. (Fig. 14B). *U. lactuca* alcanzó el máximo valor (64.29 g/m<sup>2</sup>) a finales de marzo de 1998. Desapareció en la época de lluvias, aunque se observó su presencia ocasional en septiembre, con una biomasa menor a 1 g/m<sup>2</sup>. En el ciclo de secas/99 su biomasa fue de 8.90 g/m<sup>2</sup>. Por otro lado, la presencia de *G. sjoestedtii* en la época de secas fue escasa, se detectó la mayor biomasa (3.46 g/m<sup>2</sup>) a principios de la época. En la época de lluvias fue más abundante en sus inicios, y alcanzó su valor máximo a finales de agosto (71.54 g/m<sup>2</sup>), después fue disminuyendo gradualmente hasta desaparecer casi por completo por el resto del año. Esta misma especie reapareció de nuevo en secas/99 con una biomasa máxima de 28.89 g/m<sup>2</sup>. En esta estación, la especie *D. johnstonii*, se presentó de manera permanente en la época de secas y alcanzó una biomasa de 13.54 g/m<sup>2</sup> mayor a la obtenida para *G. sjoestedtii*. Asimismo, la rodofita *H. valentiae* presentó una biomasa máxima de 21.62 g/m<sup>2</sup> a inicios de mayo y posteriormente desapareció. *E. flexuosa*, estuvo presente en algunos muestreos de secas donde alcanzó su biomasa máxima (2.86 g/m<sup>2</sup>), desapareció en lluvias, y reapareció en secas/99 a finales de febrero de 1999 con una biomasa de 51.76 g/m<sup>2</sup>. Esta especie representó la máxima biomasa encontrada en el ciclo de secas/99.

La biomasa máxima durante el estudio se detectó en la estación 4, cuando *U. lactuca* alcanzó 126.76 g/m<sup>2</sup> en marzo de 1998 y *G. sjoestedtii* alcanzó 237.48 g/m<sup>2</sup> en octubre de 1998 (Fig.14C). La población de *U. lactuca* después de alcanzar su máximo desarrollo a finales de marzo, disminuyó ligeramente a principios de abril (124.47 g/m<sup>2</sup>) y para finales de mayo la biomasa disminuyó significativamente hasta 11.17 g/m<sup>2</sup>, desapareciendo en la época de lluvias, y reapareciendo en febrero de 1999. También se aprecia que la presencia de *G. sjoestedtii* en secas fue insignificante (2.46 y 2.12 g/m<sup>2</sup>), observándose un incremento considerable desde el inicio de la época de lluvias, hasta alcanzar su máximo desarrollo a finales de



Figs. 14-ABC. Comportamiento de la biomasa en las estaciones 1, 2 y 4.

octubre. Después disminuyó significativamente hasta febrero de 1999 ( $5.66 \text{ g/m}^2$ ) fecha en que concluyó el muestreo. Se encontraron especies ocasionales como *E. intestinalis*, la cual estuvo presente a inicios de secas con  $37.49 \text{ g/m}^2$ , pero a partir de abril de 1998 la especie desapareció, colectándose de nuevo en enero de 1999, con biomasa de  $2.37 \text{ g/m}^2$ . *C. sertularioides*, estuvo presente en dos muestreos ( $6.36$  y  $1.76 \text{ g/m}^2$ ) correspondientes a la época de secas.

El resultado de la correlación entre la biomasa macroalgal para todo el período de muestreo mostró una relación positiva entre la biomasa de *U. lactuca* y *G. sjoestedtii* en la estación 1, es decir cuando aumentó *U. lactuca*, también lo hizo *G. sjoestedtii*, aunque sus valores de biomasa tuvieron diferencias notables. Sin embargo, al examinar la estación 4, encontramos una correlación negativa de *U. lactuca* con *G. sjoestedtii*, lo que significa que al aumentar la biomasa de *G. sjoestedtii* se vio disminuida la biomasa de *U. lactuca*, corroborado por la desaparición de *U. lactuca* en lluvias.

### 3.10 Relación de la biomasa macroalgal con las variables ambientales

En general, se obtuvieron más correlaciones significativas entre la biomasa de *U. lactuca* y las variables ambientales, cuando se analizó el ciclo completo sin distinguir entre épocas (lluvias y secas) (Anexo VIII). Se observaron correlaciones negativas entre la biomasa de *U. lactuca* y la temperatura para ambas épocas en las tres estaciones muestreadas ( $r=-0.91$ ,  $r=-0.83$  y  $r=-0.60$  respectivamente con  $p<0.001$  para las estaciones 1 y 2,  $p<0.05$  para la estación 4 (Fig. 15A). Algunas de estas correlaciones también fueron significativas al realizar correlaciones desfasadas entre la temperatura y la biomasa de *U. lactuca* para ambas épocas en las estaciones 1 y 2 (Anexo IX). Estos datos indican que conforme desciende la temperatura, aumenta la biomasa de *U. lactuca*.

Con la clorinidad, las correlaciones fueron positivas en las estaciones 1 y 4 ( $r=0.78$  y  $r=0.74$  con  $p<0.001$  respectivamente),(Fig. 15B). Además, en las

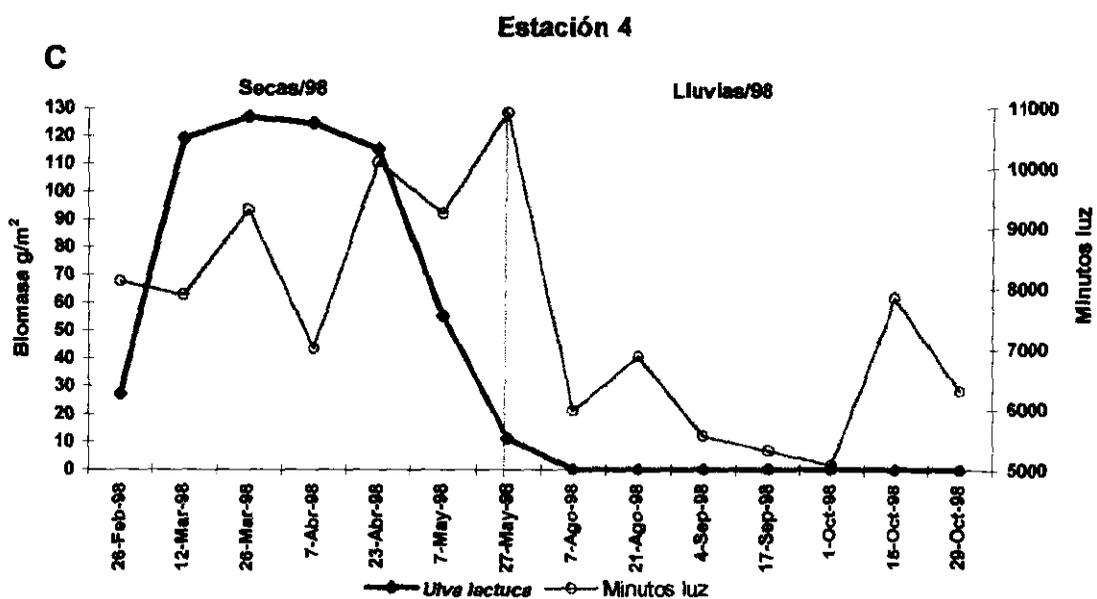
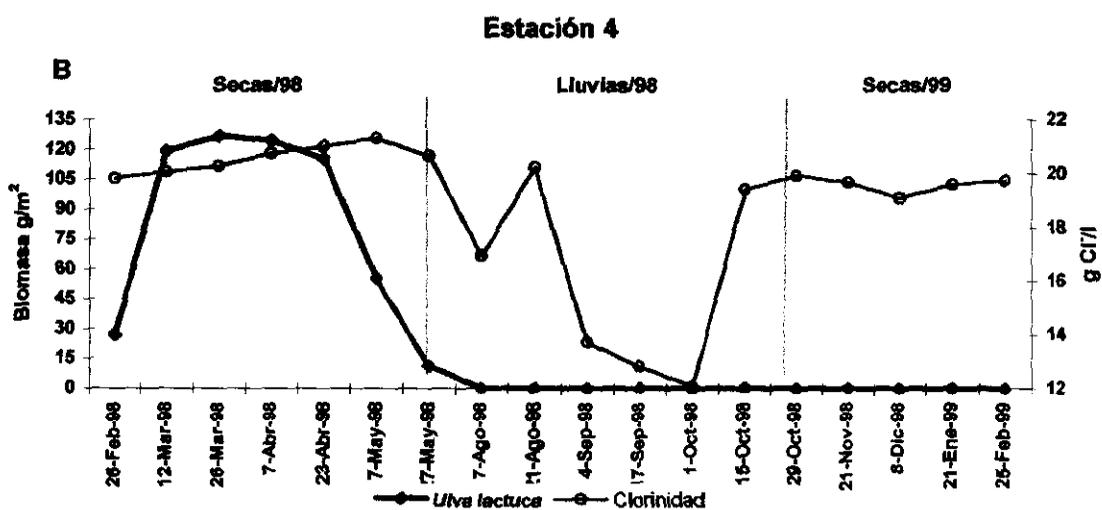
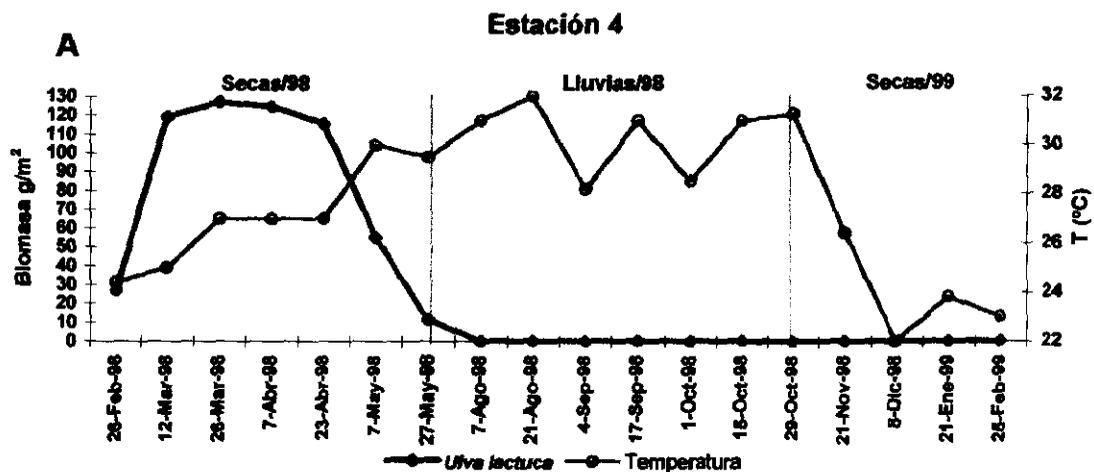
estaciones 2 y 4, también se obtuvieron correlaciones positivas con desfases de 15 (estación 2 y 4) y 30 días (estación 4).

Otra relación positiva se obtuvo entre la biomasa de *U. lactuca* y los minutos luz acumulados en las estaciones 1 y 4 (Fig. 15C) ( $r=0.65$ ,  $r=0.71$ ,  $p<0.01$ ).

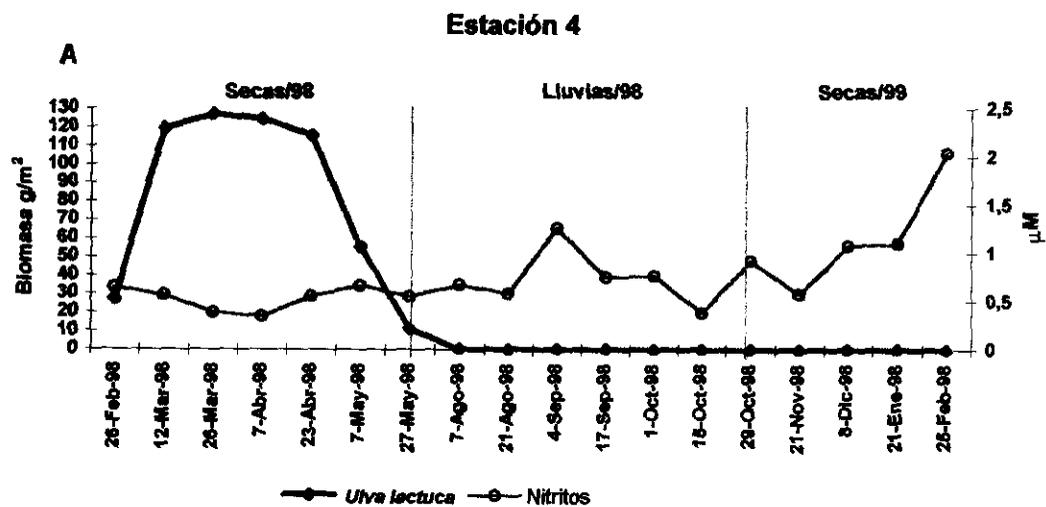
Con los nutrientes, en la estación 1 se observó una relación negativa entre la biomasa de *U. lactuca* con el amonio ( $r=-0.73$  con  $p<0.01$ ), y en la estación 2 se registró correlación negativa en ambas épocas con desfases de 15 días ( $r=-0.46$ ,  $p<0.05$ ). Con los nitritos, la biomasa de *U. lactuca* en la estación 4 se correlacionó negativamente ( $r=-0.64$ ,  $p<0.05$ ) en ambas épocas (Fig. 16A), obteniéndose la misma relación con un desfase de 15 días ( $r=-0.57$ ,  $p<0.05$ ). Esta misma relación negativa se observó en las estaciones 2 y 4 ( $r=-0.54$ ,  $r=-0.48$  con  $p<0.05$ ) con desfases de 30 días. Por otro lado, con el fósforo total *U. lactuca* presentó correlación positiva en la estación 4 (Fig:16B), ( $r=0.59$   $p<0.05$ ), volviendo a repetirse con desfases de 15 días ( $r=0.60$   $p<0.05$ ).

Con respecto a la especie *G. sjoestedtii*, se obtuvo una relación negativa entre la temperatura y la biomasa en ambas épocas en la estación 1 ( $r=-0.56$ ,  $p<0.05$ ) y en el periodo de secas de la estación 4 ( $r=-0.84$ ,  $p<0.05$ ) (Fig.17A). Sin embargo, las correlaciones cruzadas no mostraron ninguna relación significativa entre la temperatura y la biomasa de esta especie. Con respecto a la clorinidad se observaron correlaciones negativas en ambas épocas en las estaciones 2 y 4 (Fig. 17B) ( $r=-0.59$ ,  $r=-0.81$ ,  $p <0.05$ ), pero positiva en la estación 1 ( $r=0.60$ ,  $p<0.05$ ), Solo en la estación 2 se obtuvo una correlación negativa con desfase de 15 días ( $r=-0.54$  con  $p<0.05$ ).

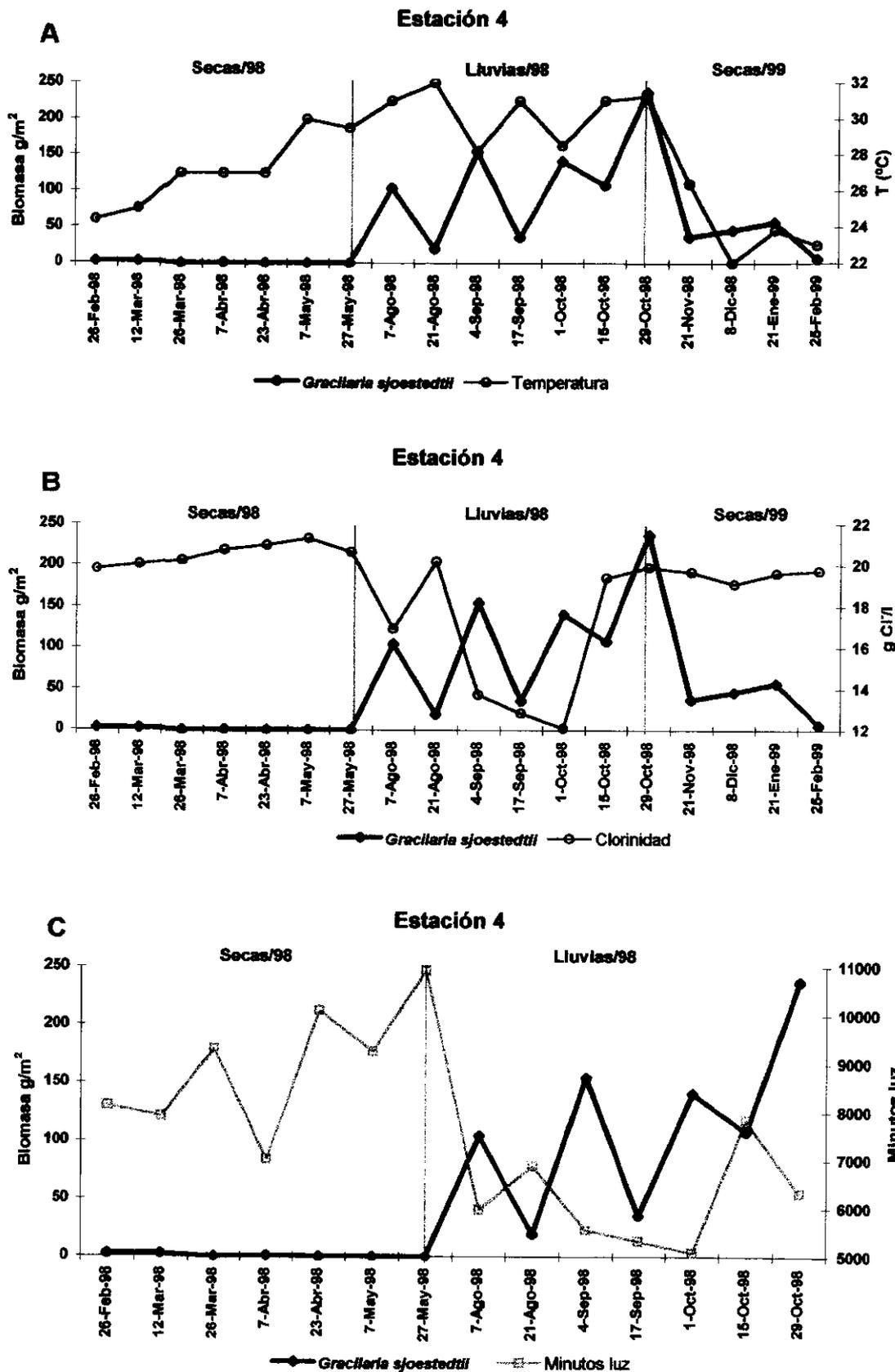
De acuerdo a la incidencia de la luz (medida como minutos luz acumulados entre periodos intermuestrales), la biomasa de *G. sjoestedtii* presentó una correlación negativa significativa en las estaciones 2 y 4 ( $r=-0.66$ ,  $r=-0.84$  con  $p < 0.01$ ) (Fig. 17C ).



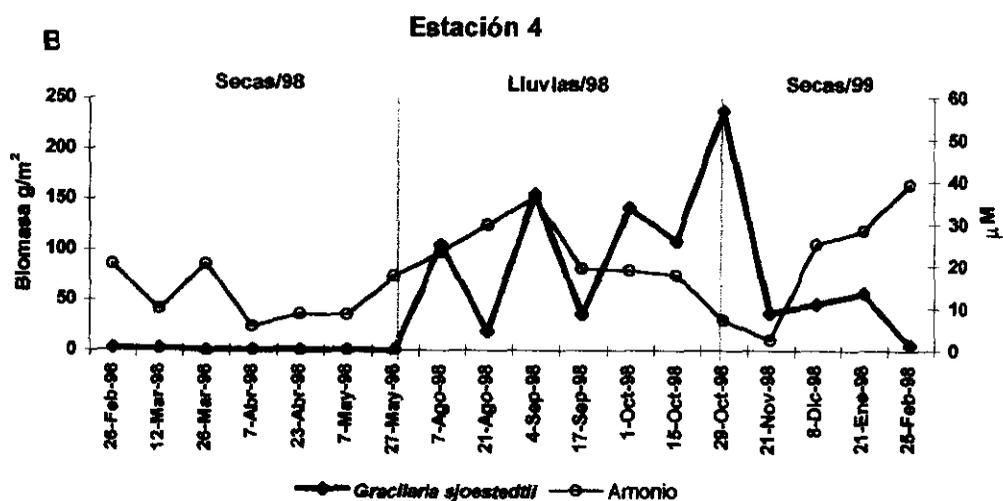
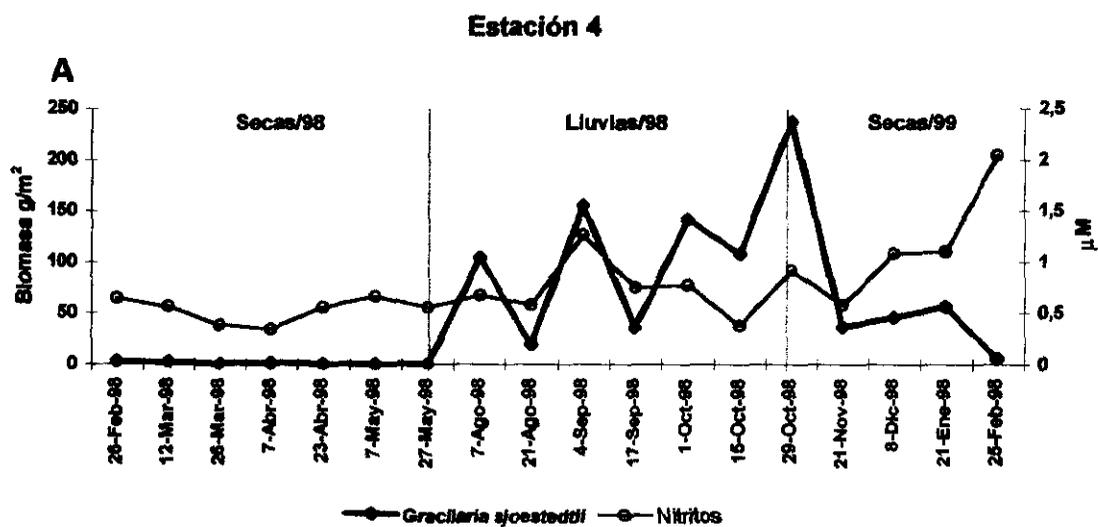
Figs. 15-ABC. Variación estacional de la biomasa de *U. lactuca* en función de la temperatura (A), clorinidad (B) y minutos luz acumulados entre periodos intermuestrales (C) en la estación 4.



Figs. 16-AB. Variación estacional de la biomasa de *U. lactuca* en función de nitritos (A) y fósforo total (B) en la estación 4.



Figs. 17-ABC. Variación estacional de la biomasa de *G. sjoestedtii* en función de la temperatura (A), clorinidad (B) y minutos luz acumulados entre periodos intermuestrales (C) en la estación 4.



Figs. 18-AB. Variación estacional de la biomasa de *G. sjoestedtii* en función de nitritos (A) y amonio (B) en la estación 4.

En cuanto a los nutrientes, en la estación 2 los nitratos se correlacionaron negativamente ( $r=0.81$ ,  $p<0.05$ ) en la época de lluvias, y los nitritos en ambas épocas ( $r=0.69$ ). Los nitritos también se correlacionaron con la biomasa de *G. sjoestedtii* en la estación 4 ( $r=0.65$ ,  $p<0.01$ ) (Fig. 18A). Las correlaciones cruzadas mostraron correlaciones positivas (15 días previos) con los nitratos y el nitrógeno inorgánico total en el periodo de secas de la estación 1. Con el amonio se observaron relaciones negativas con un desfase de 30 días en la estación 1 ( $r=-0.84$   $p<0.05$ ). Asimismo en la estación 4 ( $r=-0.70$ ,  $p<0.05$ ) (Fig. 18B) con desfases de 15 días.

### **3.11 Discusión del análisis cuantitativo y la relación de la biomasa macroalgal con las variables físicas y químicas**

La presencia de *U. lactuca* en el sistema concuerda de manera general con lo registrado por Alvarez (1977) aunque, en el exterior del estero (el faro) la presencia de esta especie ha sido citada para verano-otoño (Garza, 1999), y para todas las estaciones climáticas (Balderas *et al.*, 1990), Asimismo la sustitución de *U. lactuca* en la época de lluvias por *G. sjoestedtii* coincide con lo señalado por Alvarez (1977) al describir a esta última especie como abundante en verano-otoño. Sin embargo, con la especie *U. lactuca*, su presencia no ha sido descrita para áreas externas al estero de Urías (Lozano, 1986; Balderas *et al.*, 1990; Garza, 1999) lo que sugiere que puede ser considerada como especie más típica de zonas interiores. Por otra parte, la biomasa de las especies *U. lactuca* y *G. sjoestedtii* siguió un patrón similar en las tres estaciones de muestreo, aunque se observaron algunas diferencias que parecen obedecer a las características particulares de cada estación (ubicación, profundidad, amplitud de la marea, tipo de sustrato, etc.). Por ejemplo, Cruz, *et al.*, (1998), sugieren que el sustrato puede ser un factor determinante en la biomasa macroalgal. En general, predominaron los sedimentos arenosos con ligeras variaciones entre épocas en la estación 1, y 2 donde se observaron limos y arcillas, sobre todo en la época de secas. Mientras que en la estación 4 se observó mayor homogeneidad en su composición, y mayor contenido de arenas en el sustrato factores que pudieran favorecer el establecimiento de las algas.

Por otra parte, la relación entre la biomasa y las variables ambientales parecen indicar que la temperatura, la salinidad (clorinidad) y la luz juegan un papel muy importante en el desarrollo de estas poblaciones, junto con algunos nutrientes como el amonio, nitritos y nitratos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, es evidente que la temperatura juega un papel importante en la biomasa macroalgal. La relación negativa consistente de la temperatura con *U. lactuca* en la época de secas, sugiere que con el descenso de la temperatura y el aumento del fotoperiodo los valores de biomasa de *U. lactuca* se incrementan, mientras que al aumento de temperatura aunado al aumento de la fotorespiración en la época de lluvias lleva a un descenso de su biomasa. Los resultados de este trabajo, para el caso de *U. lactuca*, parecen coincidir con los de otros sitios de estudio como los obtenidos en la Bahía de San Francisco (Josselyn *et al.*, 1985) donde las bajas temperaturas que oscilan entre 8 y 24°C favorecieron la presencia de *U. lactuca*, la cual se encontró ampliamente distribuida en los sitios de estudio. Algo similar se observó con *Ulva rigida* en el lago Thau en Francia (De Casabianca & Posada, 1998) donde las poblaciones se desarrollaron a temperaturas entre 10 y 23°C, alcanzaron su óptimo desarrollo entre 12 y 23°C y decrecieron al aumentar la temperatura (24-25°C) desde primavera hasta principios de verano. Otros estudios sobre los efectos de la temperatura en el crecimiento de las algas, (Darley, 1987) sugieren que existe un óptimo donde el crecimiento es lineal pero antes del límite máximo el crecimiento se vuelve estacionario. Estos límites, están generalmente entre el intervalo de 27 a 35°C, y pocas especies incluidas las de aguas tropicales pueden sobrevivir a más de 40°C. Lüning (1990) menciona que el rango de temperatura óptima para las algas tropicales es de 20 a 30°C. Doty (1957) señala que los efectos de temperatura sobre la distribución vertical de las algas está relacionada con el movimiento de mareas donde el efecto de la temperatura es muy importante debido a la desecación donde pueden quedar expuestas por largos períodos de tiempo. Por otra parte, también el efecto de la temperatura sobre la distribución de las algas puede ser afectada por fenómenos más locales como la contaminación (Santelices, 1977). Con base a lo anteriormente descrito es complejo explicar acerca del efecto de la temperatura sobre

las macroalgas en cuerpos de agua estuarinos.

En el caso de la salinidad, no parece ser clara su relación con la biomasa de *Ulva lactuca* que se reflejó en una correlación positiva en las estaciones 1 y 4, pero sin ninguna relación significativa en la estación 2. Esta misma situación se vuelve a repetir al relacionar la especie con los minutos de luz por día acumulados por periodo intermuestreal. Es posible que estén influyendo y/o dominando otros factores más locales en la estación 2.

La tolerancia de algas a la salinidad esta en función de su capacidad para ajustar su potencial osmótico interno y de regular la concentración de iones inorgánicos y varias moléculas orgánicas (Darley, 1987). Se ha demostrado que las algas verdes son las más tolerantes a las altas salinidades y que las algas rojas son menos tolerantes (Druehl, 1981). Las variaciones de salinidad también pueden causar cambios en la velocidad de crecimiento así como cambios morfológicos que se reflejan en el tamaño de las frondas.

Los cambios en la resistencia por variación de temperatura y salinidad y las interacciones entre estos dos parámetros son importantes en la supervivencia y distribución de las algas. (Santelices, 1977).

En el estero de Urías las máximas biomásas de *U. lactuca* se obtuvieron cuando las salinidades estuvieron entre 36 y 39 ‰. Estudios con *U. expansa* sugieren que salinidades de 35 ‰ favorecen el crecimiento de esta especie (Murthy *et al.*, 1988; Fong *et al.*, 1996).

Aunque en el presente estudio no se hicieron las mediciones de luz directamente en el agua es importante señalar los resultados obtenidos por Sand-Jensen (1988), que estudió los requerimientos mínimos de luz de *U. lactuca* y encontró que cuando las condiciones de luz son continuas a una temperatura de 7°C se da un óptimo de fotoadaptación a una densidad del flujo de fotones entre 2.5 y 8.8  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , explicada por la absorbancia de la luz y la eficiente utilización de fotones coincidiendo con el máximo crecimiento de la especie, en conclusión la especie *U. lactuca* es capaz de crecer en condiciones bajas de luz al incrementar la capacidad

para captar luz y reducir el gasto en la respiración.

La relación positiva entre la biomasa de *G. sjoestedtii* con la temperatura, y negativa con la salinidad sugiere que esta especie puede estar controlada por una interacción de ambos factores, de tal manera que la biomasa aumenta en la época de lluvias, cuando la salinidad desciende y aumenta la temperatura del agua. Así, pudimos observar que a una temperatura comprendida entre 27 y 32°C, y una salinidad entre 9.08 y 36.5 ‰, se obtuvieron las máximas biomásas en las estaciones 1 y 2 a finales del mes de agosto. Sin embargo en la estación 4, estos máximos en la biomasa se obtuvieron a finales del mes de octubre. También se obtuvo una correlación negativa entre la biomasa de *G. sjoestedtii* con las horas luz para las estaciones 2 y 4, que sugiere la importancia de este factor en el ciclo de esta especie.

Josselyn & West (1985) señalan que el incremento estacional de la abundancia de macroalgas está relacionado con el incremento de salinidad, temperatura y disponibilidad de luz, además de que el incremento en la irradiación en verano es debido a lo largo del fotoperíodo, que incrementa la frecuencia de la bajamar en el día y reduce los niveles de sedimentos suspendidos, a su vez señalan que los límites de tolerancia de salinidad para especies individuales es difícil de determinar.

En general, es posible evidenciar que se han realizado pocos estudios enfocados a establecer la relación de la biomasa macroalgal y los factores ambientales (e.g. Ballesteros *et al.*, 1996). Se sabe que dentro de los elementos necesarios para su desarrollo se encuentran en primer término el nitrógeno y el fósforo cuyos requerimientos dependen de la especie (Valiela *et al.*, 1997). Así su desarrollo dependerá básicamente de la disponibilidad de estos nutrientes.

Knoppers (1994) señala que los nutrientes son importados a las lagunas costeras vía la atmósfera, ríos, escurrimientos, agua subterráneas y el mar, y son exportados vía el intercambio asociado a las mareas, acumulación de sedimentos y denitrificación. La relativa importancia de las fuentes de nutrientes varía considerablemente entre las lagunas costeras. En el caso del estero de Urías, dadas las características morfológicas, hidrográficas y de impacto ambiental del sistema lagunar, éste recibe los mayores aportes de nutrientes a través de la atmósfera y el

mar, y en años atrás cuando tenía comunicación con el río Presidio, éste debió haber constituido el principal suministro de nutrientes. A partir de la presencia de diversas actividades antropogénicas en sus alrededores, las fuentes antropogénicas son muy probablemente en la actualidad la principal fuente de nutrientes (Páez *et al.*, 1990).

De los nutrientes, el amonio es la forma preferida de las algas para su desarrollo. En este estudio, no se observó una relación clara. Así lo mostró la relación negativa del amonio con la biomasa de *U. lactuca* en la estación 1 (época de secas) posiblemente debido a la rapidez de esta especie para asimilar los nutrientes del medio (Norton, 1911), ya que el incremento de la biomasa sí se vio favorecido. Según Kanwisher (1966), ésta especie es capaz de doblar el área de su talo en solo 3-4 semanas.

Aunque, la estación 1 presentó los valores más bajos de concentración de amonio, así como en la relación N:P, de acuerdo a la escala sugerida por Håkanson (1994), estos valores corresponden a sitios eutroficados. Cabe señalar que lo mismo sucedió con los nitritos que en la estación 4, estuvieron entre los más bajos valores medidos y su correlación con *U. lactuca* también fue negativa ( $r=-0.64$ ).

Sin embargo, en un estudio en la laguna de Venecia (Sfriso & Marcomini, 1999), encontraron una correlación negativa entre la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto en la columna de agua y el porcentaje del índice de crecimiento relativo de *U. rigida* ( $r=-0.065$ ). Sugieren, según el caso, que el nitrógeno podría ser un factor limitante para el crecimiento macroalgal.

Finalmente, Sfriso & Marcomini (1999) concluyen que *Ulva* es una macroalga que en cuerpos protegidos y lagunas preferentemente vive flotando y tomando los nutrientes de la columna de agua a través del talo, y durante ese desarrollo estas especies llegan a estratificar fuertemente las capas profundas donde la fotosíntesis es limitada por la luz, por tanto la biomasa decae y aporta al sedimento superficial cantidades mayores de nitrógeno y fósforo a las que se liberan de los procesos de mineralización.

Otro factor importante que tiene una relación indirecta con las macroalgas son las

concentraciones de fósforo en el sedimento y que en este estudio únicamente se estimaron las concentraciones del fósforo total para cada una de las estaciones por épocas, encontrándose los mayores valores en la estación 4 en ambas épocas, esto sugiere que esta estación está recibiendo los mayores aportes muy probablemente relacionados con las fuentes antropogénicas, así como con la gran área cubierta por macroalgas contribuyendo también a la elevada acumulación de nitrógeno y fósforo en el sedimento.

Por otro lado, se tiene a la especie *G. sjoestedtii* correlacionada positivamente con los nitratos (estación 2, lluvias), nitritos (estación 4, ambas épocas), y con el fósforo disuelto (estación 2, ambas épocas) esto permite deducir que los nutrientes no son un factor limitante para esta especie como lo muestran los valores de la relación N:P para estas dos estaciones que predominan entre 10:1 y 15:1, considerados como valores razonables debido a que no hay ningún indicativo de óptimo o normal para las algas (Ryther & Dunstan, 1971). Ahora bien, Lavery (1989, en Valiela *et al.*, 1997) observó que *Ulva* es limitada por el nitrógeno, esto sugiere, que en el estero de Urías el nitrógeno no representa un factor limitante para el desarrollo de esta especie. Para el caso de *Gracilaria*, se sabe que en *G. tikvahiae* (Peckol & Rivers, 1995) altas concentraciones de amonio (100  $\mu\text{M}$ ) pueden afectar su desarrollo. Asimismo Peckol & Rivers (1995) también demostraron que la presencia de especies del género *Gracilaria* son consideradas como algas oportunistas por su habilidad para tolerar perturbaciones en el medio ambiente, y son importantes en los procesos de sucesión de las comunidades marinas.

Los valores de nitrógeno registrados durante nuestro estudio, estuvieron por encima de las concentraciones a las cuales especies como *Ulva fasciata* y *Gracilaria bayley*, alcanzan el máximo crecimiento en condiciones experimentales (Lapointe & Tenor, 1981; DeBoer, 1978). De igual manera, nuestros valores fueron más altos que los registrados en ecosistemas con una gran dominancia de macroalgas en Australia (Crossland *et al.*, 1984).

De acuerdo a los valores obtenidos en las concentraciones de nitrógeno inorgánico total y fósforo total en el sistema y según la clasificación de Håkanson (1994), para

ubicar las aguas costeras en los diferentes estados tróficos, podemos señalar que las concentraciones de fósforo total; 3.66-11.91  $\mu\text{M}$  en secas y 2.68-7.85  $\mu\text{M}$  en lluvias, sitúan a este sistema como hipertrófico. Al igual que las concentraciones de NIT y clorofilas.

Estas condiciones de hipertroficación en el sistema, sugieren la aparente dependencia de *U. lactuca* a la temperatura y de *G. sjoestedtii* a la salinidad. En este estudio, es difícil evaluar el papel de los nutrientes en el crecimiento macroalgal, ya que solo se midieron cantidades de nutrientes incorporados al sistema por unidad de área y tiempo y no por cargas. Por tanto, el hecho de que no se hayan observado correlaciones notables con los nutrientes no significa que éstos no jueguen un papel importante en la dinámica algal. Lo anterior podría ser explicado a partir de que las algas podrían estar asimilando rápidamente los nutrientes en grandes cantidades de manera que las concentraciones medidas en la columna de agua, que es la diferencia entre carga e incorporación por macroalgas aparecen incorrelacionadas con la dinámica de crecimiento algal, aunque la disponibilidad (cargas) de nutrientes condicione el crecimiento algal.

#### 4. CONCLUSIONES

- ◆ El análisis global de las variables físicas y químicas indican que existen periodos muy marcados en cuanto a su comportamiento que coincide con las tres épocas climáticas que abarcó el estudio.
- ◆ Las variaciones estacionales de las concentraciones de nutrientes en el presente estudio revelaron diferencias en las épocas climáticas al observarse una mayor concentración en la época de lluvias con respecto a la época de secas, a excepción de los nitratos que fueron más abundantes en la época de secas. Lo anterior sugiere que durante el periodo de lluvias el sistema recibe mayores aportes de nutrientes provenientes principalmente de los escurrimientos.
- ◆ La especie dominante del nitrógeno inorgánico fue el amonio que representó el 75 % del nitrógeno inorgánico total del sistema, quedando por encima del intervalo promedio considerado para lagunas costeras mexicanas. Lo que sugiere que los valores de amonio aquí medidos corresponden a un sistema eutroficado.
- ◆ En general, los valores de la relación N:P sugieren que los nutrientes no fueron limitantes para el desarrollo de las macroalgas en las diferentes estaciones seleccionadas en este estudio en el sistema lagunar Estero de Urias.
- ◆ La relación N:P presentó diferencias significativas entre épocas climáticas en las estaciones ubicadas en la entrada del sistema (estación 4), y la situada en la parte media (estación 2).
- ◆ Los valores promedio de la relación N:P encontrados en la cabecera del sistema (estación 1) son comparables a los encontrados en la mayoría de los sistemas lagunares mexicanos. Sin embargo, los valores encontrados en la parte media (estaciones 2 y 4), evidenciaron un exceso de nitrógeno, y en algunos casos de fósforo, debido posiblemente a la presencia cercana de efluentes de origen antropogénico.
- ◆ El mayor número de especies para ambas épocas (secas y lluvias), se encontró siempre en la boca de entrada del sistema, indicando que los ecotonos o las zonas de transición entre el ambiente estuarino y marino desarrollan comunidades

propias y distintas a las comunidades inmediatas.

- ◆ El hecho de que el número de especies fuera mayor en la época de secas (35), que en la de lluvias (31), y que el número de especies exclusivas fuera también mayor en la época de secas (13) que en la de lluvias (9), evidencian que la comunidad de macroalgas del sistema Urías presenta una mejor adaptación a las condiciones ambientales que se dan en la época de secas.
- ◆ Los resultados del análisis de clasificación indican que en la época de lluvias los factores ambientales que controlan la distribución de las macroalgas en el sistema Urías delimitan zonas con cierta homogeneidad ambiental, que se traduce en una cierta semejanza en la composición específica dentro de cada zona. Sin embargo, en la época de secas, estos factores se encuentran más dispersos por todo el sistema y no delimitan unidades ambientales tan claras como en el caso anterior.
- ◆ Se determinó la presencia de 4 zonas florísticas para la época de lluvias que se corresponden con diferentes partes del estero con características ambientales bien definidas: quedando ubicada una primera zona (unidad 1) en la cabecera del estero, una segunda (unidad 2), que se ubicó con el estero el Infiernillo, una tercera (unidad 3) que abarcó las estaciones ubicadas cerca y hacia la boca, y una cuarta (unidad 4) que cubre las estaciones de la parte media del estero. Esto sugiere el uso de las macroalgas como herramienta en el monitoreo ambiental, junto con el estudio físico químico del ambiente.
- ◆ Las especies responsables de la separación de los grupos señalados en el punto anterior, pueden ser consideradas como bioindicadoras de cada unidad ambiental, quedando definidas cada una por la presencia de las especies; *Caloglossa leprieurii* y *Bostrychia* sp. para la unidad ambiental 1, *Enteromorpha clathrata* para la unidad 2, *Gelidium sclerophyllum* y *Anthitamnion graffei* para la unidad 3, *Gracilaria sjoestedtii* para la unidad ambiental 4. También se delimitó otra unidad ambiental en la parte media del estero caracterizada por la presencia de la microalga verde-azul *Microcoleus lyngbyaceae*.

- ◆ La biomasa macroalgal del sistema para este período de estudio estuvo representada básicamente por dos especies de presencia estacional dándose una sucesión entre ellas en las diferentes épocas climáticas que se reflejó en la presencia de la clorofita *Ulva lactuca* en la época de secas, que es desplazada en la época de lluvias por la rodofita *Gracilaria sjoestedtii*.
- ◆ Según los resultados, la biomasa de las principales poblaciones algales (*Ulva lactuca* y *Gracilaria sjoestedtii*) en el sistema lagunar de Urías está controlada principalmente por una conjunción de factores, entre los cuales destacan la temperatura del agua, salinidad y la luz, siendo el efecto de los nutrientes menos significativo debido a la saturación del sistema en estos elementos.
- ◆ Por consiguiente, el funcionamiento de las poblaciones de *Ulva lactuca* y *Gracilaria sjoestedtii*, parece condicionado por factores climáticos generales como la presencia de las lluvias, la temperatura, y las horas luz, de tal manera que en la época de secas, cuando la salinidad y el fotoperiodo aumenta y la temperatura baja, se favorece la presencia de *Ulva lactuca*. En cambio, en la época de lluvias, cuando disminuye la salinidad y el fotoperiodo (por efecto de la nubosidad), y aumenta la temperatura, se favorece el crecimiento de *Gracilaria sjoestedtii*.

## 5. LITERATURA CITADA

- Abbott, I.A. & G. Hollenberg. 1976. **Marine Algae of California**. Stanford. Stanford University Press. 827 pp.
- Abbott, I.A. 1983. Some species of *Gracilaria* (Rhodophyta) from California. **Taxon**. **32 (4):561-564**.
- Alveal, K. y H. Romo. 1995. Estudios zonacionales. En: **Manual de Métodos Ficológicos**. Alveal, K., M.E. Ferrario, E.C. Oliveira y E. Sar (Eds.). Concepción, Chile. Universidad de Concepción Chile. p. 612-640.
- Alvarez León, R. 1977. Estudio hidrológico de los esteros del Astillero, Urías y La Sirena adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. **Tesis Maestría**. U.N.A.M., UACPyP-CCH-CCML. 131 pp.
- Arenas, E.M., J.A. Cruz, J.M. López, J.A. Sánchez y M.A. Trasviña. 1986. Características hidrográficas en el sistema de Urías, Mazatlán, Sin., México, durante 1984-1985. **Memoria de Servicio Social**. Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela Ciencias del Mar. 75 pp.
- Aspila, K.I., H. Agemian & A.S. Chau. 1976. A semiautomated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. **Analyst**. **101:187-197**.
- Bakus, G.J. 1990. **Quantitative Ecology and Marine Biology**. Rotterdam. A.A. Bakelma. 156 pp.
- Balderas, S.A., B.L.Gutiérrez B. y M.C. Valdéz, 1990. Florística y ecología de macroalgas en las zonas litoral y sublitoral superior de Mazatlán, Sinaloa. **Memoria de Servicio Social**. Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela Ciencias del Mar. 183 pp.

- Ballesteros, G.G. 1996. Variación estacional de biomasa de *Chondracathus canaliculatus* (Rhodophyta, Gigartinales) asociada con factores ambientales, a través de un análisis de componentes principales. **Ciencias Marinas** 22 (4):459-467.
- Barranco Ramírez, E. 1999. Composición y abundancia de copépodos planctónicos en el estero de Urías (Mazatlán, Sinaloa, México). **Tesis Maestría**. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias del Mar. (tesis en proceso).
- Bjornsater, Bo. R. & P. Wheeler. 1990. Effect of nitrogen and phosphorus supply on growth and tissue composition of *Ulva fenestrata* and *Enteromorpha intestinalis* (Ulvales, Chlorophyta). **J. Phycology** 26:603-611.
- Blackburn, Y.T.H. & J. Sorensen. 1988. **Nitrogen cycling in coastal marine environments**. Chichester. J. Wiley & Sons. 451 pp.
- Buendía, M.L., C. Escudero, y P. Andrade. 1986. Contribución al estudio de la bioquímica de las algas marinas y su aprovechamiento con aspectos florísticos de la zona de Mazatlán, Sinaloa e Islas Mariás Nayarit, México. **Memoria de Servicio Social**. Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela. Ciencias del Mar. 114 pp.
- Burrows, E.M. 1971. Assessments of pollution effects by the use of algae. **Proceedings of the Royal Society of London**. B177:295-306.
- Calvo, F. 1985. **Estadística aplicada**. 2da. Ed. España. Ediciones Deusto. 596 pp.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Austr. J. Ecol.** 18:117-143.
- Clarke, K.R., & R.M. Warwick. 1994. Similarity-based testing for community pattern: the two-way layout with no replication. **Mar. Biol.** 118:167-176.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). Servicio Meteorológico Nacional. 1998. Datos estadísticos climáticos de Mazatlán, 1998. Mazatlán, Sinaloa. Observatorio meteorológico. **op. cit.**

- Contreras, F., O. Castañeda, R. Torres y F. Gutiérrez. 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. **Rev. Biol. Trop.** 44 (2):417-425.
- Contreras, E., O. Castañeda y R. Torres. 1997. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca, México. **Hidrobiológica** 7:9-17.
- Cortés-Altamirano, R. y N. Pastén. 1982. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del estero de Urías, Sin., México. I Período primaveral 1980. **Rev. Lat-amer. Microbiol.** 24:103-114.
- Cortés-Altamirano, R. y N. Pastén. 1982. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del estero de Urías, Sin., México. II Período de verano 1980. **Rev. Lat-amer. Microbiol.** 24:297-308.
- Cortés-Altamirano, R. y N. Pastén. 1984. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del estero de Urías, Sin., México. III Período de otoño 1980. **Rev. Lat-amer. Microbiol.** 26:353-363.
- Cotton, A.D., 1911. On the growth of *Ulva latissima* in excessive quantity, with special reference to the Ulva nuisance in Belfast Lough. **Royal Commission on sewage disposal**. Seventh Report. Vol. 2, Appendix 4. HMSO. p. 121-142.
- Crossland, C.J., B.G. Hatcher, M.N. Atkinson & S.V. Smith. 1984. Dissolved nutrients of a high latitude coral reef. Houtman Abrolhos Islands. Western Australia. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 14:159-163.
- Cruz, M.B., M. Casas & S. Ortega. 1998. Temporal and spatial variation on frondose benthic seaweeds in La Paz Bay, B.C.S., México. **Bot. Mar.** 41:191-198.
- Darley, W.M. 1987. **Biología de las algas**. Enfoque fisiológico. Primera edición. México. Editorial Limusa. 233 pp.
- Dawson, E.Y. 1949. Resultados preliminares de un reconocimiento de las algas marinas de la costa Pacífica de México. **Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.** 9:215-255.

- Dawson, E.Y. 1954. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 2. Cryptonemiales (cont.). **Allan Hancock Pac. Exped.** 17 (2):241-397.
- Dawson, E.Y. 1956. **How to Know the Seaweeds**. Dubuque, Iowa, USA. W.M.C. Brown Co. Publishers. 197 pp.
- Dawson, E.Y. 1961. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 4. Gigartinales. **Pac. Nat.** 2:191-343.
- Dawson, E.Y. 1962a. Marine red algae of Pacific Mexico. In: **Allan Hancock Pac. Exped.** Part. 1. Ceramiales, 26 (1):1-105. Los Angeles, Ca. The University of Southern California Press.
- Dawson, E.Y. 1962b. Marine red algae of Pacific Mexico. In: **Allan Hancock Pac. Exped.** 26: Part. 7. Ceramiales: Ceramiaceae, Delesseriaceae.: 1-207. Los Angeles, Ca. The University of Southern California Press.
- Dawson, E.Y. 1963. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 8. Ceramiales: Dasyaceae, Rhodomelaceae. **Nova Edwigia** 6:401-481.
- Dean, W.E. Jr. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. **J. Sedim. Petrol.** 44:249-253.
- DeBoer, J.A., H.J. Guigli, T.L. Israel & D.C.S. 1978. Nutritional studies of two red algae. I. Growth rate as a function of nitrogen source and concentration, **J. Phycol.** 14:261-266.
- De Casabianca, M.L. & F. Posada. 1998. Effect of enviromental parameters on the growth of *Ulva rigida* (Thau Lagoon, France). **Bot. Mar.** 41:157-165.
- De la Lanza, G. y M. Rodríguez. 1990. Caracterización regional de la laguna de Caimanero, Sinaloa, México, a través de algunas variables geoquímicas. **Ciencias Marinas** 16 (3):27-44.
- De la Lanza, G. & M. Rodríguez. 1993. Nutrient exchange between subtropical lagoons and the marine environment. **Estuaries** 16 (2): 273-279.

- De la Lanza, G. 1994. Química de las Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. **En: Lagunas costeras y el litoral mexicano** De la Lanza, G. y C. Cáceres (Eds.). México: Universidad Autónoma de Baja California Sur. p.127-198.
- Doty, M.S. 1957. Rocky intertidal surfaces. **Geol. Soc. Amer. Mem.** 67 (1):535-585.
- Druehl, L. 1981. Geographical distribution. **In: The Biology of Seaweeds.** Lobban, C. S. & Wynne. M.J. (Eds). Oxford. Blackwells Scientific Publications, p. 306-325.
- Duarte, C. 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. **Ophelia** 41:87-112.
- Edwards, P. 1973. Benthic algae in polluted estuaries. **Mar. Pollut. Bull.** 3:55-60.
- Espinoza, J. 1993. Macroalgas marinas del Golfo de California. **En: Biodiversidad Marina y Costera de México.** Salazar-Vallejo S. y N. González (Eds.). México: CONABIO. p. 328-357.
- Estacio, F., E. Adiego, J.L. Carballo, E. Sánchez, J.J. Izquierdo & J.C. García. 1999. Interpreting temporal disturbances in an estuarine benthic community under combined anthropogenic and climatic effects. **Journal of Coastal Research** 15 (1):155-167.
- Farrel, E., A. Critchley y L. Cid. 1995. Análisis multivariado de comunidades de algas. **En: Manual de Métodos Ficológicos.** Alveal K., M.E. Ferreiro, E.C. Oliveira y E. Sar (Eds.). Concepción, Chile. Universidad de Concepción. p. 795-823.
- Field, J.G., K.R. Clarke & M. Warwick. 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 8: 37-52.
- Fong, P., R.M. Donohoe & J.B. Zedler. 1994. Nutrient concentration in tissue of the macroalgae Enteromorpha as function of nutrient history: an experimental evaluation using field microcosms. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 106:273-281.
- Fong, P., K.E. Boyer, J.S. Desmond & J.B. Zedler. 1996. Salinity stress, nitrogen competition, and facilitation: what controls seasonal succession of two opportunistic green macroalgae?. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 206:203-221.

- Folk, R. L. 1974. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin, Texas. Hemphills Pub. Co., 151 pp.
- Galindo, G. 1986. Contaminación por hidrocarburos del petróleo en el estero de Uriás, Mazatlán, Sinaloa. **Revista Ciencias del Mar. U.A.S. Epoca 1, año 2 No. 8:38-43.**
- García, E. 1973. **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlo a la República Mexicana)**. México: Instituto de Geografía. Universidad. Nacional. Autónoma de México. 71 pp.
- Garza, T.E. 1999. Características estructurales de las comunidades de macroalgas de la Bahía de Mazatlán, durante "El Niño-1997-1998". **Memoria Profesional Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar. 51 pp.**
- Gilmartin, M. & N. Revelante. 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. **Estuar. Coast. Mar. Sci. 7:29-47.**
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt & K. Kremling. 1983. **Methods of Seawater Analysis**. 2ª. Ed. Weinheim. Verlag Chemie. 419 pp.
- Häkanson, L. 1994. A review of effect dose-sensitivity models for aquatic ecosystems. **Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie. 79:621-667.**
- Hatton, R. S., W.H. Patrick Jr. & R.D. De Laune. 1982. Sedimentation nutrient accumulation and early diagenesis in Louisiana Barataria Basin coastal marshes. **En: Estuarine Comparisons**. V.S. Kennedy (Ed). New York. Academic Press. p.255-267.
- Heredia, L.G., J.H. Mexía y L.M. Hernández. 1988. Estudio de la contaminación por plaguicidas en camarón *Penaeus* sp. y en agua del estero de Uriás, Mazatlán, México. **Memoria de Servicio Social**. Universidad Autónoma de Sinaloa. Escuela Ciencias del Mar. 96 pp.
- Ho, Y.B. 1981. Mineral element content in *Ulva lactuca*. with reference to eutrophication in Hong Kong coastal waters. **Hydrobiologia 77: 43-47.**

- Hollenberg, G.H. & E.Y. Dawson. 1961. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 5. The Genus *Polysiphonia*. **Pac. Nat.** 2: 345-375.
- Ignitiades, L., M. Karidis & P. Vounatsou. 1992. A possible method for evaluating oligotrophy and eutrophication based on nutrient concentration scales. **Mar. Poll. Bull.** 24:238-243.
- Joly, A.B. 1967. **Géneros de algas marinas de la Costa Atlántica Latino-Americana**. Sao Paulo. Edit. USP. 461 pp.
- Josselyn, M.N. & J.A. West. 1985. The distribution and temporal dynamics of the estuarine macroalgal community of San Francisco Bay. **Hydrobiologia** 129:139-152.
- Kanwisher, J. 1966. Photosynthesis and respiration in some seaweeds. In: **Contemporary studies in Marine Science**. H. Barnes (Ed.). London. G. Allen and Unwin. p. 407-420.
- Kirkwood, D.S. 1992. Stability of solution of nutrient salt during sotage. **Mar. Chem.** 38:151-164.
- Knoppers, B. 1994. Coastal lagoon processes. **Oceanography Series** 60:243-274.
- Krebs, C. 1985. **Ecología**. Estudio de la distribución y la abundancia. 2ª edición. México Harla Harper y Row Latinoamericana. 753 pp.
- Krebs, C.J. 1989. **Ecological Methodology**. New York, Haper y Row. 653 pp.
- Kwong-yu, C., P.K. Wong & S.L. Ng. 1982. Growth of *Enteromorpha linza* in sewage effluent and sewage-seawater mixtures. **Hydrobiologia** 97:9-13.
- Lankford, R.A. 1977. Coastal Lagoons of México. Their origin and classification. In: **Estuarine Processes**. Vol. II Wiley, M. (Ed.). New York: Academic Press. p.183-215.
- Lapointe, E. & K.R. Tenor. 1981. Experimental outdoor studies with *Ulva fasciata* Delile. I. Interactions of light and nitrogen on nutrient uptake, growth and biochemical composition. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 53:135-152.

- Lapointe, E. 1989. Macroalgal production and nutrient relations in oligotrophic areas of Florida Bay. **Bull. Mar. Sci.** 44: 312-323.
- Lozano, D. 1986. Estudio florístico de macroalgas de la zona litoral en Mazatlán, Sinaloa. **Memoria de Servicio Social**. Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela Ciencias del Mar. 69 pp.
- Lüning, K. 1990. **Seaweeds: Their environment, biogeography and ecophysiology**. New York. Wiley. 526 pp.
- Maldonado, S.E., A. Ortiz, J.A. Ramirez, J.L. Mastachi y J.M. Ponce de León. 1980. Medición de algunos parámetros fisico-químicos y biológicos del canal de navegación y áreas adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. **Memoria de Servicio Social**. Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela Ciencias del Mar. 82 pp.
- Magurran, A.E. 1991. **Ecological diversity and its measurement**. London: Chapman and Hall. 179 pp.
- Margalef, R. 1974. **Ecología**. Barcelona, España. Ed. Omega. 952 pp.
- Murthy, M.S., C.L.N.S.Sharma & Y.N. Rao. 1988. Salinity induced changes in peroxidase activity in the great seaweed *Ulva lactuca*. **Bot. Mar.** 31:307-340.
- Naranjo, S.A., J.L. Carballo y J.C. Garcia. 1997. Relaciones entre el medio abiótico y las comunidades bentónicas marinas. Una aproximación mediante técnicas multivariantes. **En: Jornadas de Medio Ambiente**. Sesión de Biología y Medio Ambiente. Universidad de Cádiz. España. (en prensa).
- Neushul, M. & D. Coon. 1971. Bibliography on the ecology and taxonomy of marine algae. **In Selected papers in Phycology**. J.R. Rosowski & B.C. Parker (Eds.). Nebraska. University of Nebraska. p.12-17.
- Norton, T.A. 1991. Conflicting constraints on the form of intertidal algae. **British Phycological Journal** 26: 203-218.
- Osuna, J.I., P.Ortega & F. Páez. 1986. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. **Ciencias Marinas** 12:35-45.

- Owens, N.J.P. & W.D.P. Stewart. 1983. Enteromorpha and the cycling on nitrogen in a small estuary. **Estuar. Coast. Shelf Sci.** 17:287-297.
- Páez, F., M.L. Fong-Lee y H. Fernández. 1984. Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos: Nota Científica. **An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. Méx.** 11(1):233-239.
- Páez, F., Y. Montaña y H. Bojórquez. 1990. Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del Puerto de Mazatlán, y las aguas costeras adyacentes. **Rev. Int. Contam. Ambient.** 6:19-32.
- Páez, F., J.I. Osuna & H. Bojórquez. 1991. Accumulation and distribution of phosphorus in the sediments of the Gulf of California. **Marine Mining** 10:285-301.
- Páez, F., S.R. Guerrero, A.C. Ruiz & R. Espinoza. 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in North-Western México. **Mar. Pollut. Bull.** 34 (5):290-297.
- Peckol, P. & J.S. Rivers. 1995. Physiological responses of the opportunistic macroalgae *Cladophora vagabunda* (L.) van den Hoek and *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan) to environmental disturbances associated with eutrophication. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 190:1-16.
- Pedersen, F.M & J. Borum. 1996. Nutrient control of algal growth in estuarine waters. Nutrient limitation and the importance of nitrogen requirements and nitrogen storage among phytoplankton and species of macroalgae. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 142:261-272.
- Pérez Bernal, L.H. 1999. Concentración, distribución y fraccionamiento geoquímico del fósforo en los sedimentos de dos lagunas costeras del noroeste de México. **Tesis de Maestría.** U.N.A.M, UACPyP-CCH-ICML. 145 pp.
- Presley, B.J. & J.H. Trefy. 1980. Sediment water interaction and geochemistry of interstitial waters. In: **Chemistry, Geochemistry of Estuaries.** Olausson E. y I. Cato (Eds.). Chichester. J. Wiley. p.187-232.

- Pritchard, D.W. 1967. What is an estuary: Physical viewpoint. **In: Estuaries: Papers Conference on Estuaries Jekyll Island.** Lauff, G.H. (Ed.). Washington: Am. Assoc. Adv. Sci. p. 3-5.
- Redfield, A.C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. **American Scientist** 46:205-221.
- Redfield, A.C., B.H. Ketchum & F.A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. **In: The Sea. Volume 2.** N. Hill (Ed.). New York Wiley. p. 26-77.
- Rhee, G-Yull. 1978. Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake. **Limnol. Oceanogr.** 23:10-25.
- Rinaldi, A.G., G. Montanari, A. Ghetti, C.R. Ferrari & A. Ferrari. 1992. Eutrophy and distrofy in the Goro lagoon, **In: Marine Coastal Eutrophication.** R. A. Vollenweider, R. Marchetti y R. Uviani (Eds.). Amsterdam. Elsevier Sci. Pub. p. 457-470.
- Ryther, J.H. & W.M. Dustan. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. **Science** 171:1008-1013.
- Robles Jarero, E.G. 1985. Productividad primaria del fitoplancton y distribución temporo-espacial de pigmentos fotosintéticos (clorofila "a" y feopigmentos) en el Estero de Urías, durante un ciclo anual (septiembre de 1982-agosto de 1983). **Tesis Profesional.** Universidad Autónoma de Guadalajara. Escuela de Biología. 76 pp.
- Rodier, J. 1981. **Análisis de las aguas.** Barcelona. Ediciones Omega. 659 pp.
- Rosales Hoz, M.T.L. 1980. **Manual de Laboratorio de Oceanografía Química.** México. Centro de Ciencias del Mar y Limnología, U.N.A.M. 170 pp.
- Sand-Jensen, K. 1988. Minimum light requirements for growth in *Ulva lactuca*. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 50:187-193.
- Santelices, B. 1977. Ecología de las algas marinas bentónicas. **Tesis Doctoral.** Pontificia Universidad Católica de Chile. 488 pp.

- Scagel, R. F. 1959. The role of plants in relation to animals in the marine environment. In: **Mar. Biol. Proc. 20<sup>th</sup> Biology Colloquium**. Oregon State College, April 1959. p. 9-29.
- Secretaría de Marina. 1974. **Estudio geográfico de la región de Mazatlán, Sinaloa**. México. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. 351 pp.
- Setchell, W. & N. Gardner. 1920. The Marine Algae of the Pacific Coast of North America. Part. II Chlorophyceae, **Univ. Calif. Publ. Bot. 8 (2):139-374**.
- Setchell, W. & N. Gardner. 1924. Expedition of the California Academy of Sciences to the Gulf of California in 1921. The marine algae **Proc. Calif. Acad. Sci. (Ser.IV) 12 (29):695-949**.
- Sfriso, A., A. Marcomini & B. Pavoni. 1987. Relationships between macroalgal biomass and nutrient concentrations in a hypertrophic area of the Venice Lagoon. **Mar. Env. Res. 22:297-312**.
- Sfriso, A., B. Pavoni, A. Marcomini & A. Orio. 1988. Annual variations of nutrients in the Lagoon of Venice. **Mar. Pollut.Bull. 19: 54-60**.
- Sfriso, A., B. Pavoni & A. Marcomini. 1989. Macroalgae and phytoplankton standing crops in the central Venice Lagoon: Primary production and nutrient balance. **Sci. Total Environ. 80:139-159**.
- Sfriso, A., B. Pavoni, A. Marcomini & A. Orio. 1992. Macroalgae, Nutrient cycles, and Pollutants in the Lagoon of Venice. **Estuaries 15:515-528**.
- Sfriso, A. & A. Marcomini. 1999. Macrophyte production in a shallow coastal lagoon. Part II: Coupling with sediment, SPM and tissue carbon, nitrogen and phosphorus concentrations. **Mar. Env. Res. 47: 285-309**.
- Sneath P.H.A., & R.R.Sokal. 1973. **Numerical Taxonomy**. The principles and practice of numerical classification. San Francisco. W.H. Freeman and Company. 573 pp.
- Solórzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by phenol-hypoclorite method. **Limnol. Oceanogr. 14:789**.

- Soto Jiménez, M.F. 1998. Distribución y concentración de metales pesados en los sedimentos del puerto de Mazatlán y áreas adyacentes: su normalización y fraccionamiento geoquímico. **Tesis de Maestría**. U.N.A.M., UACPyP-CCH-ICML. 245 pp.
- Soulsby, G., D. Lowthion, M. Houston & C. Montgomery. 1985. The role of sewage effluent in the accumulation of macroalgal mats on intertidal mudflats in two basins in southern England. **Neth. J. Sea Res.** 19:257-263.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. **A practical handbook of seawater analysis**. Canada. Bull. Fish. Res. Board. 167. 311 pp.
- Stumm, W. & J. Morgan. 1982. **Aquatic Chemistry**. Nueva York, Wiley. 780 pp.
- Tirado, J. L. 1974. Estudio florístico de las algas marinas del Puerto de Mazatlán, Sinaloa. **Tesis Profesional**. Instituto Politécnico Nacional. México. 186 pp.
- Valiela, I., J. McClelland, J. Hauxwell, P.J. Behr, D. Hersh & K. Foreman. 1997. Macroalgal blooms in shallow estuaries: Controls and ecophysiological and ecosystem consequences. **Limnol. Oceanogr.** 42 (5 Part 2):1105-1118.
- Vázquez, J.A. y J. González. 1995. Métodos de evaluaciones de macroalgas submareales. **En: Manual de Métodos Ficológicos** Alveal, K., M.E. Ferreiro, E.C. Oliveira y E. Sar (Eds.). Concepción, Chile. Universidad de Concepción. p. 643-675.
- Villalba, L. A. 1986. Descripción general del Estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. **Revista Ciencias del Mar, U.A.S. Epoca 1, Año 2, No. 8:** 32-37.
- Warwick, R.M. & K.R. Clarke. 1991. A comparison of some methods for analysing changes in benthic community structure. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.** 71:225-244.
- Welsh, B. L. 1980. Comparative nutrient dynamics of a marsh mudflat ecosystem. **Estuar. Coast. Mar. Sci.** 10:143-165.
- Wynne, M.J. 1986. A Checklist of benthic marine algae of the tropical y subtropical western Atlant. **Can. J. Bot.** 64:2239-2281.
- Zar, J.H. 1984. **Biostatistical analysis**. 2º. Ed. New Jersey, Prentice Hall. 718 pp.

## **6. ANEXOS**

Anexo I. Valores obtenidos de la medición de variables físicas y químicas en el sistema lagunar Estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa.

ESTACION 1	Fecha																	
VARIABLE	26/02/98	12/03/98	26/03/98	07/04/98	23/04/98	07/05/98	27/05/98	07/08/98	21/08/98	04/09/98	17/09/98	01/10/98	15/10/98	29/10/98	21/11/98	08/12/98	21/01/99	25/02/99
Temperatura °C	24.5	24	25.3	25	26	26.7	27	30.2	30.7	27	30.3	28.7	32.2	30.6	25.6	22	20.6	25.8
pH	7.37	7.51	7	6.74	6.49	7.1	7.09	7.6	7.51	6.39	6.38	6.4	6.72	7.78	7.6	7.5	7.5	7.51
Clorinidad g/l	20.92	19.24	20.02	19.82	19.75	20.45	20.65	13.93	17.53	5.03	17.13	5.28	15.39	16.9	19.03	20.09	21.16	20.84
Oxígeno disuelto ml/l	3.17	5.76	3.39	4.86	4.14	2.63	2.6	2.61	2.33	2.79	2.81	3.76	3.07	6.1	5.1	4.68	4.21	4.26
DBO mg/l (5 días)	4.42	1.02	1.19	6.74	3.43	3.5	1.84	1.9	1.98	1.93	3.01	3.55	2.86	0	3	3.07	3.14	2.83
Sólidos susp. totales. mg/l	18.77	15.52	14.6	14.83	4.55	1.75	9.33	14.77	21.81	34.86	24.28	67.2	22	88.24	50.08	32.11	13.41	53.14
Fósforo total µM	4.94	7.14	7.5	6.82	5.87	4.58	3.66	4.57	3.34	6.13	5.5	5.9	5.68	7.85	7.54	7.38	7.23	4
Fósforo disuelto µM	4.12	1.35	1.07	1.9	1.13	1.4	1.86	1.67	1.71	2.97	2.52	2.41	2.77	1.13	1.09	1.07	1.06	1.94
Amonio µM	14.2	3.97	14.29	1.08	12.25	10.69	14.8	20.56	17.5	21.19	19.18	16.17	8.77	0.5	13.08	20.45	27.1	43.5
Nitritos µM	0.38	0.17	0.3	0.66	0.26	0.68	0.45	0.61	0.56	1.16	0.68	0.67	0.64	0.24	0.86	1.17	1.48	1.09
Nitratos µM	1.64	3.76	4.78	2.11	1.74	1.36	6.49	2.15	1.17	10.94	4.93	8.71	1.23	1.55	3.32	4.21	5.1	6.78
N-inorgánico total µg-at N/l	16.22	7.9	19.37	3.85	14.25	12.73	21.74	23.32	19.23	33.29	24.79	25.55	10.64	2.29	17.26	25.83	33.68	51.37

ESTACION 2	Fecha																	
VARIABLE	26/02/98	12/03/98	26/03/98	07/04/98	23/04/98	07/05/98	27/05/98	07/08/98	21/08/98	04/09/98	17/09/98	01/10/98	15/10/98	29/10/98	21/11/98	08/12/98	21/01/99	25/02/99
Temperatura °C	26.4	25	28.5	26	26	28	30	31.3	31.8	29.3	30.8	29.2	32	31.7	25.6	23	23.5	26
pH	7.85	7.78	7	6.74	6.85	7.56	7.25	7.91	7.69	6.45	6.88	6.68	7.31	7.53	7.48	7.46	7.43	7.44
Clorinidad g/l	19.57	21.07	21.55	22.14	25.21	23.07	23.35	15.93	17.85	8.13	12.74	10.14	17.92	19.35	19.8	20.02	20.25	19.94
Oxígeno disuelto ml/l	3.27	8.26	4.62	3.7	8.15	5.77	3.39	1.63	4.02	2.97	3.58	5.06	4.82	5.88	4.91	4.43	3.95	4.8
DBO mg/l (5 días)	4.85	2.96	1.22	3.99	4.05	4.46	1.03	1.39	1.81	1.78	2.34	3.23	2.11	1.8	1.29	1.04	0.79	2.53
Sólidos susp. totales. mg/l	22.16	20.33	23	12.46	18.16	7.07	8.57	11.14	33.33	11.8	18.89	26.86	25.78	2.81	3.4	3.7	4	12
Fósforo total µM	4.98	5.29	4.47	4.29	3.16	3.88	3.72	6.5	5.7	5.25	4.26	6.05	3.53	2.68	4.64	5.62	6.6	3.07
Fósforo disuelto µM	4.67	0.86	1.79	2.08	0.72	1.08	2.08	2.27	1.6	2.84	2.21	2.05	1.24	1.87	1.45	1.24	1.04	1.4
Amonio µM	25.88	9.05	19.57	4.64	14.95	10.98	22.5	18.4	14.89	31.42	26.61	21.23	6.38	3.1	18.35	25.97	33.6	29.3
Nitritos µM	0.97	1.16	1.01	0.34	0.36	0.17	0.83	0.92	0.7	1.21	1.18	1.06	0.23	1.67	1.81	1.88	1.96	1.2
Nitratos µM	7.97	7.03	6.57	4.88	3.92	1.9	6.65	1.82	1.79	7.91	6.14	3.85	0.49	1.5	2	2.25	2.5	6.85
N-inorgánico total µg-at N/l	34.82	17.24	27.15	9.86	19.23	13.05	29.98	21.14	17.38	40.54	33.93	26.14	7.1	6.27	22.16	30.01	38.06	37.35

ESTACION 4	Fecha																	
VARIABLE	26/02/98	12/03/98	26/03/98	07/04/98	23/04/98	07/05/98	27/05/98	07/08/98	21/08/98	04/09/98	17/09/98	01/10/98	15/10/98	29/10/98	21/11/98	08/12/98	21/01/99	25/02/99
Temperatura °C	24.4	25	27	27	27	30	29.5	31	32	28.2	31	28.5	31	31.3	26.4	22	23.8	23
pH	7.55	8.12	7.29	6.88	6.47	7.59	7.28	8.09	7.88	6.56	7.37	6.95	7.49	7.58	7.67	7.72	7.74	7.77
Clorinidad g/l	19.8	20.04	20.25	20.74	20.99	21.31	20.65	16.93	20.2	13.71	12.81	12.07	19.39	19.92	19.67	19.1	19.6	19.74
Oxígeno disuelto ml/l	3.57	4.04	4.31	7.79	8.25	7.35	5.09	3.56	6.67	3.59	4.16	3.59	4.06	4.73	6.13	3.24	5.79	5.34
DBO mg/l (5 días)	4.91	1.03	2.82	2.95	5.69	10.61	2.04	1.48	1.8	1.93	2.07	2.63	1.94	4.06	3.64	1.41	2.33	3.24
Sólidos susp. totales. mg/l	14	20	38.33	17.6	8.2	17.82	17.14	21.6	14	19.82	13.4	26	12.2	14.16	2.7	5.29	4.77	10.22
Fósforo total µM	4.48	6.5	7.45	4.87	11.91	7.57	4.2	4.35	4.03	6.16	3.83	7.65	2.82	2.82	3.92	3.88	3.85	5.52
Fósforo disuelto µM	0.68	1.08	1.03	0.72	1.13	0.72	1.22	1.8	1.26	2.81	1.31	3.37	0.97	0.48	1.96	1.8	0.9	2.68
Amonio µM	20.53	9.74	20.43	5.63	8.57	8.43	17.6	23.27	29.72	36.17	19.4	18.93	17.81	7.23	2.45	25.14	28.4	39.4
Nitritos µM	0.64	0.56	0.38	0.34	0.55	0.66	0.55	0.67	0.58	1.26	0.75	0.77	0.38	0.92	0.58	1.08	1.1	2.04
Nitratos µM	9.43	1.41	5.12	4.36	1.75	3.32	6.75	4.01	1.38	8.29	1.91	8.66	1.39	2.21	3.38	12.15	3.86	5.33
N-inorgánico total µg-at N/l	30.6	11.71	25.93	10.33	10.87	12.41	24.9	27.95	31.68	45.72	22.06	28.36	19.58	10.36	6.41	38.37	33.36	46.77

## Anexo II. Relación N:P en las estaciones y épocas de muestreo.

Muestréos	Pdisuelto $\mu\text{M}$	Ninorg.total	N:P	Pdisuelto $\mu\text{M}$	Ninorg.total	N:P	Pdisuelto $\mu\text{M}$	Ninorg.total	N:P
Fecha	E-1	E-1	E-1	E-2	E-2	E-2	E-4	E-4	E-4
<b>Secas/98</b>									
26-Feb-98	4.12	16.22	3.94	4.67	34.82	7.46	0.68	30.6	45.00
12-Mar-98	1.35	7.9	5.85	0.86	17.24	20.05	1.08	11.71	10.84
26-Mar-98	1.07	19.37	18.10	1.79	27.15	15.17	1.03	25.93	25.17
07-Abr-98	1.9	3.85	2.03	2.08	9.86	4.74	0.72	10.33	14.35
23-Abr-98	1.13	14.25	12.61	0.72	19.23	26.71	1.13	10.87	9.62
07-May-98	1.4	12.73	9.09	1.08	13.05	12.08	0.72	12.41	17.24
27-May-98	1.86	21.74	11.69	2.08	29.98	14.41	1.22	24.9	20.41
<b>Lluvias/98</b>									
07-Ago-98	1.67	23.32	13.96	2.27	21.14	9.31	1.8	27.95	15.53
21-Ago-98	1.71	19.23	11.25	1.6	17.38	10.86	1.26	31.68	25.14
04-Sep-98	2.97	33.29	11.21	2.84	40.54	14.27	2.81	45.72	16.27
17-Sep-98	2.52	24.79	9.84	2.21	33.93	15.35	1.31	22.06	16.84
01-Oct-98	2.41	25.55	10.60	2.05	26.14	12.75	3.37	28.36	8.42
15-Oct-98	2.77	10.64	3.84	1.24	7.1	5.73	0.97	19.58	20.19
29-Oct-98	1.13	2.29	2.03	1.87	6.27	3.35	0.48	10.36	21.58
<b>Secas/99</b>									
21-Nov-98	1.09	17.26	15.83	1.45	22.16	15.28	1.96	6.41	3.27
08-Dic-98	1.07	25.83	24.10	1.24	30.01	24.20	1.8	38.37	21.32
21-Ene-99	1.06	33.68	31.77	1.04	38.06	36.60	0.9	33.36	37.07
25-Feb-99	1.94	51.37	26.48	1.4	37.35	26.68	2.68	46.77	17.45

Anexo III. Contenido de materia orgánica, fósforo y granulometría de los sedimentos superficiales (0-2 cm) del Estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa.

Secas/98	Granulometría			Fósforo en sedimento	% de materia orgánica
	% Arenas	% Limos	% Arcillas	µg de P/g de muestra	
1	62.7	27.7	9.6	188.4	25.7
2	92.6	0.1	7.3	161.2	3.6
4	92.6	0.1	7.3	339.9	9.7
Lluvias/98					
1	71.5	21.0	7.5	156.8	4.5
2	76.4	21.0	2.5	209.1	5.5
4	92.6	0.1	7.3	228.4	2.4

Anexo IV. Valores de las correlaciones significativas (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ) entre las variables ambientales examinadas en las aguas del Estero de Urías, Mazatlán, Sin.

### Estación 1

Variabes	Secas	Lluvias	Ambas épocas
Temperatura vs sólidos susp.totales	-0.86*		
Temperatura vs N-inorgánico total		-0.86*	
Temperatura vs nitratos		-0.93*	
Temperatura vs clorinidad			-0.59**
Clorinidad vs sólidos susp.totales			-0.68**
Clorinidad vs oxígeno disuelto	-0.86*		
N-inorgánico total vs oxígeno disuelto		0.89*	-0.56*
N-inorgánico total vs nitritos		0.86*	
N-inorgánico total vs amonio	1.00		0.93***
N-inorgánico total vs nitratos		0.86*	0.68**
Nitrógeno inorgánico total vs pH			-0.59*
Sólidos susp.totales vs oxígeno disuelto		0.82*	
Sólidos susp.totales vs fósforo total		0.89*	
pH vs fósforo disuelto		-0.82*	
pH vs nitritos		-0.93*	-0.63*
Fósforo disuelto vs nitritos		0.86*	0.61*
Oxígeno disuelto vs fósforo total			0.86***
Oxígeno disuelto vs amonio			-0.62*

### Estación 2

Variabes	Secas	Lluvias	Ambas épocas
Temperatura vs nitratos		-0.86*	
Temperatura vs clorinidad		0.86*	
Temperatura vs DBO			-0.56*
Clorinidad vs nitratos		-0.93*	
Clorinidad vs pH	-1.00		
Clorinidad vs fósforo total	-0.96**		-0.55*
Clorinidad vs N-inorgánico total		-0.96**	
Clorinidad vs nitritos			-0.62*
Clorinidad vs amonio		-0.96**	
N-inorgánico total vs oxígeno disuelto			-0.63*
N-inorgánico total vs nitritos			0.73**
N-inorgánico total vs amonio	0.96**		0.98***
N-inorgánico total vs nitratos		0.96*	0.67*
N-inorgánico total vs fósforo disuelto			0.63*
Fósforo disuelto vs nitratos		0.86*	
Fósforo disuelto vs oxígeno disuelto	-0.93*		-0.87***
Fósforo disuelto vs amonio			0.66*
Amonio vs nitratos		0.96**	
Amonio vs nitritos			0.70**
Nitritos vs nitratos			0.62*

## Anexo IV...continuación

## Estación 4

Variabes	Secas	Lluvias	Ambas épocas
Temperatura vs clorinidad	0.81*		
Temperatura vs fósforo disuelto		-0.78*	
Clorinidad vs oxígeno disuelto	0.89*		0.76***
Clorinidad vs N-inorgánico total		-0.86*	
Clorinidad vs amonio	-0.78*		-0.55*
Clorinidad vs fósforo disuelto			-0.57*
Clorinidad vs nitritos			-0.59*
N-inorgánico total vs oxígeno disuelto		-0.90**	-0.77***
N-inorgánico total vs amonio	0.89*	0.89*	0.93***
N-inorgánico total vs nitratos		0.76*	0.69**
Amonio vs oxígeno disuelto	-0.78*	-0.81*	-0.80***
Amonio vs DBO		-0.82*	
Fósforo total vs fósforo disuelto		0.87*	
Fósforo disuelto vs nitratos		0.81*	





Anexo VI. Distribución de las especies de acuerdo al tipo de sustrato donde se colectaron en cada época y al # de diferentes sustratos en los que estuvo presente cada especie.

Tipos de sustrato: RM=raíz de mangle, R=roca, A= arena, E=epífita (sobre otras algas)

Ep= epizoicas (conchas de moluscos, esponjas)

O=otros sustratos ( trozos de madera, llantas, plásticos, boyas, pilotes de concreto).

a= Secas b=lluvias ab=ambas épocas							Secas	Lluvias
Especie	RM	R	A	E	Ep	O	# sustratos	# sustratos
<i>Ulva dactylifera</i>		a					1	0
<i>U. lactuca</i>		ab	a				2	1
<i>U. lobata</i>		ab					1	1
<i>Enteromorpha clathrata</i>	ab	b			ab	ab	3	4
<i>E. flexuosa</i>			a				1	0
<i>E. intestinalis</i>			a		ab		2	1
<i>E. linza</i>	a						1	0
<i>Chaetomorpha antennina</i>						a	1	0
<i>Cladophora microcladoides</i>	a	b					1	1
<i>Cladophora sp.</i>	a	b					1	1
<i>Cladophoropsis sp.</i>	a						1	0
<i>Rhizoclonium sp.</i>	b	a					1	1
<i>Codium isabellae</i>		a					1	0
<i>Bryopsis hypnoides</i>						b	0	1
<i>Caulerpa sertularioides</i>		b	a				1	1
<i>Ullothrix aequalis</i>	a		a			b	2	1
<i>Ectocarpus sp.</i>		a					1	0
<i>Dictyota johnstonii</i>	a		a				2	0
<i>Dictyota sp.</i>						b	0	1
<i>Padina durvillaei</i>		ab					1	1
<i>Stylonema alsidii</i>				ab			1	1
<i>Gelidium sclerophyllum</i>		ab		b	b		1	3
<i>Hypnea pannosa</i>		b			b		0	2
<i>H. valentiae</i>		a	a				2	0
<i>Gelidiopsis tenuis</i>					b		0	1
<i>Gracilaria crispata</i>		b	b				0	2
<i>G. sjoestedtii</i>		ab	ab				2	2
<i>Gymnogongrus leptophyllus</i>		a					1	0
<i>Ahnfeltia plicata</i>		b					0	1
<i>Grateloupia abbreviata</i>		ab					1	1
<i>Antithamnion graffei</i>				ab			1	1
<i>Callithamnion paschale</i>				b			0	1
<i>Centroceras clavulatum</i>				ab			1	1
<i>Ceramium caudatum</i>		a		b			1	1
<i>C. mazatlanense</i>				b		b	0	2
<i>C. taylori</i>						b	0	1
<i>Ceramium sp.</i>		b		a			1	1
<i>Griffithsia pacifica</i>				a			1	0
<i>Bostrychia sp.</i>	ab						1	1
<i>Caloglossa leprieurii</i>	ab						1	1
<i>Polysiphonia johnstonii</i>	a	a				b	2	1

Anexo VII. Valores promedio (g/m<sup>2</sup>) por muestreo/estación de las especies de macroalgas colectadas para el análisis cuantitativo en el estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa.

Estación 1	Fecha																	
Especie	26/02/98	12/03/98	26/03/98	07/04/98	23/04/98	07/05/98	27/05/98	07/06/98	21/06/98	04/09/98	17/09/98	01/10/98	15/10/98	29/10/98	21/11/98	08/12/98	21/01/99	25/02/99
<i>Ulva lactuca</i>	51.35	66.78	7.96	19.28	0.68	13.97	0.54	1.74	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10
<i>Enteromorpha flexuosa</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Caulerpa sertularioides</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Dictyota johnstonii</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gracilaria sjoestedtii</i>	0.12	0.55	0.00	0.12	0.03	0.60	0.04	5.04	7.78	1.99	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52

Estación 2	Fecha																	
Especie	26/02/98	12/03/98	26/03/98	07/04/98	23/04/98	07/05/98	27/05/98	07/06/98	21/06/98	04/09/98	17/09/98	01/10/98	15/10/98	29/10/98	21/11/98	08/12/98	21/01/99	25/02/99
<i>Ulva lactuca</i>	12.92	20.07	64.29	41.34	10.61	10.20	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.90
<i>Enteromorpha flexuosa</i>	0.41	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.76
<i>Dictyota johnstonii</i>	1.95	0.38	1.61	8.79	7.25	7.30	13.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Hypnea valentiae</i>	0.00	0.00	1.42	0.00	5.36	21.62	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gracilaria sjoestedtii</i>	3.46	0.02	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	18.93	71.54	31.24	22.97	11.32	0.00	3.23	0.00	0.00	6.05	28.89

ESTACION 4	Fecha																	
Especie	26/02/98	12/03/98	26/03/98	07/04/98	23/04/98	07/05/98	27/05/98	07/06/98	21/06/98	04/09/98	17/09/98	01/10/98	15/10/98	29/10/98	21/11/98	08/12/98	21/01/99	25/02/99
<i>Ulva lactuca</i>	27.08	119.17	126.76	124.47	115.30	55.31	11.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	37.49	0.00	0.00	0.00	7.44	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.37	1.41
<i>Caulerpa sertularioides</i>	6.36	1.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Gracilaria sjoestedtii</i>	2.46	2.12	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	104.42	19.32	154.88	35.53	141.09	108.03	237.48	36.69	45.63	56.83	5.66

Anexo VIII. Valores de las correlaciones significativas (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ) entre la biomasa macroalgal y las variables físicas y químicas.

Epoca de secas ( valores con letra cursiva)

Epoca de lluvias ( valores con letra normal subrayada)

Ambas épocas (valores con letra negrita)

Especie vs Variable	Estación 1	Estación 2	Estación 4
<i>U. lactuca</i> vs <i>Gracilaria sjoestedtii</i>	<b>0.69**</b>		<b>-0.82***</b>
<i>U. lactuca</i> vs temperatura	<i>-0.89*</i>		
<i>U. lactuca</i> vs temperatura	<b>-0.91***</b>	<b>-0.83***</b>	<b>-0.60*</b>
<i>U. lactuca</i> vs clorinidad	<b>0.78***</b>		<b>0.74***</b>
<i>U. lactuca</i> vs sólidos susp.totales	<b>-0.58*</b>		
<i>U. lactuca</i> vs amonio	<b>-0.73**</b>		
<i>U. lactuca</i> vs nitritos			<b>-0.64**</b>
<i>U. lactuca</i> vs fósforo total			<b>0.59*</b>
<i>U. lactuca</i> vs minutos luz	<b>0.65*</b>		<b>0.71**</b>
<i>Gracilaria sjoestedtii</i> vs clorinidad	<b>0.60*</b>	<b>-0.59*</b>	<b>-0.81***</b>
<i>G. sjoestedtii</i> vs temperatura	<b>-0.56*</b>		
<i>G. sjoestedtii</i> vs pH		<b>-0.85*</b>	
<i>G. sjoestedtii</i> vs nitratos		<b>0.81**</b>	
<i>G. sjoestedtii</i> vs nitritos		<b>0.69**</b>	<b>0.65**</b>
<i>G. sjoestedtii</i> vs fósforo disuelto		<b>0.57*</b>	
<i>G. sjoestedtii</i> vs temperatura			<b>-0.84*</b>
<i>G. sjoestedtii</i> vs oxígeno disuelto			<b>-0.54*</b>
<i>G. sjoestedtii</i> vs minutos luz		<b>-0.66**</b>	<b>-0.84**</b>

Anexo IX. Valores de las correlaciones cruzadas significativas entre la biomasa macroalgal y las variables físicas y químicas con desfases de 15 y 30 días anteriores a cada muestreo (\* $p < 0.05$  y \*\* $p < 0.01$ ).

### Estación 1

Especie vs variable	Desfase	Secas	Desfase	Lluvias	Desfase	Ambas épocas
<i>U. lactuca</i> vs temperatura					15 días	-0.61*
<i>U. lactuca</i> vs nitritos					15 días	-0.57*
<i>U. lactuca</i> vs temperatura					30 días	-0.52*
<i>Gracilaria sjoestedtii</i> vs nitratos	15 días	0.92**				
<i>G. sjoestedtii</i> vs N-inorgánico total	15 días	0.81*				
<i>G. sjoestedtii</i> vs amonio			30 días	-0.84*		

### Estación 2

Especie vs variable	Desfase	Secas	Desfase	Lluvias	Desfase	Ambas épocas
<i>U. lactuca</i> vs clorinidad					15 días	0.57*
<i>U. lactuca</i> vs nitritos					30 días	-0.554*
<i>U. lactuca</i> vs DBO			30 días	0.77*	15 días	0.46*
<i>U. lactuca</i> vs temperatura					15 días	-0.68**
<i>U. lactuca</i> vs temperatura					30 días	-0.57*
<i>U. lactuca</i> vs amonio					15 días	-0.46*
<i>U. lactuca</i> vs sólidos susp. tot.					30 días	0.63*
<i>G. sjoestedtii</i> vs clorinidad					15 días	-0.54*

### Estación 4

Especie vs variable	Desfase	Secas	Desfase	Lluvias	Desfase	Ambas épocas
<i>U. lactuca</i> vs DBO					15 días	0.52*
<i>U. lactuca</i> vs DBO					30 días	0.48*
<i>U. lactuca</i> vs <i>G. sjoestedtii</i>					15 días	-0.59*
<i>U. lactuca</i> vs <i>G. sjoestedtii</i>					30 días	-0.54*
<i>U. lactuca</i> vs oxígeno disuelto					15 días	0.62*
<i>U. lactuca</i> vs oxígeno disuelto					30 días	0.63*
<i>U. lactuca</i> vs clorinidad					15 días	0.54*
<i>U. lactuca</i> vs clorinidad					30 días	0.52*
<i>U. lactuca</i> vs fósforo total					15 días	0.60*
<i>U. lactuca</i> vs nitritos					15 días	-0.48*
<i>G. sjoestedtii</i> vs sólidos susp. tot.			15 días	-0.83*	15 días	-0.60*
<i>G. sjoestedtii</i> vs amonio			15 días	-0.70*		