



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Unidad Académica Mazatlán  
Universidad Nacional Autónoma de México*



**ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES DE ANÉLIDOS SUJETAS A PROCESOS DE  
ENRIQUECIMIENTO ORGÁNICO EN LA LAGUNA COSTERA “ESTERO DE URÍAS”  
(SINALOA, MÉXICO)**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
(Biología Marina)**

**PRESENTA:**

**Agustina Ferrando Ostoni**

Director de tesis: Dra. Ma. Nuria Méndez Ubach  
Comité tutorial y jurado: Dra. María Ana Fernández Alamo  
Dr. Samuel Gómez Noguera  
Dr. Juan Madrid Vera  
Dr. Michel Hendrickx Reners

Mazatlán, Sinaloa, enero 2010



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

*A Dios por su gracia y por hacerme entender que: Cosas que ojo no vio, ni oído oyó,  
Ni han subido en corazón del hombre,  
Son las que Dios ha preparado para los que le aman.  
**1 Corintios 2:9***

*A mi esposo Elvio Monteros por cada palabra de aliento y por el amor indescriptible que me brinda a cada momento.*

*A mi mamá Beatriz Ostoni y a mis hermanos, sobrinos, suegros y cuñados por brindarme todo su amor y apoyo desde Argentina.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Gobierno de México, el cual por conducto de la Secretaría de Relaciones Exteriores me otorgó la beca para realizar mis estudios de Maestría.

A mi directora de tesis, Dra. Ma. Nuria Méndez Ubach por guiarme en cada etapa de estos estudios, brindándome su tiempo, apoyo, cariño y amistad en cada momento.

A mi Jurado de Examen, Dra. Ma. Ana Fernández Álamo, Dra. Ma. Nuria Méndez Ubach, Dr. Michel Hendrickx Reners, Dr. Samuel Gómez Noguera y Dr. Juan Madrid Vera por sus correcciones y sugerencias, las cuales fueron de gran ayuda para la elaboración de este manuscrito.

Al M. en C. Sergio Rendón Rodríguez, la Dra. María Ana Tovar y Tulio Villalobos por su apoyo en los muestreos.

Al personal administrativo del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, en especial a la secretaria Margarita Cordero, por ayudarme a realizar todos los trámites de la Maestría.

A mis papás espirituales, Pastores Lourie y José Pacheco por ser un ejemplo y una fuente de inspiración para mi vida.

A mis hermanos en Cristo, en especial a la familia Baca, por brindarme todo su apoyo y enseñarme que la familia del Todopoderoso no tiene fronteras.

A Luis, Caty y Ma. Ana por recibirnos en su casa cuando llegamos y brindarnos su amistad desde el primer momento en que nos vimos.

A otros amigos y compañeros, Neptalí M., Eva V., Pepe S., Rosalina C., Dany M., Carlos G., Bety Y. y Carlomagno Z. por todos los momentos lindos que compartimos.

## ÍNDICE

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE TABLAS**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>7</b>
2.1. Primeros estudios sobre poliquetos como indicadores de contaminación.....	7
2.2. Estudios sobre bentos realizados en la laguna costera “Estero de Urías”.....	10
<b>3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>13</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
5.1. Área de estudio.....	14
5.2. Muestreo.....	16
5.3. Procedimiento analítico.....	18
5.3.1. Variables ambientales.....	18
5.3.2. Variables biológicas.....	20
5.3.3. Interpretación de los datos.....	21
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
6.1. Variables ambientales.....	23
6.2. Variables biológicas.....	25
6.2.1. A nivel de familia.....	25
6.2.2. A nivel de especie.....	32
6.3. Relaciones entre las variables ambientales y biológicas.....	43
6.3.1. Muestreos por separado.....	43
6.3.1.1. A nivel de familia.....	43
6.3.3.2. A nivel de especie.....	46
6.3.2. Muestreos en conjunto.....	49
6.3.2.1. A nivel de familia.....	49
6.3.2.2. A nivel de especie.....	50
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>52</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estero de Urías: estaciones de muestreo	17
Figura 2. Dendrograma realizado con los datos biológicos transformados (raíz cuarta) a nivel de familia en febrero, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. En el eje está representado el porcentaje de similitud entre las estaciones.	29
Figura 3. Dendrograma realizado con los datos biológicos transformados (raíz cuarta) a nivel de familia en agosto, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. En el eje está representado el porcentaje de similitud entre las estaciones.	30
Figura 4. Dendrograma realizado con los datos biológicos transformados (raíz cuarta) a nivel de especie en febrero, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. En el eje está representado el porcentaje de similitud entre las estaciones.	41
Figura 5. Dendrograma realizado con los datos biológicos transformados (raíz cuarta) a nivel de especie en agosto, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. En el eje está representado el porcentaje de similitud entre las estaciones.	42
Figura 6. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de familia para febrero, 2008 (OL: Oligochaeta; NE: Nereididae; GL: Glyceridae; ON: Onuphidae; DO: Dorvilleidae; CA: Capitellidae; SP: Spionidae; PA: Paraonidae; SY: Syllidae; CI: Cirratulidae; LU: Lumbrineridae; OP: Opheliidae; SA: Sabellidae; MA: Magelonidae; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad).	44
Figura 7. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de familia para agosto, 2008 (OL: Oligochaeta; NE: Nereididae; DO: Dorvilleidae; CA: Capitellidae; SP: Spionidae; PA: Paraonidae; CI: Cirratulidae; LU: Lumbrineridae; SA: Sabellidae; HE: Hesionidae; FL: Flabelligeridae; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad; O2 Dis: oxígeno disuelto;	

Sali: salinidad).

45

Figura 8. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de especie para febrero, 2008. (O11: *Oligochaeta* sp.1; O12: *Oligochaeta* sp.2; Np: *Nereis procera*; Sb: *Streblospio benedicti*; Mc: *Mediomastus californiensis*; Cs: *Capitella* sp.; Hf: *Heteromastus filiformis*; Oe: *Onuphis elegans*; Pw: *Polydora websteri*; Gm: *Glycera macrobranchia*; Ab: *Armandia brevis*; Ns: *Neanthes succinea*; Cp: *Caulleriella pacifica*; Pe: *Paradialychone ecaudata*; Pp: *Paraprionospio pinnata*; Ag: *Amphicorina gracilis*; Dl: *Dorvillea longicornis*; Cm: *Chone mollis*; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad)

47

Figura 9. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de especie para agosto, 2008. (O11: *Oligochaeta* sp.1; O13: *Oligochaeta* sp.3; Np: *Nereis procera*; Ns: *Neanthes succinea*; Op: *Odontosyllis phosphorea*; Cs: *Capitella* sp.; Ps: *Prionospio steenstrupi*; Mc: *Mediomastus californiensis*; Gb: *Gyptis brunnea*; Dl: *Dorvillea longicornis*; Cp: *Caulleriella pacifica*; Ca: *Capitita ambiseta*; Hf: *Heteromastus filiformis*; Pe: *Paradialychone ecaudata*; Ph: *Prionospio heterobranchia*; Pp: *Paraprionospio pinnata*; Pl: *Prionospio lighti*; Em: *Exogone molesta*; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad; O2 Dis: oxígeno disuelto; Sali: salinidad).

48

Figura 10. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de familia para febrero y agosto, 2008 (1F- 6F: estaciones de febrero; 1A- 6A: estaciones de agosto; OL: *Oligochaeta*; NE: *Nereididae*; SP: *Spionidae*; CA: *Capitellidae*; SY: *Syllidae*; PA: *Paraonidae*; CI: *Cirratulidae*; DO: *Dorvilleidae*; LU: *Lumbrineridae*; SA: *Sabellidae*; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad).

49

Figura 11. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de especie para febrero y agosto, 2008. (1F- 6F: estaciones de febrero; 1A- 6A: estaciones de agosto;

O11: *Oligochaeta* sp.1; Sb: *Streblospio benedicti*; Np: *Nereis procera*; Cs: *Capitella* sp.;  
Mc: *Mediomastus californiensis*; Ns: *Neanthes succinea*; Ps: *Prionospio steenstrupi*;  
Ph: *Prionospio heterobranchia*; St: *Sigambra tentaculata*; Hf: *Heteromastus filiformis*;  
Cp: *Caulleriella pacifica*; Sl: *Scoletoma luti*; Ca: *Capitita ambiseta*;  
Ac: *Aricidia catherinae*; Dl: *Dorvillea longicornis*; Pp: *Paraprionospio pinnata*;  
Pe: *Paradialychone ecaudata*; Pl: *Prionospio lighti*; Em: *Exogone molesta*;  
Cm: *Chone mollis*; MO (%): porcentaje de materia orgánica;  
T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad).

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterización de fondos perturbados propuesta por Reish (1959), mediante la presencia de especies de poliquetos indicadoras de contaminación.	7
Tabla 2. Caracterización de zonas perturbadas propuesta por Bellan (1967a, b) mediante la presencia de especies de poliquetos indicadoras de contaminación.	8
Tabla 3. Caracterización de zonas perturbadas propuesta por Méndez (2002) basada en la dominancia de especies de poliquetos y en las variables ambientales indicadoras de contaminación.	10
Tabla 4. Caracterización de zonas perturbadas propuesta por Morales-Serna <i>et al.</i> (2006), basada en la presencia de especies de copépodos y en las variables ambientales indicadoras de contaminación.	11
Tabla 5. Caracterización de zonas perturbadas propuesta por Morales-Serna (2006), basándose en los análisis de ordenación, clasificación y correspondencias canónicas en relación con las variables ambientales.	12
Tabla 6. Variables ambientales medidas en el agua intersticial y los sedimentos en febrero, 2008 (Prof: profundidad, T sedi: temperatura del sedimento, MO: materia orgánica).	24
Tabla 7. Variables ambientales medidas en el agua intersticial y los sedimentos en agosto, 2008 (Prof: profundidad, T sedi: temperatura del sedimento, MO: materia orgánica, O <sub>2</sub> dis: oxígeno disuelto).	24
Tabla 8. Densidad promedio redondeada (ind/m <sup>2</sup> ) (tres réplicas) de los organismos encontrados en las seis estaciones muestreadas en febrero, 2008.	25

Tabla 9. Densidad promedio redondeada ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) (tres réplicas) de los organismos encontrados en las seis estaciones muestreadas en agosto, 2008.	26
Tabla 10. Porcentaje de dominancia asociado a las familias encontradas en cada estación de muestreo en febrero, 2008.	27
Tabla 11. Porcentaje de dominancia asociado a las familias encontradas en cada estación de muestreo en agosto, 2008.	28
Tabla 12. Biomasa de los organismos para cada estación de muestreo en febrero, 2008.	31
Tabla 13. Biomasa de los organismos para cada estación de muestreo en agosto, 2008.	31
Tabla 14. Densidad promedio redondeada ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) (tres réplicas) y número total de especies encontradas en las seis estaciones muestreadas en febrero, 2008.	32
Tabla 15. Densidad promedio redondeada ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) (tres réplicas) y número total de especies encontradas en las seis estaciones muestreadas en agosto, 2008.	34
Tabla 16. Porcentaje de dominancia asociado a las especies encontradas en cada estación de muestreo en febrero, 2008.	36
Tabla 17. Porcentaje de dominancia asociado a las especies encontradas en cada estación de muestreo en agosto, 2008.	37
Tabla 18. Parámetros biológicos (promedio de las tres réplicas) medidos a nivel de especie durante el muestreo de febrero, 2008 (S: riqueza específica; $H'(\log_e)$ : índice de diversidad de Shannon con transformación logaritmo en base e; $J'$ : uniformidad).	38
Tabla 19. Parámetros biológicos (promedio de las tres réplicas) medidos a nivel de	

especie durante el muestreo de agosto, 2008 (S: riqueza específica; H'(log <sub>e</sub> ): índice de diversidad de Shannon con transformación logaritmo en base e; J': uniformidad).	39
Tabla 20. Análisis de la varianza para los parámetros biológicos medidos en febrero, 2008.	39
Tabla 21. Análisis de la varianza para los parámetros biológicos medidos en agosto, 2008.	40

## RESUMEN

Se analizó la distribución espacial y temporal de las comunidades de anélidos y las variables ambientales relacionadas en un ambiente que se encuentra sujeto a diferentes actividades antropogénicas. Para ello, se recolectaron muestras de macrofauna ( $> 0.5$  mm) por triplicado en 6 estaciones, localizadas a lo largo de la laguna costera “Estero de Urías” en época de secas (febrero) y época de lluvias (agosto) de 2008. Se midieron las siguientes variables ambientales: profundidad, temperatura, granulometría y materia orgánica en los sedimentos, oxígeno disuelto y salinidad. Los resultados del análisis de conglomerados (CLUSTER) obtenidos a nivel de familia y especie fueron similares, mientras que los del análisis de correlaciones canónicas mostraron diferencias significativas. Estos resultados indicaron que es recomendable utilizar los datos biológicos a nivel específico para conocer qué variables ambientales influyen en las diferencias observadas entre los sitios estudiados. La estación ubicada frente al desagüe del estero “El Infiernillo”, presentó los valores más altos de materia orgánica (15.2 %) y dominancia (0.9), y bajos de diversidad (0.2 y 0.3), riqueza específica (2) y biomasa (0.2 y  $1.0 \text{ g/m}^2$ ), por lo que fue denominada como “zona muy perturbada”. La estación cercana a los desagües del rastro municipal y de la fábrica procesadora de pescado mostró valores altos de materia orgánica (12.5 y 12.9 %) y biomasa (11.5 y  $21.0 \text{ g/m}^2$ ) y valores de diversidad (1.1 y 1.4), riqueza específica (6 y 8) y dominancia (0.3 y 0.5) intermedios y, por lo tanto, fue denominada como “zona perturbada”. La estación ubicada frente a la descarga de la planta termoeléctrica “José Aceves Pozos” presentó valores intermedios de materia orgánica (2.3 y 8.1 %). Sin embargo, en agosto se encontró el valor más bajo de diversidad (0.0) y riqueza específica (1) y entre los valores más altos de dominancia (0.7). Asimismo, en esta zona fueron registradas las temperaturas del sedimento más altas durante todo el estudio y su efecto se vio incrementado en agosto. Por ello, fue clasificada como “zona temporalmente perturbada”. En la estación con influencia de la descarga de la granja camaronícola “Don Jorge” y en la zona rodeada por bosque de mangle se registraron valores intermedios de materia orgánica (1.2 y 10.9 %), altos de diversidad (1.5 y 1.9), riqueza específica (6 y 17) y biomasa (11.3 y  $12.8 \text{ g/m}^2$ ) y bajos de dominancia (0.2 y 0.2), por lo que fueron denominadas como “zonas ligeramente perturbadas”, mientras que la estación cercana a la boca de la laguna mostró valores bajos de materia orgánica (1.9 y 4.0 %), los más altos de diversidad (2.2 y 2.3) y riqueza específica (13 y 18), los más bajos de dominancia (0.1) e intermedios de biomasa ( $4.8$  y  $5.9 \text{ g/m}^2$ ) y fue categorizada como una “zona no perturbada”.

## ABSTRACT

Spatial and temporal distribution of annelid communities and their relationships with environmental variables were analysed in an area subjected to different anthropogenic activities. For this purpose, triplicate macrofaunal samples ( $> 0.5$  mm) were collected in six sites localised along the coastal lagoon “Estero de Urías” in the drought (February) and rainy seasons (August) during 2008. The following environmental variables were measured: depth, temperature, grain size and organic matter content of sediment, dissolved oxygen concentration and salinity. CLUSTER analyses obtained at family and species level provided similar results, meanwhile the canonical correspondence analyses showed significant differences. These results indicated that the use of biological data at specific level is recommended in order to know which variables are responsible for the differences observed among the different sites. The site located in front of “El Infiernillo” sewage input presented the highest value of organic matter (15.2 %) and dominance (0.9) and low values of diversity (0.2 and 0.3), species richness (2) and biomass (0.2 and 1.0  $\text{g/m}^2$ ) and therefore, it was denominated as a “very perturbed zone”. The site close to the slaughterhouse and fish factory input showed high values of organic matter (12.5 and 12.9 %) and biomass (11.5 and 21.0  $\text{g/m}^2$ ) but the diversity (1.1 and 1.4), species richness (6 and 8) and dominance (0.3 and 0.5) values were intermediate. For this reason, it was denominated as a “perturbed zone”. The site located in front of the “José Aceves Pozos” thermoelectric plant presented intermediate values of organic matter (2.3 and 8.1 %). However the lowest diversity (0.0) and species richness (1) values and one of the highest dominance values (0.7) was registered in August. Also the highest sediment temperature values were measured here during all the study and this effect was increased in August. For this reason, this zone was qualified as a “temporarily perturbed zone”. The site influenced by the “Don Jorge” shrimp farm and the zone surrounded by mangrove trees showed intermediate values of organic matter (1.2 and 10.9 %), high values of diversity (1.5 and 1.9), species richness (6 and 17) and biomass (11.3 and 12.8  $\text{g/m}^2$ ) and low values of dominance (0.2 and 0.2). Therefore, these sites were denominated as a “slightly perturbed zones”, meanwhile the site close to the mouth of the lagoon showed low values of organic matter (1.9 and 4.0 %), the highest values of diversity (2.2 and 2.3) and species richness (13 and 18), the lowest values of dominance (0.1) and intermediate values of biomass (4.8 and 5.9  $\text{g/m}^2$ ). For this reason, it was categorized as a “non perturbed zone”.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una laguna costera se define como un cuerpo de agua (salina o salobre) somero que se encuentra parcialmente aislado del mar adyacente mediante una barrera sedimentaria. De acuerdo con Alongi (1998), las lagunas costeras se encuentran entre los hábitats marinos que presentan la mayor productividad biológica. Como consecuencia, estos ambientes juegan un rol ecológico muy importante entre los ecosistemas de las zonas costeras debido a que en éstos se encuentran diferentes tipos de hábitats que albergan muchas especies (Clark, 1998). Sin embargo, la mayoría de las lagunas se encuentran sujetas a la explotación a través de la pesca, la acuicultura, el turismo, la agricultura y el desarrollo urbano e industrial, los cuales inducen cambios que afectan su ecología (Gamito *et al.*, 2005). Desde el punto de vista dinámico, se caracterizan por ser sitios de conjunción entre dos flujos hidrológicos: la descarga de agua continental proveniente de los ríos tributarios y las intrusiones marinas (Kjerfve, 1994). A su vez, dependiendo de su geomorfología e hidrología, estos ambientes se caracterizan por presentar variaciones estacionales y diarias, graduales o fuertes, en los parámetros físicos y químicos del agua (Gamito, 2008) y, por lo tanto, pueden verse afectadas por condiciones de anoxia severa, en particular durante el verano, seguidas por eventos de mortalidad (Lardicci y Rossi, 1998). Asimismo, al tratarse de sistemas someros, son particularmente sensibles a la acción del viento sobre los sedimentos (Cloern, 1987), por lo que presentan eventos de resuspensión en la columna de agua (Chalar y Clemente, 2005). Este fenómeno, aunque disminuye la disponibilidad de luz en la columna de agua, contribuye con una mayor disponibilidad de nutrientes, materia orgánica, bacterias y microalgas. De esta manera, se pueden identificar cuatro fuentes de variabilidad que actúan en diferentes escalas temporales: resuspensión de sedimentos (escala horaria), régimen hidrológico (semanas a meses), estacionalidad (meses) e impactos antrópicos y cambios naturales de mediano a largo plazo (años a décadas) (Aubriot *et al.*, 2005).

La Convención de Naciones Unidas sobre Derecho del Mar definió en 1982 a la contaminación del medio marino como la introducción, por acción del hombre, de cualquier sustancia o energía en el medio marino (incluidos los estuarios) cuando produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas incluida la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua de mar para su utilización y menoscabo de los lugares de esparcimiento. El exceso de materia orgánica proveniente de desechos domésticos,

industrias y actividades ligadas a la acuicultura afecta a los organismos que viven en los fondos marinos (Pearson y Rosenberg, 1978). La materia orgánica aportada al medio marino a través de efluentes industriales se sedimenta, adsorbiéndose sobre partículas finas en suspensión. Estos sedimentos enriquecidos pueden desarrollar condiciones de hipoxia o anoxia (poca o nula concentración de oxígeno, respectivamente), con la generación de gases tóxicos como el ácido sulfhídrico, el metano y otros, alterando las condiciones para la vida en el fondo marino y la columna de agua adyacente. Sin embargo, también los organismos pueden intervenir en este proceso, alterando las propiedades del sedimento así como el intercambio de agua entre éste y la columna de agua. Por ello, la interfase agua-sedimento ha sido definida como químicamente activa y biológicamente reactiva (Rhoads y Boyer, 1982).

Los organismos bentónicos de escasa o nula movilidad son excelentes indicadores del estado del medio, debido a que se encuentran íntimamente asociados al fondo marino. Pequeños cambios cuantitativos en la distribución y abundancia de estos organismos suelen ser los primeros indicios de impacto ambiental (Hily *et al.*, 1986).

Entre los organismos que habitan la interfase agua-sedimento resaltan los poliquetos. Este grupo se halla presente en todos los ambientes, desde el intermareal hasta las mayores profundidades (Fauchald, 1977), y puede llegar a constituir hasta el 40 % del número de especies y del número de individuos en las comunidades bentónicas de fondos blandos marinos (Reish, 1980).

Muchos poliquetos excavan dentro del sedimento para protegerse de los depredadores o en busca de alimento, mientras que otros tragan activamente lodo y materia orgánica particulada (Taghon y Greene, 1992). Este mecanismo, denominando bioturbación, puede tener efectos importantes en la redistribución de la materia orgánica y en la estimulación del metabolismo del sedimento (Lopez y Levinton, 1987) debido a que mejora la ventilación de los sedimentos (Aller, 1982; Kristensen, 1988) y, por lo tanto, favorece el mantenimiento o aumento de la respiración animal (Kristensen *et al.*, 1992). Por otro lado, algunas familias como los espionidos (Levin, 1982; Dauer y Ewing, 1991), onúfidos (Woodin, 1981), quetoptéridos y eunícidos (Jacoby *et al.*, 1995), forman densas colonias tubícolas que pueden modificar radicalmente los patrones de reclutamiento de otros organismos infaunales (Hutchings, 1998). En relación con esto, Woodin (1981) ha demostrado que la abundancia de estos organismos es mayor alrededor de los tubos del

onúfido *Diopatra cuprea* y sugiere que los tubos otorgan protección a la infauna contra la depredación que ejercen varias especies de cangrejos.

Este grupo está representado por organismos detritívoros, suspensívoros, carnívoros, herbívoros y unas pocas especies parásitas (Fauchald y Jumars, 1979). En la mayoría de las comunidades de fondos blandos dominan los poliquetos suspensívoros y detritívoros (Snelgrove *et al.*, 1997). Sin embargo, pueden tener representantes en todos los niveles de la cadena trófica, debido a que algunos son depredadores de otros poliquetos, otros son componentes de la meiofauna, mientras que otros reciclan la materia orgánica dentro de los sedimentos. Asimismo, para una variedad de organismos bentónicos, así como epifaunales y pelágicos (e.g., peces, moluscos y crustáceos), los poliquetos constituyen una fuente de alimento importante (Hutchings, 1998).

Los poliquetos pueden presentar una reproducción asexual o sexual, y sus estrategias reproductivas incluyen desde la liberación de gametos al agua hasta la incubación de los huevos. Algunas especies se reproducen anualmente por varios años, mientras que otras lo hacen solo una vez y luego mueren (Hutchings, 1998). Asimismo, existen especies que producen un número elevado de gametos, de los cuales pocos son fertilizados para producir larvas pelágicas que sobreviven hasta establecerse, mientras que otras producen pocos gametos que son fertilizados e incubados en cámaras protectoras (Rouse y Fitzhugh, 1994).

Con respecto a su capacidad para habitar en zonas perturbadas, existen especies tolerantes y sensibles a la contaminación, de modo que pueden distribuirse a lo largo de un gradiente desde zonas no perturbadas hasta áreas muy contaminadas (Olsgard y Somerfield, 2000). Por el contrario, otros grupos taxonómicos como los crustáceos, los equinodermos y los moluscos son menos tolerantes (Rosenberg, 1972) y, a menudo, se encuentran ausentes en las zonas más perturbadas del gradiente de contaminación (Pearson y Rosenberg, 1978; Warwick y Clarke, 1993).

Otro grupo que se encuentra dentro del phylum Annelida y que puede tener representantes marinos es el de los oligoquetos. Estos organismos se caracterizan por la ausencia de parápodos (apéndices pares en cada segmento) y la presencia de quetas (cerdas quitinosas finas y rígidas, con una función táctil y locomotriz) pequeñas y escasas (Brinkhurst y Jamienson, 1971).

Con respecto a su reproducción, los oligoquetos presentan un hermafroditismo funcional, con órganos reproductivos masculinos y femeninos maduros al mismo tiempo (Takashima y

Mawatari, 1998). Sin embargo, no presentan autofecundación, sino que los gametos son evacuados al celoma y salen al exterior por los gonoductos (oviductos y espermiductos). A su vez, generalmente presentan uno o dos pares de espermatecas (i.e., receptáculos donde se almacenan los espermatozoides). De esta manera, durante el apareamiento, dos individuos se acoplan ventralmente en sentido opuesto y el clitelo (estructura tegumentaria glandular) segrega una sustancia mucosa que facilita que los espermatozoides de cada individuo pasen a las espermatecas del otro (Lasserre, 1975; Giere y Pfannkuche, 1982). Por lo tanto, se produce un intercambio mutuo de espermatozoides, actuando los dos individuos como macho. Tras la copulación, el clitelo segrega una sustancia que se coagula en contacto con el aire y forma un capullo gelatinoso en forma de anillo que se desplaza con los movimientos del cuerpo; primero pasando por los gonoporos femeninos donde recoge los óvulos y posteriormente por las espermatecas, donde recoge los espermatozoides (Stephenson, 1930; Omodeo, 1998). El capullo es luego depositado en el limo y la fecundación se produce en su interior. Por último, su desarrollo es directo, no pasando por una larva trocófora (tipo larvario de muchos invertebrados marinos en forma de pera, con dos filas de cilios y una mancha ocular apical). Esta forma de reproducción, con la mutua transferencia de esperma, constituye el modo principal de reproducción para la mayoría de los oligoquetos (Cuadrado y Martínez-Ansemil, 2001). Sin embargo, muchas especies se reproducen asexualmente por fisión, especialmente en las familias Naididae y Aeolosomatidae (Lasserre, 1975).

Los oligoquetos han sido encontrados en áreas enriquecidas orgánicamente (Arimoro *et al.*, 2007; Gamito, 2008). En particular, especies como *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède 1862 y *Tubifex tubifex* Müller 1774, se han utilizado como indicadores de contaminación orgánica, debido a su dominancia en este tipo de ambientes (Brinkhurst y Jamieson, 1971; Aston, 1973), en los cuales los sedimentos presentan una cobertura de bacterias y hongos, que constituyen su principal fuente de alimento (Rueda *et al.*, 2003).

La contaminación orgánica puede medirse en forma puntual a través de indicadores simples obtenidos de la columna de agua, los sedimentos o los organismos bentónicos (e.g., materia orgánica, oxígeno disuelto, nutrientes, abundancia total de organismos, riqueza o diversidad específica). Sin embargo, está ampliamente demostrado que tales indicadores analizados individualmente, no siempre son suficientes o confiables para detectar un cambio producido por la contaminación (DeValls *et al.*, 1998). Tampoco pueden evidenciar los

complejos fenómenos de interacciones entre los componentes abióticos y bióticos del ecosistema sujeto a impacto ambiental. Por lo tanto, para lograr una correcta evaluación del ambiente estudiado se requiere la utilización de métodos multivariados que tengan en cuenta los factores abióticos y bióticos del ambiente (DelValls *et al.*, 1998). Una herramienta idónea para tal tipo de evaluación es el análisis de la comunidad bentónica. Ello requiere mediciones de la estructura comunitaria y de las variables ambientales, de la identificación de las especies indicadoras y de su análisis en conjunto.

La suficiencia taxonómica se define como la identificación de los taxa a la mayor categoría taxonómica posible (género, familia, orden, etc.) a la cual no se produce una pérdida de significación estadística en la determinación de los impactos producidos por la contaminación (Maurer, 2000). Esta perspectiva ha sido seguida por muchos investigadores, debido a que parece haber una relación entre los niveles de impacto ambiental y los efectos a distintos niveles taxonómicos (Bouchard *et al.*, 2005). Sin embargo, la mayoría de las evaluaciones se han hecho en ambientes templados, con pocos estudios en ambientes tropicales (Salazar-Vallejo *et al.*, 2008). Es importante destacar que la agregación de las especies a nivel taxonómico de familia disminuye el efecto de una especie dominante. Por lo tanto, considerando que la respuesta a la contaminación, en algunos casos, solo puede ser detectada a nivel específico (e.g., *Scolecopsis fuliginosa* Claparède 1868 y *Chaetozona setosa* Malmgren 1867, las cuales sobreviven y aumenta su densidad en condiciones de elevado enriquecimiento orgánico, a diferencia de otros miembros de estas familias que no responden a esta perturbación) (Khan, 2006), esto podría afectar de manera significativa los resultados encontrados, debido a que podrían quedar enmascaradas aquellas especies indicadoras de contaminación que suelen ser dominantes en los ambientes impactados. Por otro lado, la mayoría de los estudios sugiere que la identificación de los organismos a nivel de phylum no resulta adecuada para los monitoreos bentónicos y, por lo tanto, ha tenido poca utilidad en este tipo de estudios (véase Somerfield y Clarke, 1995; Olsgard *et al.*, 1997, 1998), mientras que los análisis basados en niveles taxonómicos intermedios (e.g., familias) sugieren que identificar los organismos a estos niveles no conllevaría a una pérdida de información sustancial (Warwick, 1988a, b; Ferraro y Cole, 1995; Vanderklift *et al.*, 1996; Olsgard *et al.*, 1997, 1998). En particular, algunos estudios respaldan esta perspectiva para programas de monitoreo ambiental, especialmente en aquellas zonas en las cuales el bentos ha sido poco estudiado y existe muy poca bibliografía de referencia para la identificación de los

organismos (Warwick, 1998; Ferraro y Cole, 1995; Chapman, 1998; Baldó *et al.*, 1999; Olsgard y Somerfield, 2000; Dauvin *et al.*, 2003) o bien si las respuestas a los gradientes de estrés pueden ser detectadas a niveles taxonómicos superiores (Olsgard *et al.*, 1997). Asimismo, estos autores sugieren que esto conduciría a una reducción de costos asociados a la separación y a la identificación de los organismos a un nivel taxonómico superior, lo cual permite que la capacitación del personal se realice en menor tiempo, mientras que el riesgo de cometer errores en la identificación es menor.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Primeros estudios sobre poliquetos como indicadores de contaminación

Los efectos de las perturbaciones en el medio marino han sido ampliamente descritos en todo el mundo. La primera caracterización de zonas perturbadas a través de la presencia de especies de poliquetos indicadoras de contaminación fue realizada por Reish (1959) en las playas de “Long Beach” (Los Angeles, California) (Tabla 1).

Tabla1. Caracterización de fondos perturbados propuesta por Reish (1959), mediante la presencia de especies de poliquetos indicadoras de contaminación.

FONDO	ESPECIES
Fondo saludable	<i>Tharyx parvus</i> , <i>Cossura candida</i> , <i>Nereis procera</i>
Fondo semi saludable I	<i>Polydora paucibranchiata</i> , <i>Dorvillea articulata</i>
Fondo semi saludable II	<i>Cirriiformis luxuriosa</i>
Fondo contaminado	<i>Capitella “capitata”</i>
Fondo muy contaminado	Desprovisto de macrofauna

Posteriormente, Bellan (1967a, b) estudió los fondos blandos de Marsella (Mar Mediterráneo) y estableció cuatro zonas (Tabla 2).

Tabla 2. Caracterización de zonas perturbadas propuesta por Bellan (1967a, b) mediante la presencia de especies de poliquetos indicadoras de contaminación.

ZONA	ESPECIES
Zona normal	<i>Syllis</i> sp., <i>Typosyllis</i> sp., <i>Amphyglena mediterranea</i>
Zona subnormal	<i>Heteromastus filiformis</i> , <i>Spiochaetopterus costarum</i> , <i>Aonides oxycephala</i> , <i>Staurocephalus atlanticus</i> , <i>Lumbriconereis latreilli</i> , <i>Nematonereis unicornis</i> , <i>Hyalinoecia bilineata</i>
Zona contaminada	<i>Capitella</i> "capitata", <i>Nereis</i> (= <i>Neanthes</i> ) <i>caudata</i> , <i>Audounia tentaculata</i> , <i>Scolelepis</i> (= <i>Malacoceros fuliginosus</i> ), <i>Staurocephalus rudolphi</i>
Zona de contaminación máxima	Desprovista de fauna y caracterizada por la presencia sólo de hongos y bacterias

Pearson y Rosenberg (1978) desarrollaron un estudio acerca de la relación entre las comunidades bentónicas y la contaminación orgánica en zonas templadas de Norteamérica y Europa. Ellos propusieron un modelo para una comunidad expuesta a un gradiente de enriquecimiento orgánico, que predice dos extremos y estructuras intermedias. Los extremos son:

a) *Zona azoica*, caracterizada por la ausencia total de organismos, coincidente con el sitio de mayor enriquecimiento orgánico.

b) *Comunidad normal*, en la que se observa que el número de especies alcanza un valor asintótico; la abundancia de los organismos desciende y se produce un máximo en la biomasa como resultado de la presencia de especies de tamaño mayor a las que habitan en la zona perturbada.

Asimismo, entre estos extremos se definen tres estados sucesionales:

a) *Máximo de especies oportunistas*, con un bajo número de especies pero con una gran cantidad de individuos, lo cual implica una baja diversidad específica. Asimismo, se produce un máximo de biomasa (menor que el de la comunidad normal) producido por las grandes abundancias de estos organismos pequeños, los cuales se reproducen rápidamente y presentan

ciclos de vida cortos (r-estrategas). Entre éstos, familias de poliquetos como Capitellidae y algunas especies de Spionidae han sido reconocidas como indicadoras de contaminación orgánica (Pearson y Rosenberg, 1978; Tsutsumi, 1990).

b) *Ecotono*, donde disminuye drásticamente la abundancia, biomasa y riqueza específica de los organismos (mínimo primario). Corresponde al sitio en donde la comunidad pasa de impactada a normal.

c) *Zona de transición*, caracterizada por presentar la máxima riqueza específica y una disminución en la abundancia.

Es importante destacar que el concepto de ecotono de este modelo difiere de aquel propuesto por Margalef (1968), quien considera al ecotono como el sitio en el cual dos comunidades coexisten y por lo tanto contiene miembros de ambas comunidades, presentando así una mayor riqueza específica y abundancia de los organismos que en los sitios adyacentes (Pearson y Rosenberg, 1978).

A lo largo de la laguna costera “Estero de Urías”, existe un importante desarrollo industrial que incluye la presencia de una planta termoeléctrica, la cual aporta aguas calientes a la laguna. Asimismo, una fábrica procesadora de pescado, un rastro municipal y una serie de granjas camaronícolas vierten sus efluentes ricos en carbono, nitrógeno y fósforo, favoreciendo el crecimiento fitoplanctónico con la subsecuente demanda y agotamiento de oxígeno en el cuerpo de agua (Páez-Osuna y Ruiz-Fernández, 2001). Por lo tanto, si bien el modelo de Pearson y Rosenberg (1978) se aplica a la transición sufrida por una misma comunidad a lo largo de un gradiente (temporal o espacial) de enriquecimiento orgánico, las estaciones estudiadas en este trabajo, podrían llegar a presentar características comunes al modelo por mostrar situaciones análogas a ciertas condiciones ambientales.

## 2.2. Estudios sobre bentos realizados en la laguna costera “Estero de Urías”

En su estudio ecológico del puerto de Mazatlán y esteros adyacentes, Álvarez-León (1980) identificó tres zonas a partir de la composición faunística del necton y del bentos en relación con los factores ambientales que caracterizan el lugar. De este modo, en la “Zona ecológica II” (coincidente con la laguna costera “Estero de Urías”) encontró sedimentos predominantemente areno-fangosos con restos de conchas y tubos de poliquetos. Posteriormente, Ochoa-Izaguirre *et al.* (2002), en su estudio de los cambios cualitativos de macroalgas registrados en 45 estaciones de muestreo localizadas a lo largo de la laguna costera, identificaron cuatro zonas con diferentes características: I) zona de transición, desde la boca de la laguna hasta aproximadamente 3 km; II) zona muy influenciada por las aguas residuales urbanas, ubicada en el sitio de descarga del estero “El Infiernillo”; III) zona muy influenciada por las aguas residuales provenientes de la planta termoeléctrica “José Aceves Pozos”; IV) zona influenciada por las aguas residuales provenientes de la granja camaronícola “Don Jorge” y el bosque de mangle. En el mismo año, Méndez (2002) publicó los resultados obtenidos del estudio de las comunidades de anélidos en 10 estaciones de muestreo e identificó tres zonas con diferente grado de contaminación (Tabla 3).

Tabla 3. Caracterización de zonas perturbadas propuesta por Méndez (2002) basada en la dominancia de especies de poliquetos y en las variables ambientales indicadoras de contaminación.

ZONA	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Zona no contaminada	Parte media de la laguna y cerca de la boca	Baja materia orgánica, alta diversidad y no dominancia de especies
Zona contaminada	Sitio de descarga del estero "El Infiernillo", planta termoeléctrica "José Aceves Pozos" y granja camaronícola "Don Jorge"	Materia orgánica entre 3.66 y 10.95 % y dominancia de unas pocas especies
Zona muy contaminada	Sitio de descarga del rastro municipal y de la fábrica procesadora de pescado	Materia orgánica entre 10.7 y 11.5 % y desprovisto de macrofauna

Morales-Serna *et al.* (2006), a través de su estudio de la variación espacial y temporal en la composición taxonómica y riqueza de especies de copépodos bentónicos durante las estaciones de secas y lluvias de 2001 y 2002, realizaron una caracterización del área con los datos obtenidos de 10 estaciones de muestreo (coincidentes con los sitios de muestreo de Méndez (2002)) e identificaron cinco zonas con diferentes características (Tabla 4). Sin embargo, el tamaño de las muestras no les permitió calcular índices de diversidad.

Tabla 4. Caracterización de zonas perturbadas propuesta por Morales-Serna *et al.* (2006), basada en la presencia de especies de copépodos y en las variables ambientales indicadoras de contaminación.

ZONA	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
A	Boca de la laguna	Sedimentos arenosos, baja materia orgánica, baja densidad de copépodos y baja riqueza específica
B	Sitios de descarga del estero "El Infiernillo", rastro municipal y fábrica procesadora de pescado	Sedimentos lodosos, alta materia orgánica, baja densidad de copépodos y baja riqueza específica
C	Parte media de la laguna y sitio de descarga de la planta termoeléctrica "José Aceves Pozos"	Sedimentos arenosos, materia orgánica similar a la de la zona A pero con una mayor densidad de copépodos y riqueza específica
D	Parte interna de la laguna	Sedimentos lodosos, alta materia orgánica, baja densidad de copépodos y alta riqueza específica
E	Sitio de descarga de la granja camaronícola "Don Jorge"	Sedimentos arenosos, baja materia orgánica, alta densidad de copépodos y alta riqueza específica

Posteriormente, Morales-Serna (2006), a través de su estudio de la variación espacial y temporal de la densidad y diversidad de los copépodos bentónicos durante los meses de febrero, agosto y diciembre de 2005, realizó una caracterización del área con los datos obtenidos de 10 estaciones de muestreo (coincidentes con los sitios de muestreo de Méndez (2002)). Es importante resaltar que en este trabajo se aplicaron análisis de correspondencias canónicas (CCA)

con las variables ambientales y las especies frecuentes y dominantes, y se identificaron tres zonas con diferentes características ambientales y biológicas (Tabla 5).

Tabla 5. Caracterización de zonas perturbadas propuesta por Morales-Serna (2006), basándose en los análisis de ordenación, clasificación y correspondencias canónicas en relación con las variables ambientales.

<b>ZONA</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Zona poco contaminada	(1) Parte media de la laguna y (2) cerca de la boca	(1) con sedimentos areno-limosos, con concentraciones de carbono orgánico (CO) intermedias, alta diversidad y sin dominancia de especies y (2) con sedimentos que van desde areno-limosos a arenosos, con concentraciones bajas de CO, alta diversidad y sin dominancia de especies
Zona contaminada	Sitio de descarga de la granja camaronícola "Don Jorge"	Sedimentos de tipo areno-limosos, con diversidad baja y dominancia de unas pocas especies
Zona muy contaminada	Sitio de descarga del estero "El Infiernillo", y rastro municipal y fábrica procesadora de pescado	Sedimentos lodosos con las más elevadas concentraciones de CO y la más baja densidad y diversidad de especies

### **3. HIPÓTESIS**

A) La distribución espacial y temporal de las especies de anélidos refleja el efecto producido por el enriquecimiento orgánico en la laguna costera “Estero de Urías”.

B) Existen diferencias significativas en la respuesta de la comunidad de anélidos a los procesos de enriquecimiento orgánico, según el nivel taxonómico alcanzado en la identificación de los organismos.

#### **4. OBJETIVOS**

- A) Elaborar un listado faunístico de la comunidad de poliquetos en el área de estudio.
- B) Caracterizar la zona estudiada con base en la distribución espacial y temporal de los anélidos y las variables ambientales.
- C) Determinar si el uso de niveles taxonómicos superiores a especie es útil para detectar el efecto producido por las actividades que se desarrollan en la laguna costera.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Área de estudio

La laguna costera “Estero de Urías” (Figura 1) está localizada al sur del estado de Sinaloa, en el municipio de Mazatlán, entre las coordenadas 23°09' y 23°12' N, y 106°18' y 106°25' W. Forma parte de un complejo lagunar constituido por tres esteros conocidos localmente como El Astillero, Urías y La Sirena (Álvarez-León, 1977; Ramírez-Zavala, 1998). Presenta una comunicación permanente con el mar y su orientación es casi paralela a la línea de costa. Es un cuerpo de agua somero y salino con intensa mezcla vertical (Salgado-Barragán *et al.*, 2004). Presenta una longitud de 17 km y cubre una superficie aproximada de 18 km<sup>2</sup>. El volumen de agua total se estima en 60700000 m<sup>3</sup>, exporta alrededor de 25 toneladas de sólidos suspendidos en marea de cuadratura y 128 toneladas en mareas de sicigia, y tiene un tiempo de residencia del agua de entre 5.5 y 9 días (Páez-Ozuna *et al.*, 1990). Galindo-Reyes (1986) registró que, durante un período de marea, la máxima velocidad de la corriente en el canal de navegación es de 37 cm/s y que el recambio de masas de agua con el mar es mínimo, lo que conduce a que los contaminantes vertidos hacia el interior del sistema queden atrapados en la columna de agua o los sedimentos, dependiendo de la naturaleza del contaminante, así como de las características de los sedimentos sobre los cuales se adsorbe. Asimismo, se ha observado que el desfase entre los niveles extremos de marea desde la boca a la cabeza es de 60 min y que la máxima velocidad de la corriente de marea (22 cm/s) se alcanza tres horas antes de registrarse la pleamar (Villalba-Loera, 1986). Las profundidades varían entre 1 y 3 m, excepto en el canal de navegación donde pueden ser mayores a 12 m (Montaño-Ley, 1985). Asimismo, el canal es periódicamente dragado para mantener la profundidad requerida por los barcos que circulan en la zona (Montaño-Ley *et al.*, 2000). Estas operaciones indican que en la laguna continuamente se está llevando a cabo una acumulación de sedimento, cuya fuente más probable corresponde al litoral de playas arenosas que se encuentra en las cercanías de la laguna (Montaño-Ley, 1985).

El clima es tropical/subtropical con dos estaciones contrastantes, lluvias y secas. Este cuerpo de agua se comporta como un sistema estuarino durante la época de lluvias (julio-octubre) y antiestuarino, durante la época de secas (noviembre-junio) (Ochoa-Izaguirre *et al.*, 2002). La temperatura media anual es de 25° C, mientras que las precipitaciones alcanzan una media de 800.3 mm. Ochoa-Izaguirre *et al.* (2002) calcularon la salinidad media durante la época de secas,

obteniendo un valor de 39.4 (máximo 45.5), mientras que durante la época de lluvias registraron un valor medio de 31.7 (mínimo 9.0).

La parte más interna de la laguna se encuentra rodeada por un bosque de mangle. La especie dominante es *Rizophora mangle* y en menor proporción se encuentran *Avicenia germinans*, *Conacarpus erectus* y *Laguncularia racemosa*. El bosque de mangle ocupa un área de aproximadamente 644.5 ha, encontrándose la mayor densidad de árboles hacia la parte más interna del sistema (Álvarez-León, 1977; Ramírez-Zavala, 1998). Con respecto a las características de los sedimentos, Soto-Jiménez (1998) menciona que en las zonas donde predomina el mangle dominan los sedimentos arcillo-limosos; en el área industrial (parte media de la laguna), los sedimentos areno-arcillosos, mientras que en el sector portuario (parte más externa de la laguna) predominan las arenas. Asimismo, este autor encontró que los niveles de carbono orgánico oscilan entre 0.6 y 11.4 % (calculados por el método de titulación), observándose los valores más altos en los sitios que reciben aportes de materia orgánica por parte de los arroyos y por la alta producción de hojarasca de los bosques de mangle. Resultados semejantes fueron obtenidos por Méndez (2002) y Morales-Serna (2006).

## 5.2. Muestreo

Se realizaron muestreos estacionales, en época de secas (febrero) y en época de lluvias (agosto) del 2008, en seis localidades de la laguna con influencia de diferentes actividades antropogénicas (Figura 1). Para la elección de dichas localidades se tuvieron en cuenta estudios previos en la zona (e.g., Méndez, 2002; Morales-Serna, 2006, Morales-Serna *et al.*, 2006).

- ❖ **Estación 1 (E1).** Rodeada por bosque de mangle y sujeta a la descarga de aguas residuales provenientes de la granja camaronícola “Don Jorge”.
- ❖ **Estación 2 (E2).** Rodeada por el bosque de mangle (zona aparentemente limpia o no perturbada).
- ❖ **Estación 3 (E3).** Con aportes de agua caliente provenientes de la planta termoeléctrica “José Aceves Pozos” de la CFE.
- ❖ **Estación 4 (E4).** Influenciada por el rastro municipal y las descargas provenientes de una fábrica procesadora de pescado.
- ❖ **Estación 5 (E5).** Sitio de descarga del estero “El Infiernillo”, el cual arrastra aguas residuales del sector urbano de la ciudad de Mazatlán y también es afectada por las embarcaciones pesqueras y el sector industrial.
- ❖ **Estación 6 (E6).** Cerca de la boca de la laguna, con influencia marina (zona aparentemente limpia o no perturbada).

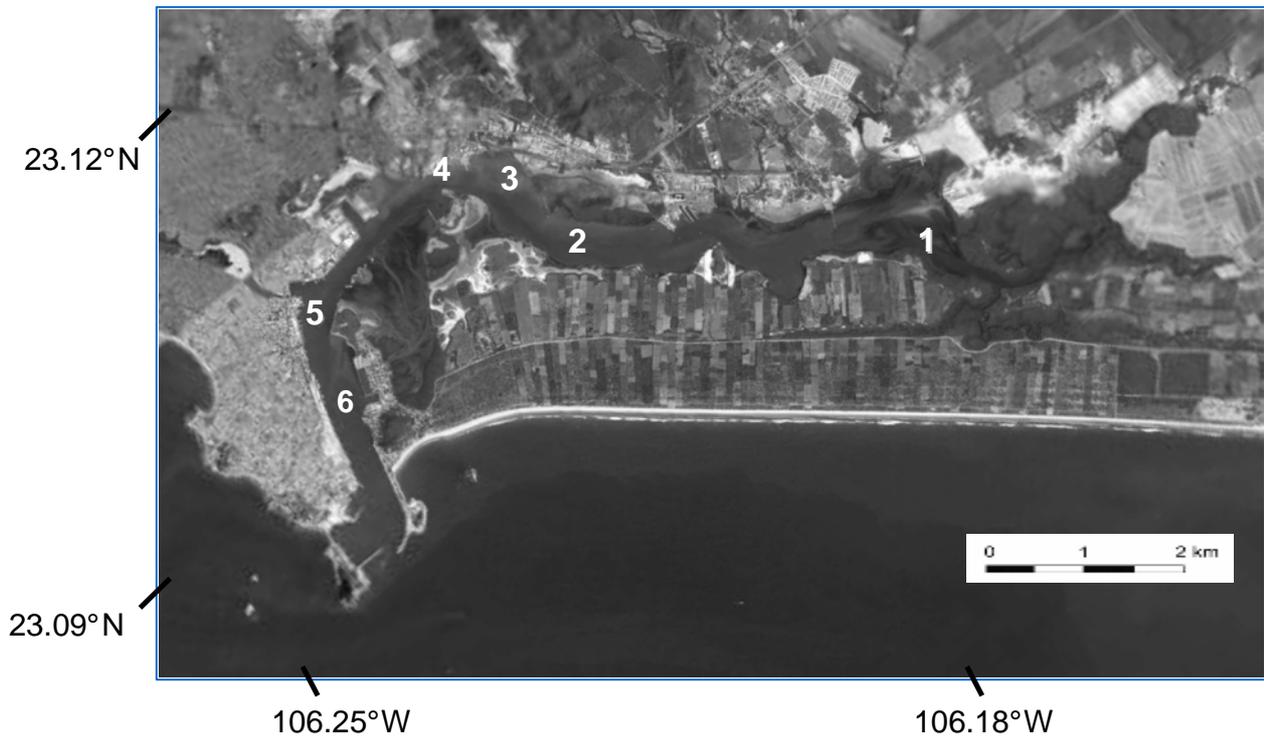


Fig.1. Estero de Urías: estaciones de muestreo.

En cada estación se midió la profundidad. Simultáneamente, se recolectaron:

- ✓ Muestras de sedimento con una draga van Veen de 26.5 cm x 12.5 cm (tres réplicas) para análisis cuali y cuantitativos de la estructura comunitaria de anélidos.
- ✓ Muestras de sedimento para mediciones de la temperatura, del contenido de materia orgánica y para análisis granulométricos.
- ✓ Muestras de agua de fondo para mediciones de la salinidad y del oxígeno disuelto.

### **5.3. Procedimiento analítico**

#### **5.3.1. Variables ambientales**

##### **❖ Materia orgánica**

Se secaron las muestras de sedimento a 60° C durante 24 h aproximadamente y se registró el peso (**peso seco**). A continuación, se calcinaron las muestras a 550° C durante 1 h y se registró el peso (**peso calcinado**) (Dean, 1974). La diferencia (peso seco-peso calcinado) no sólo corresponde a la oxidación de materia orgánica sino también a la deshidratación de arcillas minerales e hidróxidos de hierro. Sin embargo, esta diferencia se encuentra fuertemente correlacionada con el contenido de materia orgánica (**MO**) y, por lo tanto, puede utilizarse como un índice del mismo (Billen, 1978). Para los fines de la información necesaria en este trabajo, se asume:

$$\text{Peso MO (g)} = \text{Peso seco (g)} - \text{Peso calcinado (g)}$$

$$\text{MO (\%)} = (\text{Peso MO (g)} \times 100) / \text{Peso seco (g)}$$

##### **❖ Granulometría**

Se determinó por tamizado en húmedo con tamices de 2 mm y 63 µm, separando grava (fracción A, > 2 mm), arena (fracción B, entre 2 mm y 63 µm) y lodo (fracción C, < 63 µm). La composición de cada muestra (tamaño de grano) fue expresada como el porcentaje de cada una de las fracciones obtenido a partir del peso seco de las mismas y del peso total de la muestra (Folk, 1965).

##### **❖ Profundidad**

Se determinó utilizando un cabo marcado cada 50 cm, con un lastre amarrado en la punta.

##### **❖ Temperatura del sedimento**

Se determinó utilizando un termómetro digital CE modelo KM43F colocado en la muestra a una profundidad de siete cm inmediatamente después de recuperar la draga en la embarcación (precisión de 0.05° C).

❖ **Oxígeno disuelto del agua de fondo (sólo en agosto)**

Se determinó utilizando una sonda Ysi modelo 85 (precisión de 0.005 mg/l).

❖ **Salinidad (sólo en agosto)**

Se determinó utilizando un refractómetro Sper Scientific modelo 300011 (precisión de 1.0 ‰).

### 5.3.2. Variables biológicas

#### ❖ **Conteo e identificación de los organismos**

De acuerdo con las técnicas convencionales (Hobson y Banse, 1981), cada muestra de sedimento fue fijada con una solución de formol (5 %). Posteriormente, se procedió al tamizado con una malla de 0.5 mm y se preservó la muestra remanente en etanol al 70 % para la posterior identificación y el conteo de los individuos presentes. Dichas determinaciones se realizaron con un microscopio estereoscópico Leica S6E (aumentos de 15.75 x a 100 x) y un microscopio óptico Leica DME (aumentos de 40 x a 1000 x) en el laboratorio.

Para la identificación de los poliquetos se utilizó el siguiente material de referencia: Hartman (1968; 1969), Fauchald (1977), Kudenov (1980), Hernández-Alcántara (1992), Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa (2004), Blake y Ruff (2007) y Tovar-Hernández (2007). En el caso de los oligoquetos, la ausencia de claves de identificación para zonas estuarinas de la región no permitió identificarlos hasta nivel específico. Por lo tanto, la determinación de los diferentes taxa se realizó de acuerdo a las diferencias morfológicas (forma de los ganchos y del cuerpo, presencia o ausencia de quetas capilares, etc) observadas en los organismos.

#### ❖ **Biomasa de los organismos**

Para las determinaciones de la biomasa de los organismos por estación ( $\text{g/m}^2$ ), se obtuvo un promedio del peso húmedo de los organismos presentes en cada réplica con una balanza Yamato, Laptop Balanza modelo LW-3200 (precisión de 0.005 g).

Para determinar un factor de corrección que permita transformar los datos de biomasa obtenidos por peso húmedo a datos de biomasa obtenidos por peso seco, se determinó el peso de dos muestras compuestas de organismos (**peso húmedo**) recolectadas en las dos épocas de muestreo. Se secó la muestra en una estufa a 60° C durante 24 h y se registró el peso (**peso seco**) (Brown, 1991). Posteriormente, se calculó el factor de conversión (**Fc**) de la siguiente manera:

$$\mathbf{Fc} = \mathbf{Peso\ seco} / \mathbf{Peso\ húmedo}$$

Así, los valores de biomasa en peso seco por muestra se obtuvieron multiplicando este factor de conversión (0.088 y 0.065 en febrero y agosto, respectivamente) por el peso húmedo de los organismos presentes en cada muestra.

### 5.3.3. Interpretación de los datos

Para el análisis de los datos se utilizaron las planillas de cálculo de Microsoft Excel y los paquetes de software PRIMER 6.0, SigmaStat 3.0 y Multivariate Statistical Package (MVSP 3.1).

Con el fin de realizar análisis comparativos, se calculó la densidad promedio de los organismos por muestra, considerando las tres réplicas recolectadas en cada estación, expresada por metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

Con los datos biológicos a nivel específico se calcularon, utilizando el programa PRIMER, los siguientes parámetros por estación: riqueza (S), abundancia promedio (Abundancia), diversidad (H') (Shannon y Wiener, 1963), dominancia (Dominancia) (Simpson, 1949) y equitatividad (J') (Pielou, 1969). Las diferencias entre las estaciones fueron probadas mediante un análisis de la varianza de una vía (parámetro biológico vs. estaciones), utilizando el programa SigmaStat. Este análisis fue un ANOVA o Kruskal-Wallis, dependiendo de si las variables cumplieron o no con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Asimismo, con el fin de determinar qué sitios presentaron la máxima diferencia para cada uno de los parámetros, se aplicó una prueba de comparaciones múltiples usando pares de estaciones (Holm-Sidak o Dunn's, dependiendo de si las variables cumplieron o no con los supuestos mencionados anteriormente).

El porcentaje de dominancia correspondiente a cada uno de los taxa, se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$Dm = (n_i/N) \times 100$$

Donde: Dm es el índice de dominancia media; n<sub>i</sub>, el número de individuos pertenecientes a la especie i y N, el número total de individuos (Picard, 1965). Como criterio, un taxón fue considerado dominante cuando  $Dm \geq 1\%$ .

Las variaciones temporales correspondientes a las variables biológicas y ambientales (medidas en ambos muestreos), se probaron mediante una prueba T (febrero vs. agosto), utilizando el programa SigmaStat.

Los análisis de clasificación se realizaron por medio de un análisis de conglomerados (CLUSTER), utilizando el programa PRIMER. Para ello, se aplicó el índice de similitud Bray-Curtis (Field *et al.*, 1982), el cual resulta satisfactorio para datos biológicos que están basados en la estructura de la comunidad (Clarke y Warwick, 1994). Asimismo, se aplicó una transformación raíz cuarta a los datos para evitar el efecto de las especies raras o muy abundantes (Field *et al.*,

1982). Este análisis se realizó con los datos de densidad promedio de los organismos presentes en cada una de las estaciones muestreadas y permitió determinar la asociación de los sitios en función de su similitud.

Las relaciones entre las variables ambientales y biológicas fueron analizadas por medio de un CCA (análisis de correspondencias canónicas), mediante el programa MVSP. Para ello, se utilizaron las densidades de las familias o especies dominantes sin transformar registradas en cada una de las estaciones. Asimismo, las variables ambientales fueron representadas por medio de vectores, cuya longitud indicó el efecto de cada variable ambiental sobre las familias o especies en cada localidad. Este análisis permitió determinar grupos de especies indicadoras de los diferentes grados de perturbación en el área y caracterizar la zona a través del patrón de distribución de las mismas (Reish ,1959; Bellan, 1967a, b; Pearson y Rosenberg, 1978).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Variables ambientales

Con respecto a las características del sedimento, en ambos muestreos se observa que en las estaciones 1, 3 y 6 (descarga de granja camaronícola, descarga de planta termoeléctrica y zona aparentemente no perturbada, respectivamente) los sedimentos fueron predominantemente arenosos, mientras que en las estaciones 4 y 5 (descarga del rastro municipal, fábrica procesadora de pescado y estero “El Infiernillo”, respectivamente) dominaron los sedimentos finos, es decir limos y arcillas (Tablas 6 y 7). Los valores más altos de materia orgánica se encontraron en estas dos últimas estaciones durante febrero (12.5 y 15.2 %, respectivamente), mientras que en agosto los valores más altos fueron registrados en las estaciones 2 y 4 (10.9 y 12.9 %, respectivamente). Sin embargo, la estación 5 presentó un valor ligeramente inferior al registrado en la estación 2 durante este mismo muestreo (8.6 %). Por otro lado, en ambos muestreos, la fracción grava presentó el valor más alto en la estación 2 (zona aparentemente no perturbada), aunque aquí predominaron los sedimentos arenosos durante el muestreo de febrero.

Con respecto al resto de las variables ambientales, en ambos muestreos se observa que la estación 3 presenta el valor más alto de temperatura del sedimento (24.4 y 31.8° C en febrero y agosto, respectivamente). Durante el muestreo de agosto, los valores más altos de salinidad fueron registrados en la boca de la laguna (30.0 ‰), mientras que los más bajos se observaron en la parte más interna (24.0 ‰). Por otro lado, los valores de oxígeno medidos en la laguna fueron bajos en casi todas las estaciones y se registraron condiciones de hipoxia leve (i.e., concentraciones de oxígeno inferiores a 2.8 mg/l) (Herreid, 1980; Rosenberg *et al.*, 1991) en las estaciones 1, 2, 3 y 5.

De las variables analizadas en ambos muestreos (% de materia orgánica, granulometría, profundidad y temperatura del sedimento), la única que mostró diferencias significativas entre febrero y agosto fue la temperatura del sedimento ( $t=-10,731$ ;  $N=12$ ;  $p<0,001$ ).

Tabla 6. Variables ambientales medidas en el agua intersticial y los sedimentos en febrero, 2008 (Prof: profundidad, T sedi: temperatura del sedimento, MO: materia orgánica).

VARIABLES	FEBRERO					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>Prof (m)</b>	0.4	5.3	1.0	0.6	4.5	4.9
<b>T sedi (°C)</b>	21.4	22.9	24.4	21.8	20.6	18.9
<b>Grava (%)</b>	0.5	30.7	2.8	1.5	0.0	0.1
<b>Arena (%)</b>	70.4	55.2	85.1	18.7	1.6	81.9
<b>Lodo (%)</b>	29.1	14.1	12.1	79.9	98.4	17.9
<b>MO (%)</b>	6.7	3.0	2.3	12.5	15.2	4.0

Tabla 7. Variables ambientales medidas en el agua intersticial y los sedimentos en agosto, 2008 (Prof: profundidad, T sedi: temperatura del sedimento, MO: materia orgánica, O<sub>2</sub> dis: oxígeno disuelto).

VARIABLES	AGOSTO					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>Prof (m)</b>	2.0	1.6	1.6	1.1	3.1	5.4
<b>T sedi (°C)</b>	29.4	30.6	31.8	30.2	30.7	30.7
<b>Grava (%)</b>	9.6	66.6	0.4	1.0	0.4	0.4
<b>Arena (%)</b>	85.5	24.9	52.6	43.0	26.2	88.0
<b>Lodo (%)</b>	5.0	8.5	47.0	56.0	73.5	11.6
<b>MO (%)</b>	1.2	10.9	8.1	12.9	8.6	1.9
<b>Salinidad (‰)</b>	24.0	26.0	29.0	29.0	29.0	30.0
<b>O<sub>2</sub> dis (mg/l)</b>	0.8	1.7	2.3	3.4	2.7	4.3

## 6.2. Variables biológicas

### 6.2.1. A nivel de familia

Durante los muestreos de febrero y agosto, se contaron e identificaron al nivel de familia un total de 2719 y 1320 individuos, respectivamente. En febrero, se registraron 22 familias, mientras que en agosto fueron 21. En las tablas 8 y 9 se enlistan, en orden decreciente de densidad, las familias que fueron encontradas en las estaciones muestreadas, su densidad promedio considerando las tres réplicas para cada estación y la densidad total de organismos (suma de las tres réplicas) encontrada en cada una de las estaciones.

Tabla 8. Densidad promedio redondeada (ind/m<sup>2</sup>) (tres réplicas) de los organismos encontrados en las seis estaciones muestreadas en febrero, 2008.

FAMILIAS	FEBRERO					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>POLYCHAETA</b>						
Capitellidae	737	3485	1252	1170		1071
Spionidae	11712	2162	364	1,848	30	808
Cirratulidae		1172	61	30	151	535
Opheliidae	182	323	131			525
Nereididae	273			576		91
Dorvilleidae		838	45			30
Lumbrineridae	30	364				232
Syllidae		364	30			212
Paraonidae		444				162
Sabellidae		121	30			136
Magelonidae						45
Hesionidae				61		
Phyllodocidae						136
Polynoidae						101
Pilargidae		2		30		61
Onuphidae	61	76				
Glyceridae		30	61			
Chaetopteridae						61
Flabelligeridae		30				30
Nephtyidae						30
Gonianidae						30
Sigalionidae		30				
<b>OLIGOCHAETA</b>				5473	616	
Densidad total	6818	28121	5758	27364	2848	11485

Tabla 9. Densidad promedio redondeada (ind/m<sup>2</sup>) (tres réplicas) de los organismos encontrados en las seis estaciones muestreadas en agosto, 2008.

FAMILIAS	AGOSTO					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>POLYCHAETA</b>						
Capitellidae	2232	2212		374		808
Spionidae	909	131	30		30	949
Cirratulidae	61	949				232
Opheliidae	30	45				30
Nereididae	30	61	121	252	61	
Dorvilleidae	364	91		394		61
Lumbrineridae		576	30			182
Syllidae						798
Paraonidae		404				
Sabellidae	50	258				899
Maldanidae						30
Hesionidae	50	136				
Pilargidae		76				
Onuphidae	30					
Glyceridae		30				
Pectinariidae		61				
Flabelligeridae						45
Nephtyidae						30
Gonianidae						30
Orbiniidae	30					
Poecilochaetidae						30
<b>OLIGOCHAETA</b>					30	
Densidad total	11061	13061	182	3061	242	11909

Durante el muestreo de febrero, la densidad total de organismos fue mayor en las estaciones 2 y 4 (i.e., en la zona aparentemente no perturbada, y en los desagües del rastro municipal y de la fábrica procesadora de pescado) con 28121 y 27364 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente (Tabla 8). En cambio, durante el muestreo de agosto, los valores más altos de densidad fueron registrados en las estaciones 1, 2 y 6 (descarga de granja camaronícola y zonas aparentemente no perturbadas) con 11061, 13061 y 11909 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente (Tabla 9). Por otro lado, las densidades más bajas se registraron en ambos muestreos en la estación 5 (2848 y 242 ind/m<sup>2</sup> en febrero y agosto, respectivamente), mientras que en agosto también fueron bajas en la estación 3 (182 ind/m<sup>2</sup>).

En ambos muestreos, el número de familias fue mayor en las estaciones 2 y 6 (14 y 18 familias fueron registradas en febrero, respectivamente y 13 en agosto para ambas estaciones).

Por el contrario, en la estación 5 (desagüe del estero “El Infiernillo”) se registró el menor número de familias (3) y en el resto de las estaciones los valores fueron ligeramente mayores. A su vez, con respecto a la dominancia de las familias encontradas, se observa que a este nivel de resolución taxonómica no es posible realizar una acertada discriminación debido a que la mayoría de las familias se encontraron dentro del intervalo correspondiente a los taxa dominantes, es decir  $D_m \geq 1\%$  (Tablas 10 y 11).

Tabla 10. Porcentaje de dominancia asociado a las familias encontradas en cada estación de muestreo en febrero, 2008.

FAMILIAS	FEBRERO					
	DOMINANCIA (%)					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>POLYCHAETA</b>						
Capitellidae	30.0	36.7	63.4	12.7	16.0	24.9
Spionidae	47.7	22.8	18.4	20.1	2.8	18.8
Cirratulidae		12.3	3.1	0.3	14.2	12.5
Opheliidae	7.4	3.4	6.6			12.2
Nereididae	11.1			6.3		2.1
Dorvilleidae		8.8	2.3			0.7
Lumbrineridae	1.2	3.8				5.4
Syllidae		3.8	1.5			4.9
Paraonidae		4.7				3.8
Sabellidae		1.3	1.5			3.2
Magelonidae						1.1
Hesionidae				0.7		
Phyllodocidae						3.2
Polynoidae						2.4
Pilargidae		0.6		0.3		1.4
Onuphidae	2.5	0.8				
Glyceridae		0.3	3.1			
Chaetopteridae						1.4
Flabelligeridae		0.3				0.7
Nephtyidae						0.7
Goniadidae						0.7
Sigalionidae		0.3				
<b>OLIGOCHAETA</b>				59.6	67.0	

Tabla 11. Porcentaje de dominancia asociado a las familias encontradas en cada estación de muestreo en agosto, 2008.

FAMILIAS	AGOSTO					
	DOMINANCIA (%)					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>POLYCHAETA</b>						
Capitellidae	55.8	42.2		35.6		19.6
Spionidae	22.7	2.5	16.7		25.0	23.0
Cirratulidae	1.5					5.6
Opheliidae	0.8	0.9				0.7
Nereididae	0.8	1.2	66.7	24.0	50.0	
Dorvilleidae	9.1	1.7		37.5		1.5
Lumbrineridae		11.0	16.7			4.4
Syllidae						19.3
Paraonidae		7.7				
Sabellidae	1.3	4.9				21.8
Maldanidae						0.7
Hesionidae	1.3	2.6				
Pilargidae		1.4				
Onuphidae	0.8					
Glyceridae		0.6				
Pectinariidae		1.2				
Flabelligeridae						1.1
Nephtyidae						0.7
Goniadidae						0.7
Orbiniidae	0.8					
Poecilochaetidae						0.7
<b>OLIGOCHAETA</b>					25.0	

Con los datos obtenidos a nivel de familia (i.e., densidad promedio de las familias en cada una de las estaciones) se realizó un análisis de conglomerados (CLUSTER). En el muestreo de febrero, puede observarse una alta asociación entre las estaciones 2 y 6 (i.e., entre las zonas aparentemente limpias) con un porcentaje de similitud del 70 %. La estación 3 (descarga de planta termoeléctrica) presenta una fuerte similitud con las estaciones mencionadas anteriormente (61 %), mientras que las estaciones 1 y 4 (descarga de granja camaronícola, y del rastro municipal y fábrica procesadora de pescado) forman un grupo aparte (66 %). Por último, la estación 5 es la única que se diferencia y solo presenta un porcentaje de similitud de 52 % con el resto de las estaciones (Figura 2). Por otro lado, en el muestreo de agosto, puede observarse que las estaciones 3 y 5 forman un grupo (64 %), las estaciones 1 y 2 forman otro (62 %), mientras

que las estaciones 4 y 6 se encuentran asociadas a estos, con un porcentaje de similitud del 26 y 53 %, respectivamente (Figura 3).

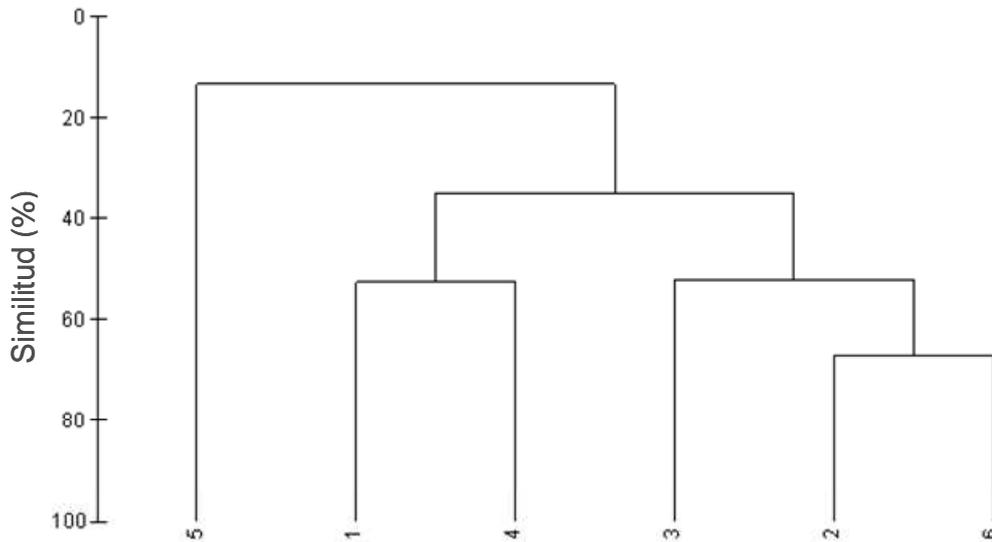


Fig. 2. Dendrograma realizado con los datos biológicos transformados (raíz cuarta) a nivel de familia en febrero, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. En el eje está representado el porcentaje de similitud entre las estaciones.

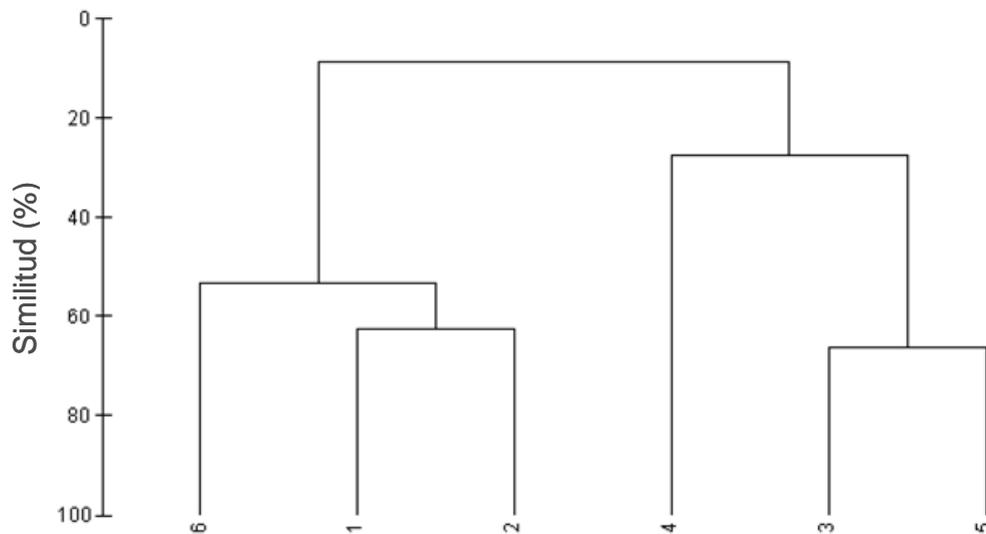


Fig. 3. Dendrograma realizado con los datos biológicos transformados (raíz cuarta) a nivel de familia en agosto, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. En el eje está representado el porcentaje de similitud entre las estaciones.

Con respecto a la biomasa de los organismos, se registraron diferencias altamente significativas entre los sitios estudiados, tanto en febrero como en agosto (ANOVA:  $F=17.911$ ;  $N=18$ ;  $p \leq 0.001$  y Kruskal Wallis:  $H=14.017$ ;  $N=18$ ;  $p=0,016$ , respectivamente). En particular, las pruebas de comparaciones múltiples usando pares de estaciones revelaron que las mayores diferencias se encontraron entre las estaciones 4 y 5 en ambos muestreos ( $p < 0.001$  en febrero y  $p < 0.05$  en agosto). Por el contrario, la variación temporal no fue significativa ( $t=379,000$ ,  $N=36$ ;  $p=0,150$ ). De manera que, en ambos muestreos, los valores más altos de biomasa fueron encontrados en la estación 4 ( $21.0$  y  $11.5 \text{ g/m}^2$  en febrero y agosto, respectivamente), valores ligeramente inferiores en la estación 2 ( $12.8$  y  $11.3 \text{ g/m}^2$  en febrero y agosto, respectivamente), mientras que los valores más bajos fueron registrados en la estación 5 ( $1.0$  y  $0.2 \text{ g/m}^2$  en febrero y agosto, respectivamente) (Tablas 12 y 13).

Tabla 12. Biomasa de los organismos para cada estación de muestreo en febrero, 2008.

<b>FEBRERO</b>		
<b>BIOMASA</b>		
<b>ESTACIONES</b>	<b>Peso húmedo (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso seco (g/m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	7.1	0.6
<b>2</b>	12.8	1.1
<b>3</b>	3.1	0.3
<b>4</b>	21.0	1.8
<b>5</b>	1.0	0.1
<b>6</b>	4.8	0.4

Tabla 13. Biomasa de los organismos para cada estación de muestreo en agosto, 2008.

<b>AGOSTO</b>		
<b>BIOMASA</b>		
<b>ESTACIONES</b>	<b>Peso húmedo (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso seco (g/m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	1.5	0.3
<b>2</b>	11.3	0.8
<b>3</b>	2.7	0.2
<b>4</b>	11.5	0.8
<b>5</b>	0.2	0.0
<b>6</b>	5.9	0.4

### 6.2.2. A nivel de especie

En las muestras de febrero y agosto, se identificaron 50 y 35 taxa de anélidos, respectivamente. En las tablas 14 y 15 se detallan, en orden decreciente de densidad, los taxa que fueron encontrados en las estaciones muestreadas, su densidad promedio y su número total por estación.

Tabla 14. Densidad promedio redondeada (ind/m<sup>2</sup>) (tres réplicas) y número total de especies encontradas en las seis estaciones muestreadas en febrero, 2008.

FAMILIAS	FEBRERO					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>POLYCHAETA</b>						
<b>Capitellidae</b>						
<i>Capitella</i> sp.	646	30	889	1081		91
<i>Heteromastus filiformis</i>	151					30
<i>Capitita ambiseta</i>		3454	61			768
<i>Mediomastus californiensis</i>			333	91		
<b>Spionidae</b>						
<i>Prionospio steenstrupi</i>	273	364				
<i>Prionospio heterobranchia</i>	364	1636	303	122		30
<i>Prionospio lighti</i>			30			172
<i>Streblospio benedicti</i>	636			1697		
<i>Polydora websteri</i>	348	30	40			101
<i>Paraprionospio pinnata</i>					30.3	364
<i>Marenzelleria viridis</i>						30
<i>Spio</i> sp.						30
<i>Scolelepis</i> cf. <i>tridentata</i>						30
Spionidae sp.				30		
<b>Cirratulidae</b>						
<i>Caulleriella pacifica</i>		1172	61	61	151.5	475
<i>Chaetozone senticosa</i>						30
<b>Opheliidae</b>						
<i>Armandia brevis</i>	182	323	131			
<i>Ophelina acuminata</i>						485
<i>Polyopthalmus pictus</i>						30
<b>Nereididae</b>						
<i>Neanthes succinea</i>		30		30		91
<i>Perinereis monterea</i>		30				
<i>Nereis procera</i>	192			566		
<b>Dorvilleidae</b>						
<i>Dorvillea longicornis</i>		838	45			30
<b>Lumbrineridae</b>						
<i>Scoletoma luti</i>	30	364				232
<b>Syllidae</b>						
<i>Odontosyllis phosphorea</i>		182				

<i>Exogone molesta</i>		101				212
<i>Exogone lourei</i>		45				
<i>Sphaerosyllis californiensis</i>		30	30			
<b>Paraonidae</b>						
<i>Aricidea catherinae</i>		454				141
<b>Sabellidae</b>						
<i>Chone mollis</i>		106				
<i>Megalomma pigmentum</i>		30				
<i>Paradialychone ecaudata</i>			30			91
<i>Amphicorina gracilis</i>						76
<b>Magelonidae</b>						
<i>Magelona berkeleyi</i>						61
<b>Hesionidae</b>						
<i>Podarkeopsis glabrus</i>				61		
<b>Phyllodocidae</b>						
<i>Eteone californica</i>						61
<b>Polynoidae</b>						
<i>Lepidonotus squamatus</i>						30
Polynoidae sp.						91
<b>Pilargidae</b>						
<i>Sigambra tentaculata</i>		30		30		61
<i>Sigambra bassi</i>				30		
<b>Onuphidae</b>						
<i>Onuphis elegans</i>	61	30				
<i>Onuphis iridescens</i>	30					
<b>Glyceridae</b>						
<i>Glycera macrobranchia</i>		30	60			
<b>Chaetopteridae</b>						
<i>Spiochaetopterus pottsi</i>						30
<b>Flabelligeridae</b>						
<i>Brada villosa</i>		30				30
<b>Nephtyidae</b>						
<i>Aglaophamus</i> sp.						30
<b>Goniadidae</b>						
<i>Goniada brunnea</i>						30
<b>Sigalionidae</b>						
<i>Sthenelais verruculosa</i>		30				
<b>OLIGOCHAETA</b>						
Oligochaeta sp. 1				5475	303	
Oligochaeta sp. 2					748	
N° total de taxa	11	23	12	12	4	30

Tabla 15. Densidad promedio redondeada (ind/m<sup>2</sup>) (tres réplicas) y número total de especies encontradas en las seis estaciones muestreadas en agosto, 2008.

FAMILIAS	AGOSTO					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>POLYCHAETA</b>						
<b>Capitellidae</b>						
<i>Capitella</i> sp.	1535			162		
<i>Heteromastus filiformis</i>		798				
<i>Capitita ambiseta</i>		1071				364
<i>Mediomastus californiensis</i>	525	621				414
<b>Spionidae</b>						
<i>Prionospio steenstrupi</i>	71					
<i>Prionospio heterobranchia</i>		111				192
<i>Prionospio lighti</i>		30		61		454
<i>Sireblospio benedicti</i>	798					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	30	30			30	222
<b>Cirratulidae</b>						
<i>Caulleriella pacifica</i>	45	899				232
<i>Chaetozone senticosa</i>		91				
<b>Opheliidae</b>						
<i>Armandia brevis</i>	30	45				30
<b>Nereididae</b>						
<i>Neanthes succinea</i>				30		
<i>Nereis procera</i>	30		121	283	61	
<b>Dorvilleidae</b>						
<i>Dorvillea longicornis</i>		91		30		30
<i>Ophryotrocha puerilis</i>	364			384		61
<b>Lumbrineridae</b>						
<i>Scoletoma luti</i>		576	30			182
<b>Syllidae</b>						
<i>Exogone molesta</i>						808
<b>Paraonidae</b>						
<i>Aricidea catherinae</i>		404				
<b>Sabellidae</b>						
<i>Chone mollis</i>						576
<i>Paradialychone ecaudata</i>	50	258				323
<b>Maldanidae</b>						
<i>Axiothella rubrocincta</i>						30
<b>Hesionidae</b>						
<i>Podarkeopsis glabrus</i>	30					
<i>Gyptis brunnea</i>	61	136				
<b>Pilargidae</b>						
<i>Sigambra tentaculata</i>		76				
<b>Onuphidae</b>						
<i>Onuphis elegans</i>		30				
<b>Glyceridae</b>						
<i>Glycera macrobranchia</i>		30				
<b>Flabelligeridae</b>						

<i>Brada villosa</i>						45
<b>Nephtyidae</b>						
<i>Aglaophamus</i> sp.						30
<b>Goniadidae</b>						
<i>Glycinde armigera</i>						30
<b>Orbiniidae</b>						
<i>Orbinia johnsoni</i>	30					
<b>Pectinaridae</b>						
<i>Pectinaria californiensis</i>		61				
<b>Poecilochaetidae</b>						
<i>Poecilochaetus johnsoni</i>						30
<b>OLIGOCHAETA</b>						
Oligochaeta sp. 1	121			151	30	
Oligochaeta sp. 3	111			50		
N° total de taxa	15	18	2	8	3	18

En ambos muestreos, el número de especies fue mayor en las estaciones 2 y 6, i.e., en las zonas aparentemente limpias o no perturbadas (23 y 30 taxa fueron registradas en febrero, respectivamente y 18 en agosto para ambas estaciones), mientras que los valores más bajos fueron registrados en la estación 5 (desagüe del estero “El Infiernillo”) (4 y 3 taxa en febrero y agosto, respectivamente). Sin embargo, durante el muestreo de agosto, la estación 3 también presentó un número muy bajo de especies y sus valores fueron similares a los encontrados en la estación 5 durante este mes.

El número total de taxa fue 58, de los cuales 36 fueron dominantes (i.e., presentaron una  $D_m \geq 1\%$ ) (Tablas 16 y 17). Durante el muestreo de agosto, en la estación 3 se registró el porcentaje más alto de dominancia (80 %) y éste estuvo asociado a la escasez de fauna encontrada en este sitio (sólo estuvieron presentes *Nereis procera* y *Scoletoma luti*) (Tabla 17). Asimismo, valores ligeramente inferiores fueron registrados en la estación 4 para *Oligochaeta* sp. 1 en febrero, mientras que la estación 5 presentó porcentajes de dominancia similares para *Oligochaeta* sp. 2 en febrero y para *Nereis procera* en agosto. Sin embargo, es importante destacar que en la estación 4, del total de taxa presentes en febrero (12) sólo cinco fueron dominantes, mientras que en la estación 5, todos los taxa presentes fueron dominantes. Por el contrario, el rango de porcentaje de dominancia más estrecho fue registrado en la estación 6 en ambos muestreos, en donde aproximadamente la mitad de las especies presentes fueron dominantes.

Tabla 16. Porcentaje de dominancia asociado a las especies encontradas en cada estación de muestreo en febrero, 2008.

ESPECIES	DOMINANCIA (%)					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>POLYCHAETA</b>						
<i>Capitella</i> sp.	22.2	0.3	44.1	11.7		2.3
<i>Heteromastus filiformis</i>	5.2					0.8
<i>Capitita ambiseta</i>		36.9	3.0			19.4
<i>Mediomastus californiensis</i>			16.5	1.0		
<i>Prionospio steenstrupi</i>	9.4	3.9				
<i>Prionospio heterobranchia</i>	12.5	17.5	15.0	1.3		0.8
<i>Prionospio lighti</i>			1.5			4.3
<i>Streblospio benedicti</i>	21.8			18.3		
<i>Polydora websteri</i>	12.0	0.3	2.0			2.5
<i>Paraprionospio pinnata</i>					3.8	9.2
<i>Marenzelleria viridis</i>						0.8
<i>Spio</i> sp.						0.8
<i>Scolelepis</i> cf. <i>Tridentata</i>						0.8
Spionidae sp.				0.3		
<i>Caulleriella pacifica</i>		12.5	3.0	0.7	19.0	12.0
<i>Chaetozone senticosa</i>						0.8
<i>Armandia brevis</i>	6.2	3.4	6.5			
<i>Ophelina acuminata</i>						12.2
<i>Polyophthalmus pictus</i>						0.8
<i>Neanthes succinea</i>		0.3		0.3		2.3
<i>Perinereis monterea</i>		0.3				
<i>Nereis procera</i>	6.6			6.1		
<i>Dorvillea longicornis</i>		8.9	2.3			0.8
<i>Scoletoma luti</i>	1.0	3.9				5.9
<i>Odontosyllis phosphorea</i>		1.9				
<i>Exogone molesta</i>		1.1				5.4
<i>Exogone lourei</i>		0.5				
<i>Sphaerosyllis californiensis</i>		0.3	1.5			
<i>Aricidea catherinae</i>		4.8				3.6
<i>Chone mollis</i>		1.1				
<i>Megalomma pigmentum</i>		0.3				
<i>Paradialychone ecaudata</i>			1.5			2.3
<i>Amphicorina gracilis</i>						1.9
<i>Magelona berkeleyi</i>						1.5
<i>Podarkeopsis glabrus</i>				0.7		
<i>Eteone californica</i>						1.5
<i>Lepidonotus squamatus</i>						0.8
Polynoidae sp.						2.3
<i>Sigambra tentaculata</i>		0.3		0.3		1.5
<i>Sigambra bassi</i>				0.3		
<i>Onuphis elegans</i>	2.1	0.3				
<i>Onuphis iridescens</i>	1.0					

<i>Glycera macrobranchia</i>		0.3	3.0			
<i>Spiochaetopterus pottsi</i>						0.8
<i>Brada villosa</i>		0.3				0.8
<i>Aglaophamus</i> sp.						0.8
<i>Goniada brunnea</i>						0.8
<i>Sthenelais verruculosa</i>		0.3				
<b>OLIGOCHAETA</b>						
Oligochaeta sp. 1				59.0	24.6	
Oligochaeta sp. 2					60.7	

Tabla 17. Porcentaje de dominancia asociado a las especies encontradas en cada estación de muestreo en agosto, 2008.

ESPECIES	DOMINANCIA (%)					
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
<b>POLYCHAETA</b>						
<i>Capitella</i> sp.	40.1			14.0		
<i>Heteromastus filiformis</i>		14.9				
<i>Capitita ambiseta</i>		20.0				9.0
<i>Mediomastus californiensis</i>	13.7	11.6				10.2
<i>Prionospio steenstrupi</i>	1.8					
<i>Prionospio heterobranchia</i>		2.1				4.7
<i>Prionospio lighti</i>		0.6		5.3		11.2
<i>Streblospio benedicti</i>	20.8					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0.8	0.6			25.0	5.5
<i>Caulleriella pacifica</i>	1.2	16.8				5.7
<i>Chaetozone senticosa</i>		1.7				
<i>Armandia brevis</i>	0.8	0.8				0.7
<i>Neanthes succinea</i>				2.6		
<i>Nereis procera</i>	0.8		80.0	24.6	50.0	
<i>Dorvillea longicornis</i>		1.7		2.6		0.7
<i>Ophryotrocha puerilis</i>	9.5			33.3		1.5
<i>Scoletoma luti</i>		10.7	20.0			4.5
<i>Exogone molesta</i>						19.9
<i>Aricidea catherinae</i>		7.5				
<i>Chone mollis</i>						14.2
<i>Paradialychone ecaudata</i>	1.3	4.8				8.0
<i>Axiothella rubrocincta</i>						0.7
<i>Podarkeopsis glabrus</i>	0.8					
<i>Gyptis brunnea</i>	1.6	2.5				
<i>Sigambra tentaculata</i>		1.4				
<i>Onuphis elegans</i>		0.6				
<i>Glycera macrobranchia</i>		0.6				
<i>Brada villosa</i>						1.1
<i>Aglaophamus</i> sp.						0.7
<i>Glycinde armigera</i>						0.7
<i>Orbinia johnsoni</i>	0.8					
<i>Pectinaria californiensis</i>		1.1				

<i>Poecilochaetus johnsoni</i>					0.7
<b>OLIGOCHAETA</b>					
Oligochaeta sp. 1	3.2		13.2	25.0	
Oligochaeta sp. 3	2.9		4.4		

En las tablas 18 y 19 se muestran los parámetros biológicos (promedio de las tres réplicas) calculados para cada una de las estaciones. Puede observarse que la abundancia promedio de las especies fue mayor en la estación 2 en ambos muestreos (302.0 y 145.7 individuos en febrero y agosto, respectivamente). Sin embargo, valores semejantes fueron registrados en la estación 4 (299.7 individuos) y en las estaciones 1 y 6 (119.3 y 128.0 individuos, respectivamente) durante los muestreos de febrero y agosto, respectivamente. Los valores de riqueza específica y diversidad fueron mayores en las zonas aparentemente limpias en ambos muestreos (17 y 1.9, y 18 y 2.3 en febrero, mientras que en agosto fueron 12 y 1.8, y 13 y 2.2, para las estaciones 2 y 6, respectivamente), mientras que los valores más bajos fueron registrados en la estación 5 (descarga del estero “El Infiernillo”) en febrero (2 y 0.2) y en la estación 3 (descarga de planta termoeléctrica) en agosto (1 y 0.0). Por último, la estación 5 presentó los valores más altos de dominancia y, por lo tanto, los más bajos de equitatividad durante ambos muestreos (0.9 y 0.5 en febrero, y 0.8 y 0.3 en agosto, respectivamente).

Tabla 18. Parámetros biológicos (promedio de las tres réplicas) medidos a nivel de especie durante el muestreo de febrero, 2008 (S: riqueza específica;  $H'(\log_e)$ : índice de diversidad de Shannon con transformación logaritmo en base e;  $J'$ : equitatividad).

ESTACIONES	Abundancia	S	$H'(\log_e)$	$J'$	Dominancia
1	67.3	6	1.6	0.9	0.2
2	302.0	17	1.9	0.7	0.2
3	62.7	9	1.6	0.7	0.3
4	299.7	8	1.1	0.5	0.5
5	22.3	2	0.2	0.5	0.9
6	110.0	18	2.3	0.8	0.1

Tabla 19. Parámetros biológicos (promedio de las tres réplicas) medidos a nivel de especie durante el muestreo de agosto, 2008 (S: riqueza específica;  $H'(\log_e)$ : índice de diversidad de Shannon con transformación logaritmo en base e;  $J'$ : equitatividad).

ESTACIONES	Abundancia	S	$H'(\log_e)$	$J'$	Dominancia
1	119.3	10	1.5	0.6	0.3
2	145.7	12	1.8	0.7	0.2
3	1.7	1	0.0	0.0	0.7
4	35.3	6	1.4	0.8	0.3
5	2.7	2	0.3	0.3	0.8
6	128.0	13	2.2	0.8	0.1

Posteriormente, se realizaron análisis de la varianza de una vía (cada parámetro biológico vs. estaciones) en los que se registraron diferencias altamente significativas para la abundancia, riqueza específica y diversidad durante ambos muestreos (Tablas 20 y 21). Asimismo, la dominancia fue significativamente diferente entre los sitios pero sólo durante febrero. En particular, las pruebas de comparaciones múltiples revelaron que las mayores diferencias en la abundancia se encontraron entre las estaciones 2 y 5 (zona aparentemente limpia y descarga del estero “El Infiernillo”, respectivamente) en febrero ( $p < 0.001$ ), mientras que en agosto estuvieron entre los sitios 1 y 3 (granja camaronícola y planta termoeléctrica, respectivamente) ( $p < 0.05$ ). Para la riqueza, diversidad y dominancia, las mayores diferencias se encontraron entre las estaciones 5 y 6 (zona aparentemente limpia) en febrero ( $p < 0.05$ ), mientras que en agosto fue entre los sitios 3 y 6 ( $p < 0,001$ ). Por otro lado, la variación temporal de las variables biológicas solo fue significativa para la abundancia ( $t=267,500$ ,  $N=36$ ,  $p=0,040$ ).

Tabla 20. Análisis de la varianza para los parámetros biológicos medidos en febrero, 2008.

	Análisis de la varianza
Abundancia	$F=40.491$ ; $N=18$ ; $p \leq 0.001$
S	$H=15.209$ ; $N=18$ ; $p=0.010$
$H'(\log_e)$	$F=28.697$ ; $N=18$ ; $p \leq 0.001$
$J'$	NS ( $p=0.050$ )
Dominancia	$F=11.520$ ; $N=18$ ; $p \leq 0.001$

Tabla 21. Análisis de la varianza para los parámetros biológicos medidos en agosto, 2008.

	<b>Análisis de la varianza</b>
<b>Abundancia</b>	H=14,413; N=18; p=0,013
<b>S</b>	F=20,333; N=18; p≤0,001
<b>H'(log<sub>e</sub>)</b>	H=15,447; N=18; p=0,009
<b>J'</b>	NS (p=0,056)
<b>Dominancia</b>	NS (p=0,113)

Con los datos a nivel específico (i.e., densidad promedio de las especies en cada una de las estaciones), se realizó un análisis de conglomerados (CLUSTER) (Figuras 4 y 5). Puede observarse que las estaciones presentaron un arreglo similar al obtenido en el análisis realizado a nivel de familia. Sin embargo, los porcentajes de similitud entre las estaciones fueron menores a nivel de especie. De esta manera, puede observarse una importante asociación entre las estaciones 2 y 6 (zonas aparentemente limpias) con un porcentaje de similitud del 42 y 51 % en febrero y agosto, respectivamente. La estación 3 (descarga de planta termoeléctrica) presenta cierta similitud con las estaciones mencionadas anteriormente en febrero (36 %), mientras que en agosto se encontró asociada a la estación 5 (descarga del estero “El Infiernillo”), con una similitud del 42 %. Por último, las estaciones 1 y 4 (descarga de granja camaronícola, y del rastro municipal y fábrica procesadora de pescado) formaron un grupo aparte con un porcentaje de similitud del 40 % en ambos muestreos.

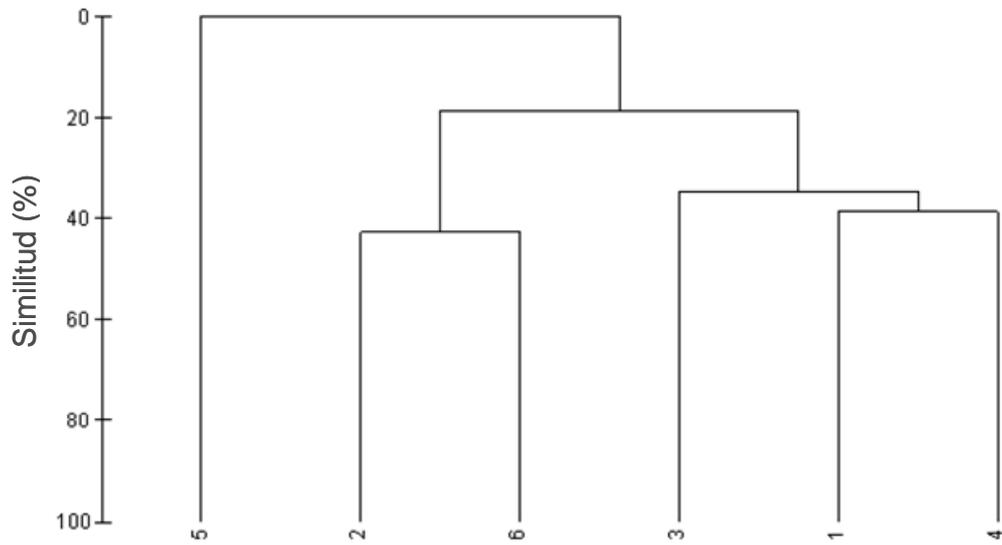


Fig. 4. Dendrograma realizado con los datos biológicos transformados (raíz cuarta) a nivel de especie en febrero, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. En el eje está representado el porcentaje de similitud entre las estaciones.

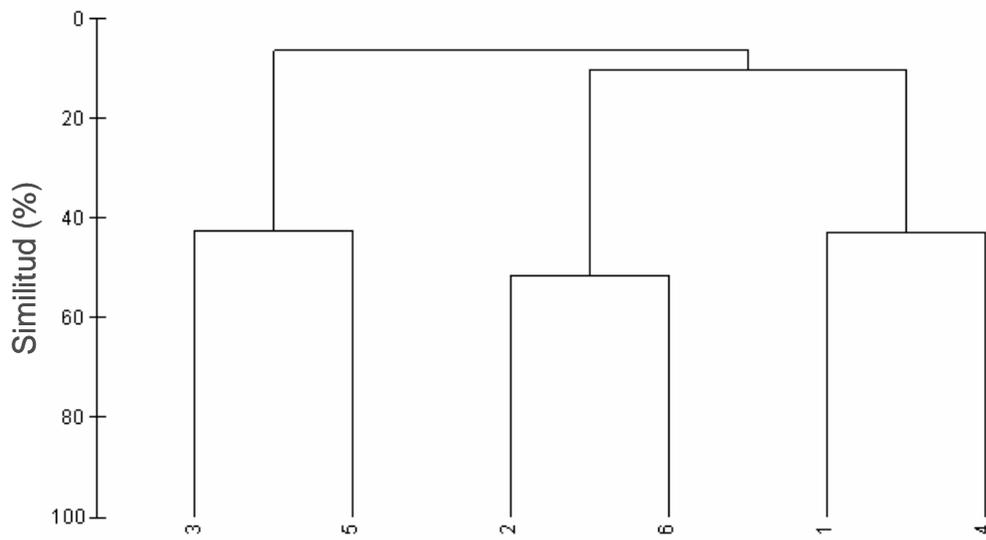


Fig. 5. Dendrograma realizado con los datos biológicos transformados (raíz cuarta) a nivel de especie en agosto, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. En el eje está representado el porcentaje de similitud entre las estaciones.

### **6.3. Relaciones entre las variables ambientales y biológicas**

#### **6.3.1. Muestreos por separado**

##### **6.3.1.1. A nivel de familia**

Con los datos correspondientes a la densidad promedio de las familias dominantes y las variables ambientales registradas en cada una de las estaciones, se realizó un análisis CCA para cada uno de los muestreos (Figuras 6 y 7). En febrero, el eje 1 (horizontal) explicó el 66.51 % de la varianza, mientras que el eje 2 (vertical) explicó el 14.70 %, para una varianza total extraída por los dos ejes de 81.21 %. Por otro lado, en agosto el eje 1 explicó el 35.79 % y el eje 2 explicó el 27.64 % para una varianza total extraída de 63.43 %.

A este nivel de resolución taxonómica, este análisis no permite distinguir claramente la asociación entre las variables (ambientales y biológicas) y las estaciones de muestreo, debido a que la mayoría de las familias se localizan en el centro de la gráfica. Sin embargo, en la representación correspondiente al mes de febrero, puede observarse que las estaciones 4 y 5 se caracterizan por la presencia de los oligoquetos y los porcentajes más altos de materia orgánica y lodo, mientras que en agosto, la estación 3 y los nereididos se incorporaron al grupo mencionado anteriormente.

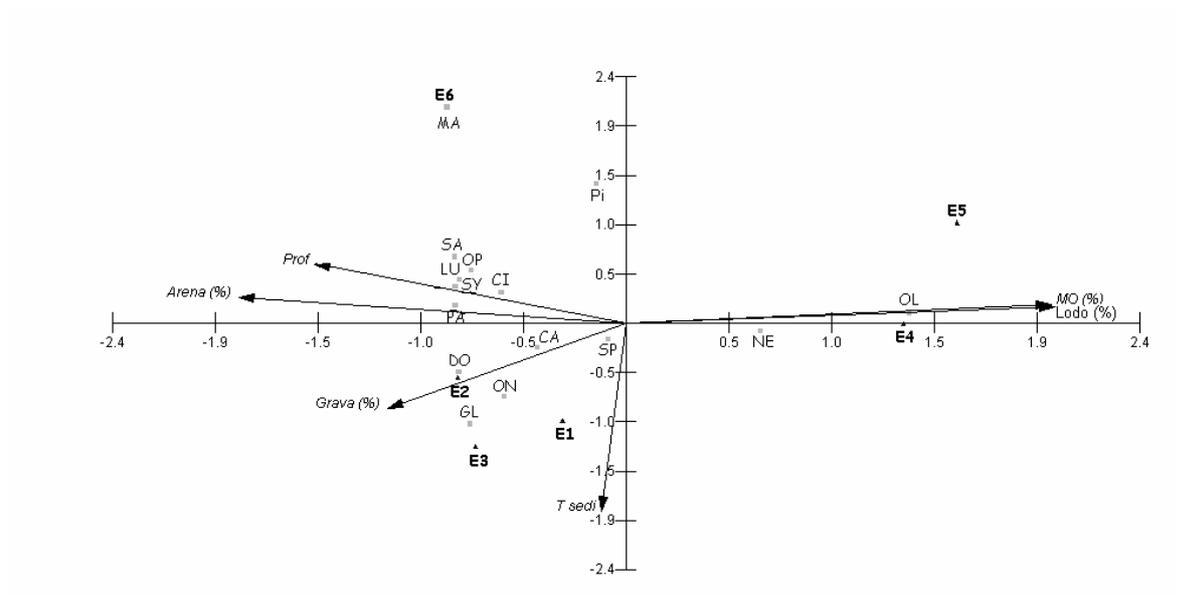


Fig. 6. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de familia para febrero, 2008 (OL: Oligochaeta; NE: Nereididae; GL: Glyceridae; ON: Onuphidae; DO: Dorvilleidae; CA: Capitellidae; SP: Spionidae; PA: Paraonidae; SY: Syllidae; CI: Cirratulidae; LU: Lumbrineridae; OP: Opheliidae; SA: Sabellidae; MA: Magelonidae; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad).

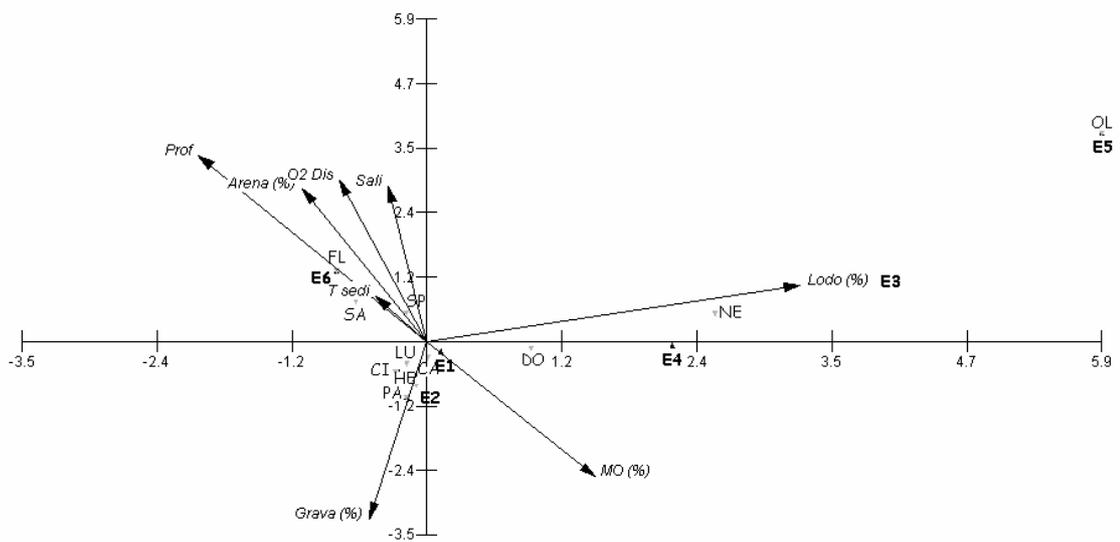


Fig. 7. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de familia para agosto, 2008 (OL: Oligochaeta; NE: Nereididae; DO: Dorvilleidae; CA: Capitellidae; SP: Spionidae; PA: Paraonidae; CI: Cirratulidae; LU: Lumbrineridae; SA: Sabellidae; HE: Hesionidae; FL: Flabelligeridae; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad; O2 Dis: oxígeno disuelto; Sali: salinidad).

### 6.3.3.2. A nivel de especie

Con los datos correspondientes a la densidad promedio de las especies dominantes y las variables ambientales registradas en cada una de las estaciones, se realizó un análisis CCA para cada uno de los muestreos (Figuras 8 y 9). En febrero, el eje 1 (horizontal) explicó el 34.58 % de la varianza, mientras que el eje 2 (vertical) explicó el 25.81 %, para una varianza total extraída por los dos ejes de 60.39 %. Por otro lado, en agosto el eje 1 explicó el 42.34 % y el eje 2 explicó el 25.93 % para una varianza total extraída de 68.27 %.

A este nivel de resolución taxonómica, se observa una mejor distribución y asociación entre las especies, las variables ambientales y las estaciones de muestreo. De este modo, en la representación correspondiente al muestreo de febrero, se observa que las estaciones 4 y 5 (rastros y procesadora de pescado y “El Infiernillo”, respectivamente) se caracterizan por la presencia de los oligoquetos sp. 1 y sp. 2, *N. procera*, *S. benedicti* y *Capitella* sp., y los porcentajes más altos de materia orgánica y lodo. Las estaciones 1 y 3 (descargas de granja camaronícola y planta termoeléctrica, respectivamente) se encuentran asociadas a las mayores temperaturas del sedimento y a la presencia de *O. iridescens*, *M. californiensis*, *H. filiformis*, *O. elegans*, *P. websteri*, *G. macrobranchi* y *A. brevis*, mientras que las estaciones 2 y 6 (zonas aparentemente limpias) se encuentran asociadas a las mayores profundidades, los porcentajes más altos de arena y grava, y a la presencia de *D. longicornis*, *C. mollis*, *A. gracilis*, *P. ecaudata*, *C. pacífica* y *P. pinnata*. Por otro lado, en la representación correspondiente al muestreo de agosto, se observa que la profundidad y los porcentajes de materia orgánica, lodo y arena, presentan una menor influencia que en el muestreo de febrero. La estación 3 muestra características similares a las estaciones 4 y 5, y en conjunto se encuentran asociadas a los porcentajes más altos de lodo y arena, y a la presencia de los oligoquetos sp. 1 y sp. 3, *N. procera*, *N. succinea* y *O. phosphorea*. La estación 1 se localiza cerca del grupo mencionado anteriormente, pero particularmente se asocia a la presencia de *Capitella* sp. y *P. steenstrupi*. Por otro lado, la estación 2 se encuentra relacionada con los porcentajes más altos de grava y materia orgánica, y a la presencia de *H. filiformis*, *C. pacífica* y *C. ambiseta*, mientras que la estación 6 se encuentra asociada a los valores más altos de oxígeno disuelto, salinidad y profundidad, y a la presencia de *E. molesta*, *P. lighti*, *P. pinnata*, *P. ecaudata* y *P. heterobranchia*.



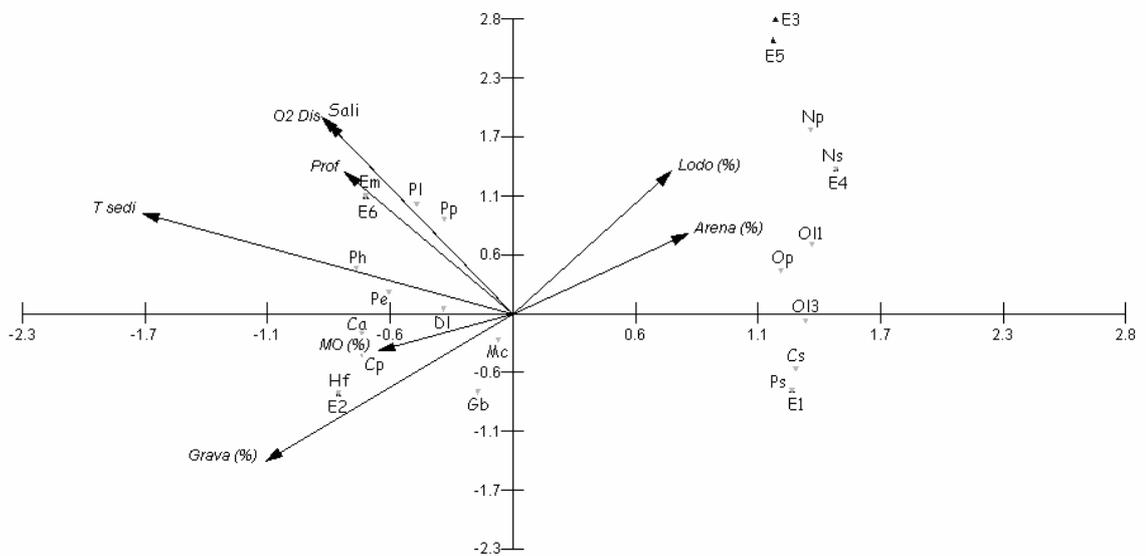


Fig. 9. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de especie para agosto, 2008.

(OI1: *Oligochaeta* sp.1; OI3: *Oligochaeta* sp.3; Np: *Nereis procera*; Ns: *Neanthes succinea*; Op: *Odontosyllis phosphorea*; Cs: *Capitella* sp.; Ps: *Prionospio steenstrupi*; Mc: *Mediomastus californiensis*; Gb: *Gyptis brunnea*; Dl: *Dorvillea longicornis*; Cp: *Caulleriella pacifica*; Ca: *Capitita ambiseta*; Hf: *Heteromastus filiformis*; Pe: *Paradialychone ecaudata*; Ph: *Prionospio heterobranchia*; Pp: *Paraprionospio pinnata*; Pl: *Prionospio lighti*; Em: *Exogone molesta*; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad; O2 Dis: oxígeno disuelto; Sali: salinidad).

## 6.3.2. Muestreros en conjunto

### 6.3.2.1. A nivel de familia

Con los datos correspondientes a la densidad promedio de las familias dominantes y las variables ambientales registradas en cada una de las estaciones en ambos muestreos, se realizó un análisis CCA (Figura 10). El eje 1 explicó el 50.24 % de la varianza, mientras que el eje 2 explicó el 11.25 % para una varianza total extraída por los dos ejes de 61.49 %.

Puede observarse que la mayoría de las familias se localizan en el centro de la gráfica y por lo tanto, no puede distinguirse con claridad la asociación entre las variables y las estaciones de muestreo. De esta manera, solo la estación 4F (estación 4 de febrero) y las estaciones 5F y 5A (estación 5 de febrero y agosto, respectivamente) se encuentran cercanas y asociadas a los porcentajes más altos de lodo y materia orgánica, y a la presencia de los oligoquetos y nereididos.

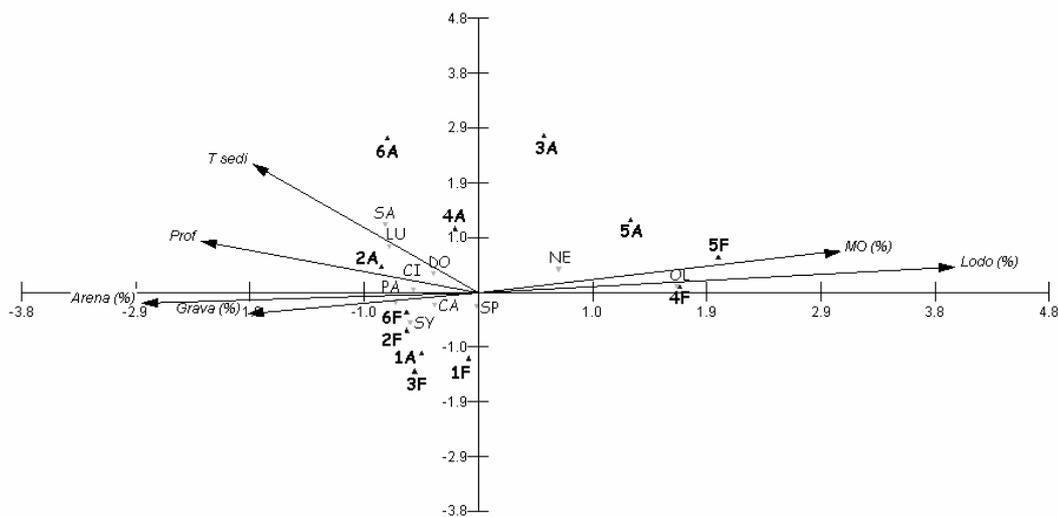


Fig. 10. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de familia para febrero y agosto, 2008 (1F- 6F: estaciones de febrero; 1A- 6A: estaciones de agosto; OL: Oligochaeta; NE: Nereididae; SP: Spionidae; CA: Capitellidae; SY: Syllidae; PA: Paraonidae; CI: Cirratulidae; DO: Dorvilleidae; LU: Lumbrineridae; SA: Sabellidae; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad).

### 6.3.2.2. A nivel de especie

Con los datos correspondientes a la densidad promedio de las especies dominantes y las variables ambientales registradas en cada una de las estaciones en ambos muestreos, se realizó un análisis CCA (Figura 11). El eje 1 explicó el 36.00 % de la varianza, mientras que el eje 2 explicó el 16.70 % para una varianza total extraída de 52.70 %.

A este nivel de resolución taxonómica, puede observarse mejores distribuciones y asociaciones entre las variables y las estaciones de muestreo. De este modo, las estaciones 4 y 5 correspondientes al muestreo de febrero (4F y 5F), se caracterizan por la presencia de *Oligochaeta* sp. 1 y los porcentajes más altos de materia orgánica y lodo. La estación 1 de febrero y las estaciones 1, 3, 4 y 5 de agosto forman un grupo, y se encuentran asociadas a la presencia de *Capitella* sp., *N. procera* y *S. benedicti*. La estación 3 de febrero se localiza en el centro de la gráfica y se encuentra asociada a la presencia de *M. californiensis*, *N. succinea* y *P. steenstrupi*. Por otro lado, la estación 2 de ambos muestreos se encuentra asociada a los porcentajes más altos de grava y a la presencia de *A. catherinae*, *D. longicornis*, *C. ambiseta*, *C. pacífica*, *P. heterobranchia*, *S. tentaculata*, *H. filiformis* y *S. luti*, mientras que la estación 6 de ambos muestreos lo está a los mayores porcentajes de arena y temperaturas del sedimento, y a la presencia de *P. pinnata*, *P. ecaudata*, *E. molesta*, *P. lighti* y *C. mollis*.

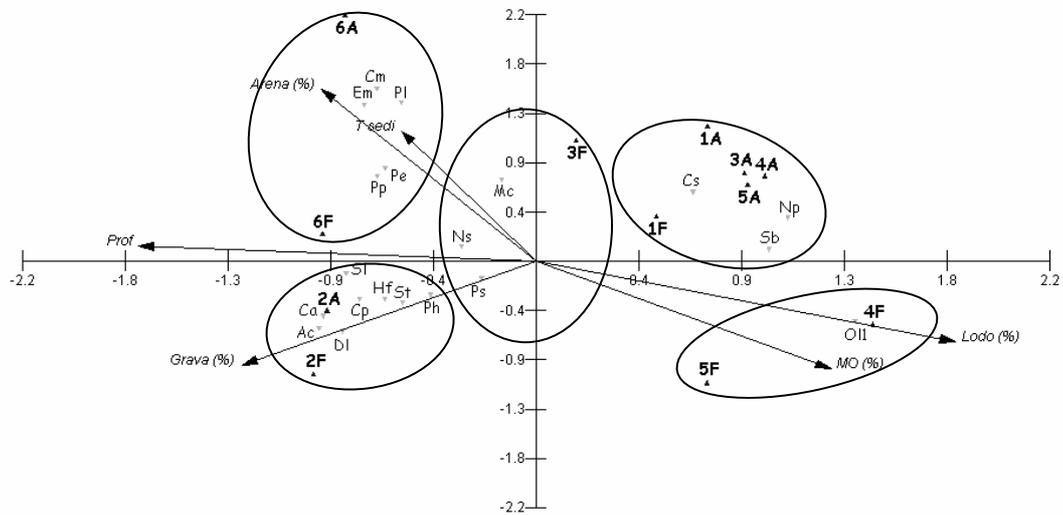


Fig. 11. Representación del análisis CCA con los dos primeros ejes a nivel de especie para febrero y agosto, 2008. (1F- 6F: estaciones de febrero; 1A- 6A: estaciones de agosto; Oll: *Oligochaeta* sp.1; Sb: *Streblospio benedicti*; Np: *Nereis procera*; Cs: *Capitella* sp.; Mc: *Mediomastus californiensis*; Ns: *Neanthes succinea*; Ps: *Prionospio steenstrupi*; Ph: *Prionospio heterobranchia*; St: *Sigambra tentaculata*; Hf: *Heteromastus filiformis*; Cp: *Caulerliella pacifica*; Sl: *Scoletoma luti*; Ca: *Capitita ambiseta*; Ac: *Aricidia catherinae*; Dl: *Dorvillea longicornis*; Pp: *Paraprionospio pinnata*; Pe: *Paradialychone ecaudata*; Pl: *Prionospio lighti*; Em: *Exogone molesta*; Cm: *Chone mollis*; MO (%): porcentaje de materia orgánica; T sedi: temperatura del sedimento; Prof: profundidad).

## 7. DISCUSIÓN

En este estudio se ha analizado la distribución espacial y temporal de las comunidades de anélidos y las variables ambientales relacionadas en un ambiente que se encuentra sujeto a diferentes actividades antropogénicas, con el fin de detectar el efecto que producen estas actividades y establecer las condiciones en las que se encuentra el sistema.

Las corrientes de marea y los escurrimientos continentales, aportan sedimentos al sistema y su distribución está determinada por las corrientes locales (Contreras, 1993). Los sedimentos de las zonas protegidas, o de baja energía, están formados por lodos (i.e., limos y arcillas), mientras que en las zonas menos protegidas, de mayor circulación y, en consecuencia, de alta energía, predominarán las arenas (Barnes, 1980; Contreras, 1993). En este estudio, se registraron sedimentos predominantemente arenosos en la mayoría de las estaciones. En las zonas más profundas (estación 6) predominaron las arenas como resultado de la intensa circulación que existe en las cercanías a la boca de la laguna, la cual corresponde a una zona de alta energía que evita la depositación de sedimentos finos. A su vez, en esta zona existe un importante aporte de sedimentos gruesos por las corrientes marinas. Por el contrario, en las estaciones ubicadas en el sitio de descarga de efluentes urbanos e industriales, se registraron sedimentos predominantemente lodosos como resultado de un aporte de material fino que se produce a través de estas descargas. Estos resultados concuerdan con los de Méndez (2002), Morales-Serna (2006) y Morales-Serna *et al.* (2006) para las estaciones mencionadas anteriormente, mientras que Álvarez-León (1980) señala en su trabajo que en la “Zona Ecológica II” (coincidente con la laguna costera “Estero de Urías”) predominan los sedimentos areno-fangosos con restos de conchas y tubos de poliquetos. Esto indica que existe una cierta constancia en los procesos físicos que conducen al movimiento de los sedimentos dentro del área bajo estudio, con una importante influencia marina en las cercanías de la boca de la laguna.

Ha sido demostrado para el estuario “La Gironde” (sudoeste de Francia) que, en general, el contenido de materia orgánica en sitios no impactados fluctúa entre 0.5 y 5 % (Bachelet, 1976), mientras que los sedimentos que contienen más de 15 % pueden ser considerados propios de áreas típicamente impactadas (López-Jamar, 1981). En este estudio, las concentraciones más elevadas de materia orgánica se encontraron en las estaciones donde los limos o arcillas fueron el componente principal. Esto sucede porque los contaminantes orgánicos (y los metales) se adhieren fácilmente a las partículas más finas de sedimento, debido a que éstas presentan una

mayor relación superficie/volumen y, por lo tanto, más sitios de adhesión (Lamberson *et al.*, 1992) o bien, debido a su estructura, la cual les otorga una mayor capacidad de intercambio catiónico (Horowitz, 1991). Estos resultados coinciden con aquellos encontrados por Méndez (2002), Morales (2006) y Morales *et al.* (2006) para la misma zona, a pesar de que en los dos últimos trabajos se utilizó un método diferente para la determinación del porcentaje de materia orgánica presente en los sedimentos (titulación).

La oxidación de la materia orgánica se encuentra estrechamente ligada a las concentraciones de oxígeno disuelto presentes en la zona. Estas concentraciones, en general, son inferiores a la concentración de saturación en el agua de mar. Sin embargo, la respiración de la mayoría de los invertebrados bentónicos, no parece verse afectada significativamente hasta que el oxígeno alcanza concentraciones bajas (hipoxia), que corresponden a concentraciones iguales o inferiores a 2.8 mg/l (equivalente a 2 ml/l o 91.4 mM) para la mayoría de los invertebrados bentónicos (Herreid, 1980; Rosenberg *et al.*, 1991). La hipoxia es un fenómeno que se ha extendido en aguas marinas estratificadas, probablemente como resultado del incremento de los aportes de nitrógeno y fósforo que favorecen una alta producción de fitoplancton (Rosenberg *et al.*, 1991). En el caso de la laguna costera “Estero de Urías”, este fenómeno puede ser, además, una consecuencia de las actividades antropogénicas que aportan cantidades excesivas de nutrientes y materia orgánica al cuerpo de agua (Chapelle *et al.* 2000; Wu, 2002; Páez-Osuna, 2005). En este estudio, las medidas de la salinidad y el oxígeno disuelto presentes en el agua de fondo sólo se obtuvieron en el muestreo de agosto (época de lluvias, verano), registrándose condiciones de hipoxia en casi todas las estaciones con un valor promedio de oxígeno disuelto de 2.53 mg/l. La menor concentración se encontró en la estación 1 (0.81 mg/l), la cual se encuentra localizada en la zona que recibe las descargas de la granja camaronícola “Don Jorge”, mientras que la mayor se encontró cerca de la boca de la laguna (4.32 mg/l). De esta manera, todos los valores registrados fueron inferiores a 5 mg/l, que es el límite mínimo establecido en los Criterios Ecológicos para la protección de la vida acuática marina en México (Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAP, 2000). Asimismo, estos valores son ligeramente inferiores a los encontrados por Morales-Serna (2006) en agosto para la misma área de estudio, quien registró un valor medio de oxígeno disuelto en el agua de fondo de 4.69 mg/l. A su vez, la menor concentración la registró en la estación 2 (ubicada entre las estaciones 1 y 2 en este estudio), con un valor de 2.20 mg/l, mientras que la mayor fue en las estaciones 9 y 10 (ubicadas sobre el canal

de navegación, al igual que la estación 6 en este estudio), con un valor de 6.28 mg/l. Las diferencias entre ambos estudios pueden deberse a que, en el trabajo de Morales-Serna (2006) se utilizó un método diferente para las determinaciones del oxígeno disuelto presente en el agua de fondo (método de Winkler). Por otro lado, se observó un fuerte gradiente de salinidad, de modo que las salinidades más elevadas y similares a las del agua de mar se encontraron cerca de la boca de la laguna, mientras que las menores salinidades fueron registradas en la parte más interna. Esto concuerda con los resultados presentados por Ochoa-Izaguirre *et al.* (2002) y Morales-Serna (2006), resaltando el comportamiento estuarino que presenta la laguna durante la época de lluvias, como resultado del efecto de dilución que provoca este factor ambiental.

Con respecto a la variación temporal de las variables (biológicas y ambientales) que fueron medidas en ambos muestreos, sólo se detectaron diferencias altamente significativas en la temperatura del sedimento ( $t=-10,731$ ;  $N=12$ ;  $p<0,001$ ) y en la abundancia de los organismos ( $t=267,500$ ,  $N=36$ ,  $p=0,040$ ) registradas en febrero, en relación con las de agosto. La temperatura del sedimento aumentó  $8.96^{\circ}$  C desde febrero ( $21.6^{\circ}$  C) hasta agosto ( $30.56^{\circ}$  C), mientras que la abundancia de los organismos disminuyó en cuatro de las seis estaciones muestreadas durante este periodo. Estos resultados coinciden con aquellos encontrados por Morales-Serna (2006) para la misma área de estudio, quien explica que la disminución de la abundancia de copépodos podría deberse al efecto de las lluvias, el cual provoca una disminución de la salinidad y la resuspensión del sedimento. Por otro lado, si bien los valores más altos de temperatura del sedimento fueron registrados en la estación 3 durante todo el estudio, el mayor valor ( $31.8^{\circ}$  C) fue registrado en agosto (verano) y esto coincidió con la presencia de un bajo número de especies (sólo estuvieron presentes *N. procera* y *S. luti*). Esto podría deberse a que el efecto de las aguas sobrecalentadas que vierte la planta termoeléctrica puede verse incrementado durante los meses de verano, debido al aumento de temperatura natural que se produce en la columna de agua y, por lo tanto, en el sedimento. Con el aumento de la temperatura, la tasa de degradación de la materia orgánica se incrementa y, por lo tanto, crece la tasa de consumo de oxígeno (Pearson y Rosenberg, 1978). Así, esta podría ser la causa de las condiciones de hipoxia y la escasez de macrofauna que fueron encontradas en esta estación en el verano.

En relación con las variables biológicas, el único listado de anélidos poliquetos citado para la laguna costera “Estero de Urías” corresponde a muestreos realizados durante 1997 (Méndez, 2002). En aquel entonces no se tomaron réplicas de muestras biológicas y la literatura

utilizada para la identificación de los organismos consistió en los trabajos de Hartman (1968; 1969), Fauchald (1977), Kudenov (1980) y Hernández-Alcántara (1992). En este estudio, se tomaron tres réplicas en cada una de las estaciones de muestreo y, además de la literatura mencionada anteriormente, se revisó bibliografía más reciente de Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa (2004), Blake y Ruff (2007) y Tovar-Hernández (2007). Esto permitió determinar que, del total de especies encontradas en este estudio (55), 30 no habían sido registradas anteriormente. Siguiendo el orden sistemático propuesto por Blake y Ruff (2007), éstas son: *Lepidonotus squamatus*, *Sthenelais verruculosa*, *Eteone californica*, *Podarkeopsis glabrus*, *Gyptis brunnea*, *Sigambra bassi*, *Odontosyllis phosphorea*, *Exogone molesta*, *Sphaerosyllis californiensis*, *Perinereis monterea*, *Nereis procera*, *Goniada brunnea*, *Glycinde armigera*, *Onuphis elegans*, *Onuphis iridescens*, *Dorvillea longicornis*, *Orbinia johnsoni*, *Prionospio steenstrupi*, *Polydora websteri*, *Paraprionospio pinnata*, *Marenzelleria viridis*, *Magelona berkeley*, *Spiochaetopterus pottsi*, *Caulleriella pacífica*, *Chaetozone senticosa*, *Brada villosa*, *Capitita ambiseta*, *Axiothella rubrocincta*, *Amphicorina gracilis* y *Poecilochaetus johnsoni*. De estas especies, *M. viridis*, *E. molesta* y *S. pottsi* constituyen primeros registros para el Pacífico Oriental Tropical. Asimismo, se determinó que cuatro especies que habían sido citadas anteriormente han sido reconocidas recientemente como sinónimos “junior” de otras especies: *Glycera macrobranchia* (antes *Glycera convoluta*), *Scoletoma luti* (antes *Lumbrineris tetraura*), *Aricidea catherinae* (antes *Aricidea neosuecica*) y *Prionospio lighti* (antes *Prionospio cirrifera*). Además *Chone ecaudata* ha sido transferida al género *Paradialychone* (*P. ecaudata*).

En este trabajo, los datos biológicos indican la presencia de un mayor número de especies en las zonas que se encuentran rodeadas por bosque de mangle y cerca de la boca de la laguna (estaciones 2 y 6, respectivamente), las cuales, de acuerdo con los antecedentes, han sido consideradas en este estudio como zonas aparentemente limpias o no perturbadas. Por el contrario, los valores más bajos fueron registrados en la estación 5, es decir la que coincide con el sitio de descarga del estero “El Infiernillo”, el cual arrastra parte de las aguas residuales que se generan en la ciudad de Mazatlán. Asimismo, en esta estación fue registrado el valor más alto de materia orgánica (15.2 %) y entre los más bajos de densidad (242 ind/m<sup>2</sup>), riqueza específica (2), diversidad (0.2), equitatividad (0.29) y biomasa (0.013 g/m<sup>2</sup>) (promedio de tres réplicas). Esto podría deberse a que, en las zonas enriquecidas orgánicamente, generalmente habita un número reducido de especies, las cuales se caracterizan por presentar tallas pequeñas, reproducirse

rápidamente y desarrollar ciclos de vida cortos (r-estrategas) (Pearson y Rosenberg, 1978; Tsutsumi, 1990). Asimismo, esto explica la alta dominancia que presentó esta estación (0.89), la cual está bajo la fuerte influencia de la presencia de un número muy elevado de oligoquetos (en especial en el muestreo de febrero). Estos organismos, en general, se encuentran asociados a sedimentos enriquecidos orgánicamente (Arimoro *et al.*, 2007; Gamito, 2008), debido a que estos sedimentos presentan una cobertura de bacterias y hongos provenientes de los desechos que constituyen su principal fuente de alimento (Rueda *et al.*, 2003). Esto último también fue registrado en la estación 4 (zona de descarga del rastro municipal y fábrica procesadora de pescado) la cual, a su vez, presentó elevados porcentajes de materia orgánica en los sedimentos (12.5 % en febrero y 12.9 % en agosto). Sin embargo, los valores de biomasa de los organismos entre estas estaciones fueron significativamente diferentes ( $p < 0.001$  en febrero y  $p < 0.05$  en agosto). La estación 4 presentó los valores más altos de biomasa (21.0 y 11.5  $\text{g/m}^2$  en febrero y agosto, respectivamente), mientras que la estación 5 presentó los más bajos (1.0 y 0.2  $\text{g/m}^2$  en febrero y agosto, respectivamente). Estas características podrían indicar que las estaciones 4 y 5 presentan diferentes condiciones de impacto como resultado de un mayor enriquecimiento orgánico en la estación 5 que en la 4, lo cual la hace menos apta para la supervivencia de los organismos (incluso de las especies oportunistas). Considerando estos resultados, se acepta la primera hipótesis de este trabajo (i.e., la distribución espacial y temporal de las especies de anélidos refleja el efecto producido por el enriquecimiento orgánico en la laguna costera “Estero de Urías”). Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio permiten caracterizar la zona en relación con las perturbaciones orgánicas, producidas por las actividades antropogénicas que se desarrollan en la laguna costera.

Con el fin de resolver la segunda hipótesis de este trabajo, se han presentado resultados realizados a distintos niveles taxonómicos. Roach *et al.* (2001) indican que la resolución taxonómica a niveles superiores puede ser usada para describir variaciones espaciales en la estructura de las comunidades bentónicas. Por su parte, Thomson *et al.* (2003) encontraron que el usar un tamiz de 1.0 mm e identificar la fauna a nivel de familia, resulta más rentable en el monitoreo de sedimentos marinos. Dichos criterios han sido propuestos con el fin de reducir costos y esfuerzo, y deben considerarse según los objetivos que se persigan en el estudio. Los resultados de porcentajes de dominancia por taxón y del CCA obtenidos en este trabajo a nivel de familia, resaltan la necesidad de alcanzar un mayor nivel de resolución taxonómica en las

muestras de anélidos, con el fin de conocer la distribución de las variables ambientales y biológicas en relación con los sitios estudiados. Por el contrario, los resultados del análisis de conglomerados (CLUSTER) obtenidos a nivel de familia fueron similares a aquellos obtenidos a nivel de especie, lo cual indica que si sólo se consideran las variables biológicas (i.e., abundancia o densidad promedio de los organismos presentes en cada una de las estaciones) para determinar la asociación entre los sitios estudiados, en este caso no se perdería información sustancial si los análisis se hicieran a nivel de familia en lugar de hacerse a nivel de especie. Esto conduciría a una reducción de costos asociados al tiempo invertido en la separación e identificación de los organismos a un nivel taxonómico mayor, lo cual permite también que la capacitación del personal se realice en una menor cantidad de tiempo. A su vez, el riesgo de cometer errores en la identificación es menor (véase Warwick, 1998; Ferraro y Cole, 1995; Chapman, 1998; Baldó *et al.*, 1999; Olsgard y Somerfield, 2000; Dauvin *et al.*, 2003). Por el contrario, el análisis de CCA realizado con las variables ambientales y biológicas a nivel de familia, mostró diferencias importantes con respecto al realizado a nivel de especie. Por lo tanto, si el objetivo del estudio es, además, conocer cómo influyen las variables ambientales en la distribución de los organismos en cada uno de los sitios estudiados, es recomendable utilizar los datos biológicos a nivel de especie, con lo cual se acepta la segunda hipótesis de este trabajo (i.e., existen diferencias en la respuesta de la comunidad de anélidos a procesos de enriquecimiento orgánico según el nivel de resolución taxonómica alcanzado en la identificación de los organismos).

Los análisis faunísticos (a nivel específico) y ambientales realizados en este trabajo, sugieren la presencia de zonas con diferentes grados de perturbación:

- ❖ **Zona no perturbada.** Ubicada cerca de la boca de la laguna costera (estación 6), presentó valores bajos de materia orgánica (1.9 y 4.0 %), los valores más altos de diversidad (2.2 y 2.3) y riqueza específica (13 y 18), los más bajos de dominancia (0.1) e intermedios de biomasa (4.8 y 5.9 g/m<sup>2</sup>). Estas características indican que en esta zona es notable la influencia marina como resultado de la intensa circulación que existe en las cercanías de la boca de la laguna. De esta manera, a pesar de tratarse de una zona con un importante tráfico de embarcaciones, se han encontrado condiciones ambientales favorables para la supervivencia de los anélidos y, seguramente, de otros grupos con requerimientos ambientales similares.

- ❖ **Zona ligeramente perturbada.** Existen dos zonas con estas características: una está ubicada en el sitio de descarga de la granja camaronícola “Don Jorge” (estación 1), mientras que la otra está rodeada por bosque de mangle (estación 2). Estas zonas presentaron valores intermedios de materia orgánica (1.2 y 10.9 %), altos de diversidad (1.5 y 1.9), riqueza específica (6 y 17) y biomasa (11.3 y 12.8 g/m<sup>2</sup>) y bajos de dominancia (0.2 y 0.2). En este estudio originalmente, la estación 2 fue considerada como una zona aparentemente limpia o no perturbada. Sin embargo, los resultados muestran la presencia de fuentes de enriquecimiento orgánico que no habían sido consideradas durante el diseño experimental. Actualmente, se conoce la existencia de granjas camaronícolas que descargan en las cercanías de esta estación (e.g., “Crustáceos de El Castillo S.A. de C.V.”, “Raúl Cárdenas Velarde”) (Tovar-Hernández, com.per.), las cuales podrían ser las responsables de los valores de materia orgánica que fueron registrados en esta zona.
  
- ❖ **Zona temporalmente perturbada.** Ubicada en el sitio de descarga de la planta termoeléctrica “José Aceves Pozos” (estación 3), presentó valores intermedios de materia orgánica (2.3 y 8.1 %). Sin embargo, en el muestreo de agosto presentó el valor más bajo de diversidad (0.0) y riqueza específica (1) y entre los valores más altos de dominancia (0.7), mientras que en febrero estos valores fueron 1.6, 9 y 0.3, respectivamente. Asimismo, esta zona presentó las temperaturas del sedimento más altas durante todo el estudio y su efecto se vio incrementado en agosto. Por estos motivos, esta zona fue clasificada como “temporalmente perturbada”.
  
- ❖ **Zona perturbada.** Ubicada en el sitio de descarga del rastro municipal y fábrica procesadora de pescado (estación 4), esta zona presentó valores altos de materia orgánica (12.5 y 12.9 %) y biomasa (11.5 y 21.0 g/m<sup>2</sup>) y valores de diversidad (1.1 y 1.4), riqueza específica (6 y 8) y dominancia (0.3 y 0.5) intermedios. Asimismo, en esta zona predominaron (en orden decreciente de dominancia): *Oligochaeta* sp. 1, *O. puerilis*, *N. procera*, *S. benedicti*, *Capitella* sp. y *Oligochaeta* sp. 3.

- ❖ **Zona muy perturbada.** Ubicada en el sitio de desembocadura del estero “El Infiernillo” (estación 5), presentó los valores más altos de materia orgánica (15.2 %) y dominancia (0.9), y bajos de diversidad (0.2 y 0.3), riqueza específica (2) y biomasa (0.2 y 1.0 g/m<sup>2</sup>). Asimismo, en esta zona predominaron (en orden decreciente de dominancia): *Oligochaeta* sp. 2, *N. procera*, *Oligochaeta* sp. 1, *P. pinnata* y *C. pacífica*.

Como se mencionó anteriormente, el único estudio previo de anélidos que se ha realizado en la laguna costera “Estero de Urías” corresponde a Méndez (2002) con muestreos realizados durante 1997 (i.e., once años antes de este estudio). Esta autora encontró que la estación correspondiente al sitio de descarga del rastro municipal y de la fábrica procesadora de pescado (estación 4 en este estudio) se caracterizó por una ausencia completa de macrofauna y los valores más altos de materia orgánica (11.5 %) y, por lo tanto, fue categorizada como una zona muy contaminada. En este estudio, esta estación presentó condiciones intermedias de impacto, con valores altos de materia orgánica pero con diversidad, riqueza y dominancia intermedias. Por lo tanto, fue categorizada como una zona perturbada, la cual es equivalente al “Fondo contaminado”, “Zona perturbada” y “Máximo de especies oportunistas” propuestos por Reish (1959), Bellan (1967a, b) y Pearson y Rosenberg (1978), respectivamente. Por otro lado, las estaciones correspondientes al sitio de descarga de la planta termoeléctrica y el estero “El Infiernillo” (estaciones 3 y 5, respectivamente) fueron categorizadas como zonas contaminadas por Méndez (2002). En su estudio, estas estaciones presentaron valores intermedios de materia orgánica (8.33 y 10.95 %) y estuvieron caracterizadas por la presencia esporádica de oligoquetos en la desembocadura de “El Infiernillo” y dominancia de *Capitella* sp. en el sitio de descarga de la planta termoeléctrica. En este trabajo, la estación 3 presentó valores de materia orgánica ligeramente inferiores a los registrados por Méndez (2002); sin embargo, durante todo el estudio, se registraron los valores más altos de temperatura del sedimento, así como también entre los valores más altos de dominancia, y los más bajos de diversidad y riqueza específica, durante el muestreo de agosto (verano). Por lo tanto, fue categorizada como una zona temporalmente perturbada. Asimismo, en esta estación se registró una alta dominancia de *Capitella* sp. pero sólo durante el muestreo de febrero. Por otro lado, en este trabajo, la estación 5 presentó los valores más altos de materia orgánica (15.22 %) y dominancia, y los más bajos de diversidad y riqueza específica. Por lo tanto, fue categorizada como una zona muy perturbada, la cual, además,

presentó entre los valores más bajos de densidad de organismos durante todo el estudio y como se mencionó anteriormente, el mayor enriquecimiento orgánico. De esta manera, se podría decir que esta zona es equivalente al “Fondo muy contaminado”, “Zona de contaminación máxima” y “Zona azoica” propuestos por Reish (1959), Bellan (1967a, b) y Pearson y Rosenberg (1978), respectivamente pero con condiciones ligeramente menores de impacto. En particular, en ambos estudios, en esta estación se encontraron oligoquetos los cuales, en general se encuentran en sitios enriquecidos orgánicamente (Arimoro *et al.*, 2007; Gamito, 2008). Esto podría deberse a que la mayoría de los oligoquetos obtienen nutrientes a través de la ingestión de ciertas cantidades de sustrato que presentan componentes orgánicos (Hellawell, 1986). Por otro lado, Méndez (2002) categorizó a las estaciones correspondientes al sitio de descarga de la granja camaronícola “Don Jorge” (antes denominada “Clementina”) y las zonas que se encuentran rodeadas por bosque de mangle (estaciones 1 y 2 en este estudio) como zona contaminada y no contaminada, respectivamente. Asimismo, esta autora encontró una alta dominancia de *S. benedicti* y oligoquetos en la zona de descarga de la granja. En este estudio, estas estaciones fueron categorizadas como zonas ligeramente perturbadas, debido a que presentaron valores intermedios de materia orgánica pero altos de diversidad y riqueza específica, y bajos de dominancia. Por lo tanto, si bien *S. benedicti* y los oligoquetos estuvieron presentes en el sitio de descarga de la granja, sus valores de dominancia no fueron elevados y, por lo tanto, no predominaron en esta estación como lo hicieron en el trabajo de Méndez (2002). Por último, en ambos estudios, la zona que se encuentra cerca de la boca de la laguna costera (estación 6 en este trabajo), fue categorizada como una zona no perturbada, debido a que presentó valores bajos de materia orgánica, los valores más altos de diversidad y riqueza específica, y los más bajos de dominancia. De esta manera, esta zona sería equivalente al “Fondo saludable”, “Zona Normal” y “Comunidad normal” propuestos por Reish (1959), Bellan (1967a, b), y Pearson y Rosenberg (1978), respectivamente.

Otros autores han caracterizado la laguna costera “Estero de Urías” a través del estudio de los cambios cualitativos de macroalgas (Ochoa-Izaguirre *et al.*, 2002), la variación espacial y temporal en la composición taxonómica y riqueza de especies de copépodos bentónicos durante 2001 y 2002 (Morales-Serna *et al.*, 2006), y la variación espacial y temporal de la densidad y diversidad de los copépodos bentónicos durante 2005 (Morales-Serna, 2006). En términos generales, el patrón de distribución de las diferentes comunidades se ha mantenido constante a lo

largo del tiempo (especialmente en las zonas más afectadas por las actividades que se desarrollan en la laguna).

La zona no perturbada (estación 6) es equivalente a la zona de transición entre los ambientes marino y estuarino propuesta por Ochoa-Izaguirre *et al.* (2002). En esta zona, Morales-Serna *et al.* (2006) encontraron sedimentos arenosos con bajos valores de materia orgánica, densidad y riqueza específica; mientras que, posteriormente, Morales-Serna (2006) encontró sedimentos con características similares, diversidad alta y no dominancia de especies en el canal de navegación, mientras que en la boca de la laguna, la diversidad fue menor. Por lo tanto, esta área de la laguna fue clasificada como una zona poco contaminada por este último autor.

La zona ligeramente perturbada (estaciones 1 y 2) es equivalente a la zona influenciada por las aguas residuales provenientes de la granja camaronícola “Don Jorge” y por el bosque de mangle propuesta por Ochoa-Izaguirre *et al.* (2002). Por otro lado, Morales-Serna *et al.* (2006) encontraron sedimentos arenosos con valores bajos de materia orgánica y valores altos de densidad y riqueza específica; mientras que Morales-Serna (2006) encontró sedimentos arenolimosos con una baja diversidad y dominancia de unas pocas especies, clasificando esta zona como contaminada.

La zona temporalmente perturbada (estación 3) fue descrita como una zona muy influenciada por las aguas residuales provenientes de la planta termoeléctrica “José Aceves Pozos” por Ochoa-Izaguirre *et al.* (2002). Por otro lado, Morales-Serna *et al.* (2006) encontraron sedimentos arenosos con bajos valores de materia orgánica. Sin embargo, en agosto se registró el valor más alto de densidad de copépodos pero con una riqueza específica muy baja (solo 2 especies); mientras que Morales-Serna (2006) encontró sedimentos arenolimosos con concentraciones intermedias de carbono orgánico, alta diversidad y sin dominancia de especies, con lo cual clasificó esta zona como poco contaminada.

La zona perturbada (estación 4) presentó sedimentos lodosos con valores altos de materia orgánica y bajos de densidad de copépodos, diversidad y riqueza específica en los estudios de Morales-Serna *et al.* (2006) y Morales-Serna (2006). Por lo tanto fue clasificada como una zona muy contaminada por el último autor. Por el contrario, en este estudio, allí se registraron entre los valores más altos de densidad de anélidos en febrero (27364 ind/m<sup>2</sup>). Esto podría deberse a que los poliquetos son indicadores positivos (altas densidades en sitios enriquecidos orgánicamente)

(Méndez, 2002), mientras que los copépodos son indicadores negativos (inversa) (Lee y Correa, 2005).

La zona muy perturbada (estación 5) es equivalente a la zona muy influenciada por las aguas residuales urbanas, ubicada en el sitio de descarga del estero “El Infiernillo” propuesta por Ochoa-Izaguirre *et al.* (2002). Por otro lado, Morales-Serna *et al.* (2006) y Morales-Serna (2006) encontraron sedimentos lodosos con valores altos de materia orgánica y bajos de densidad de copépodos, diversidad y riqueza específica, con lo cual, esta zona fue clasificada como muy contaminada por el último autor.

En este trabajo se pretendió detectar el efecto que producen las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan en la laguna costera “Estero de Urías”, así como las condiciones en las que se encuentra el sistema. Dada la complejidad e interacción de los factores ambientales y biológicos que fueron reconocidos en este trabajo, se recomienda la continuación de los muestreos en los meses de mayo y octubre de 2008 (nos encontramos actualmente en el procesamiento de las muestras), lo cual permitirá el cierre de un ciclo anual completo con lo que se podrá analizar y concluir con mayores argumentos, sobre las variaciones encontradas en la comunidad de anélidos a lo largo del año.

## 8. CONCLUSIONES

❖ *Marenzelleria viridis*, *Exogone molesta* y *Spiochaetopterus pottsi* constituyen unos primeros registros para el Pacífico Oriental Tropical.

❖ Las comunidades de anélidos variaron consistentemente con la existencia de un efecto antropogénico en las estaciones correspondientes a la desembocadura del estero “El Infiernillo” y en los sitios de descarga del rastro municipal y de la fábrica procesadora de pescado y cerca de la planta termoeléctrica. Esta variación se asoció a zonas afectadas por procesos de enriquecimiento orgánico, generadores de procesos de eutrofización (estaciones 4 y 5) y sobrecalentamiento de aguas (estación 3). Las condiciones de estas estaciones se han mantenido constantes a lo largo del tiempo.

❖ Se confirma la validez de los métodos multivariados para un análisis integral de la evolución de hábitats perturbados. En particular, se recomienda utilizar los datos obtenidos a nivel taxonómico de especie para los estudios de impacto ambiental.

❖ Se recomienda realizar monitoreos estacionales que permitirán conocer en profundidad la dinámica espacial y temporal de estos organismos, y su interacción con los sedimentos y los contaminantes, lo cual brindará una herramienta de gestión importante y permanente para la laguna costera “Estero de Urías”.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aller, R. C. (1982). The effects on macrozoobenthos on chemical properties of marine sediments and overlying waters. En: McCall, P.L. y M.J.S. Tevesz (Eds.), *Animal-sediment relations: the biogenic alteration of sediments*. 53-102. New York: Plenum Press. New York.
- Alongi, D. M. (1998). *Coastal Ecosystem Process*. CRC Press, Boca Raton. 419 pp.
- Álvarez-León, R. (1977). Estudio hidrobiológico de los Esteros del Astillero, Urías y La Sirena, adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 131 pp.
- Álvarez-León, R. (1980). Necton y bentos de tres esteros adyacentes a Mazatlán (Sin.) México. *Rev. Biol. Trop.* **28** (2): 237-262.
- Arimoro, F. O., R. B. Ikomi y M. A. Chuckwujindu (2007). Ecology and abundance of oligochaetes as indicators of organic pollution in an urban stream in Southern Nigeria. *Pak. J. Biol. Sci.* **10** (3): 446-453.
- Aston, R. J. (1973). Tubificids and water quality: a review. *Environ. Pollut.* **5**: 1-10.
- Aubriot, L., D. Conde, S. Bonilla, V. Hein y A. Britos (2005). Vulnerabilidad de una laguna costera en una Reserva de Biosfera: indicios recientes de eutrofización. En: Vila, I. y J. Pizarro (Eds.), *Taller Internacional de eutrofización de lagos y embalses*. 65-85. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) XVIIIB. Patagonia Impresores, Santiago, Chile.
- Bachelet, G. (1976). Dynamique de la macrofaune benthique et production des Lamellibranches de l'estuaire de la Gironde. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Université de Paris VI. 163 pp.
- Baldó, F., S. F. García-Martín, P. Drake y A. M. Arias (1999). Discrimination between disturbed coastal ecosystems by using macrobenthos at different taxonomic levels. *Bol. Inst. Esp. Ocean.* **15**: 489-493.
- Barnes, R. S. K. (1980). *Coastal lagoons, the natural history of neglected habitat*. Cambridge University Press. Cambridge. 106 pp.
- Bellan, G. (1967a). Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de

- Marseille. Première Partie. Le Secteur de Cortiou. Rev. Int. Océanogr. Méd. VI-VII: 53-87.
- Bellan, G. (1967b). Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Deuxième Partie. L' ensemble portuaire marseillais. Rev. Int. Océanogr. Méd. VIII: 51-95.
- Billen, G. (1978). A budget of nitrogen recycling in North Sea sediments off the Belgian coast. Est. Coast. Mar. Sci. 7: 127-146.
- Blake, J. A. y E. R. Ruff (2007). Polychaeta. En: Carlton, T. J. (Ed.), Intertidal invertebrates from California to Oregon. . 309-410. University of California Press. Los Angeles, California. University of California Press, Ltd. London, England.
- Bouchard, R. W., D. Huggins y J. Kris (2005). A review of the issues related to taxonomic resolution in biological monitoring of aquatic ecosystems with emphasis on macroinvertebrates. Kansas Biological Survey Technical Report 133. Lawrence, Kansas. 38 pp.
- Brinkhurst, R. O. y B. G. M. Jamieson (1971). Aquatic oligochaeta of the world. University of Toronto Press. Toronto. Oliver and Boyd, Edinburgh. 860 pp.
- Brown, B. (1991). Biomass of deep sea benthic communities: polychaetes and other invertebrates. Bull. Mar. Sci. 48 (2): 401-411.
- Convención de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar (1982). 223 pp.
- Chalar, G. y J. Clemente (2005). Tasa de resuspensión de fósforo y sedimentos en un cuerpo de agua muy somero (Laguna de Rocha, Uruguay). En: Vila, I. y J. Pizarro (Eds.), Tercer Taller Internacional de Eutrofización de Lagos y Embalses. 89-106. CYTED. Patagonia Impresores, Santiago, Chile.
- Chapelle, A., A. Ménesguen, J. M. Deslous-Paoli, P. Souchu, N. Mazouni, A. Vaquer y B. Millet (2000). Modelling nitrogen, primary production and oxygen in a Mediterranean lagoon. Impact of oyster farming and inputs from watershed. Ecol. Model. 127: 161-181.
- Chapman, M. G. (1998). Relationships between spatial patterns of benthic assemblages in a mangrove forest using different levels of taxonomic resolution. Mar. Ecol. Prog. Ser. 162:

71-78.

- Clark, J. R. (1998). Coastal seas. The conservation challenge. Blackwell Science, Oxford, 134 pp.
- Clarke, K. R. y R. M. Warwick (1994). Change in Marine Communities. Plymouth Marine Laboratory. Plymouth. 144 pp.
- Cloern, J. E. (1987). Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Cont. She. Res.* **7**: 1367-1381.
- Contreras, F. (1993). Ecosistemas costeros mexicanos. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México. D. F. 145 pp.
- Cuadrado, S. y E. Martínez-Ansemil (2001). External structures used during attachment and sperm transfer in tubificids (Annelida, Oligochaeta). *Hydrobiologia* **463**: 107–113.
- Dauer, D. D. y R. M. Ewing (1991). Functional morphology and feeding behaviour of *Malacoceros indicus* (Polychaeta: Spionidae). *Bull. Mar. Sci.* **48**: 395-400.
- Dauvin, J. C., J. L. Gomez-Gesteira y M. Salvande-Fraga (2003). Taxonomic sufficiency: an overview of its use in the monitoring of sublittoral benthic communities after oil spills. *Mar. Poll. Bull.* **46**: 552-555.
- Dean, W. E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss of ignition: comparison with other methods. *J. Sed. Petrol.* **44**: 242-248.
- De La Lanza, G. (1986). Materia orgánica de los sedimentos del sistema lagunar Huitzache y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.* **13**: 251-286.
- DelValls, T. A., M. Conradi, E. García-Adiego, J. M. Forja y A. Gómez-Parra (1998). Analysis of macrobenthic community structure in relation to different environmental sources of contamination in two littoral ecosystems from the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Hydrobiologia* **385**: 59-70.
- Fauchald, K. (1977). The polychaete worms. Definitions and keys to orders, families and genera. *Nat. Hist. Mus. Los Angeles Country. Sci. Ser.* **28**: 188 pp.

- Fauchald, K. y P. A. Jumars (1979). The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* **17**: 193-284.
- Ferraro, S. P. y F. A. Cole (1995). Taxonomic level sufficient for assessing pollution impacts on the southern California Bight macrobenthos-revisited. *Environ. Toxicol. Chem.* **14**: 1031-1040.
- Field, J. G., K. R. Clarke y R. M. Warwick (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **8**: 37-52.
- Folk, R. L. (1965). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphills Publications Company, Austin. 170 pp.
- Galindo-Reyes, J. G. (1986). Contaminación por hidrocarburos de petróleo en el estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. *Cienc. Mar.* **8**: 38-43.
- Gamito, S., J. Gilabert, C. Marcos y A. Pérez-Ruzafa (2005). Effects of changing environmental conditions on lagoon ecology. En: Gönenç, I. E. y J. Wofflin (Eds.), *Coastal Lagoons. Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development*. CRC Press., Boca Raton.
- Gamito, S. (2008). Three main stressors acting on the Ria Formosa lagoonal system (Southern Portugal): physical stress, organic matter pollution and the land-ocean gradient. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **77**: 710-720.
- Giere, O. y O. Pfannkuche (1982). Biology and ecology of marine Oligochaeta, a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* **20**: 173-308.
- Hartman, O. (1968). *Atlas of errantiate polychaetous annelids from California*. Allan Hancock Foundation. University of Southern California, Los Angeles. 828 pp.
- Hartman, O. (1969). *Atlas of sedentariate polychaetous annelids from California*. Allan Hancock Foundation. University of Southern California, Los Angeles. 812 pp.
- Hellawell, J. M. (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier New York, 546 pp.
- Hernández-Alcántara, P. (1992). Los poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la plataforma continental del Golfo de California, México. Taxonomía, abundancia numérica y distribución geográfica. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 427 pp.
- Herreid, C. F. (1980). Hypoxia in invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.* **67**: 311-320.

- Hily, C., H. Le Bris, S. Majeed y M. Glémarec (1986). Surcharge du milieu côtier en matière organique. Actes du 1er Colloque d'Océanologie Côtière. Bordomer 85 Bodeaux: 214-228.
- Hobson, K. D. y K. Banse (1981). Sedentariate and archiannelid polychaetes of British Columbia and Washington. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. **209**: 1-144.
- Horowitz, A. J. (1991). A primer on sediment-trace element chemistry. Lewis publishers. Second edition. Chelsea. 136 pp.
- Hutchings, P.A. (1998). Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments. Biodivers. Conserv. **7**: 1133-1145.
- Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAP (2000). La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México. 407 pp.
- Jacoby, C. A., B. G. Wallner, S. K. Langtry y P. A. Hutchings (1995). Deepwater fauna and flora. En: Cho, G., A. Georges, R. Stoutjesdik y R. Longmore (Eds.), Jervis Bay A place of cultural, scientific and educational value. Koowari **5**: 157-162.
- Khan, S. A. (2006). Is species level identification essential for environmental impact studies? Curr. Sci. **91** (1): 29-34.
- Kjerfve, B. (1994). Coastal lagoons process. Elsevier Oceanogr. Ser., 60, Elsevier Science Publishers. 577 pp.
- Kristensen, E. (1988). Benthic fauna and biogeochemical processes in marine sediments: microbial activities and fluxes. En: Blackburn, T. H. y J. Sorensen (Eds.), Nitrogen in coastal marine environments. 276-299. London: Wiley y Sons. London.
- Kristensen, E., F. O. Andersen y T. H. Blackburn (1992). Effects of benthic macrofauna and temperature on degradation on macroalgal detritus: the fate of organic carbon. Limnol. Oceanogr. **37**: 1404-1419.
- Kudenov, J. (1980). Annelida: polychaeta (bristleworms). En: Brusca, R. C. (Ed.), Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. 77-123. The University of Arizona Press, Tucson.
- Lamberson, J. O., T. H. DeWitt y R. C. Swartz (1992). Assesment of sediment toxicity to marine benthos. En: Burton, G. A. (Ed.), Sediment toxicity assessment. 183-211. Lewis Publishers, Inc., Chelsea.
- Lardicci, C. y F. Rossi (1998). Detection of stress on macrozoobenthos: evaluation of some

- methods in a coastal Mediterranean lagoon. *Mar. Environ. Res.* **45**: 367-386.
- Lasserre, P. (1975). Clitellata. En: Giese, A. C y J. S. Pearse (Eds.), *Reproduction of marine invertebrates*. 215–275. Annelids and echiurans. Academic Press, New York.
- Lee, M. R. y J. A. Correa (2005). Effects of copper mine tailings disposal on littoral meiofaunal assemblages in the Atacama region of northern Chile. *Mar. Environ. Res.* **59**: 1-18.
- Levin, L. (1982). Interference interactions among tube-dwelling polychaetes in a dense infaunal assemblage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **65**: 107-119.
- Lopez, G. y J. Levinton (1987). Ecology of deposit-feeding animals in marine sediments. *Q. Rev. Biol.* **62**: 235-260.
- López-Jamar, E. (1981). Spatial distribution of the infaunal benthic communities of the Ria de Muros, North-West Spain. *Mar. Biol.* **63**: 29-37.
- Margalef, R. (1968). *Perspectives in Ecological Theory*. University of Chicago Press, Chicago. 111 pp.
- Maurer, D. (2000). The dark side of taxonomic sufficiency (TS). *Mar. Poll. Bull.* **40**: 98-101.
- Méndez, N. (2002). Annelid assemblages in soft bottoms subjected to human impact in the Urías estuary (Sinaloa, México). *Oceanol. Acta* **25**: 139-147.
- Montaño-Ley, Y. (1985). Estudio del transporte litoral de arenas en Isla de la Piedra, Mazatlán, Sin., usando trazadores fluorescentes. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* **12**: 15-32.
- Montaño-Ley, Y., F. Páez-Osuna y R. Peraza-Vizcarra (2000). Suspended and bed load sediment transport through a coastal lagoon entrance in Mazatlán, Sinaloa, Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambient.* **16**: 27-36.
- Morales-Serna, F. N. (2006). Variación espacial y temporal de la densidad y diversidad de los copépodos bentónicos en el estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 96 pp.
- Morales-Serna, F. N., S. Gómez y I. M. Bustos Hernández (2006). Spatial and temporal variation of taxonomic composition and species richness of benthic copepods (Cyclopoida and Harpacticoida) along a polluted coastal system from north-western Mexico during two contrasting months. En: Hendrickx, M. E. (Ed.), *Contribuciones al estudio de los Crustáceos del Pacífico Este*. 41-59. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,

Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ochoa-Izaguirre, M. J., J. L. Carballo y F. Paéz-Osuna (2002). Qualitative changes in macroalgal assemblages under two contrasting climatic conditions in a subtropical estuary. *Bot. Mar.* **45**: 130-138.
- Olsgard, F. y P. J. Somerfield (2000). Surrogates in marine benthic investigations-which taxonomic unit to target? *J. Aquat. Ecosyst. Stress Recovery* **7**: 25-42.
- Olsgard, F., P. J. Somerfield y M. R. Carr (1997). Relationships between taxonomic resolution and data transformations in analyses of macrobenthic community along an established pollution gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **149**: 173-181.
- Olsgard, F., P. J. Somerfield y M. R. Carr (1998). Relationships between taxonomic resolution, macrobenthic community patterns and disturbance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **172**: 25-36.
- Omodeo, P. (1998). History of Clitellata. *Ital. J. Zool.* **65**: 51-73.
- Páez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Rev. Lat. Rec. Nat.* **1**: 21-31.
- Páez-Ozuna, F., Y. Montaña-Ley y H. Bojorquez-Leyva (1990). Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del Puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes. *Rev. Int. Contam. Ambient.* **6**: 19-32.
- Páez-Osuna, F. y A. C. Ruíz-Fernández (2001). La calidad del agua en la camaronicultura: concepto, manejo y normatividad. En: Páez-Osuna, F. (Ed.), *Camaronicultura y medio ambiente*. 101-134. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Programa Universitario de Alimentos, El Colegio de Sinaloa, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pearson, T. H. y R. Rosenberg (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. A. Rev.* **16**: 229-311.
- Picard, J. (1965). Recherches qualitatives sur les biocénoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise. *Rec. trav. stn. mar. Endoume Fac. Sci. Mars.* **36**: 1-60.
- Pielou, E. U. (1969). *An introduction to mathematical ecology*. Wiley, New York. 125 pp.
- Ramírez-Zavala, R. J. (1998). Estimación de las tendencias de cambio ambiental en el estero de Urías, Sinaloa, México por medio de un análisis multitemporal (1973-1997) con imágenes LANDSAT. Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Mazatlán. 85 pp.

- Reish, D. J. (1959). An ecological study of pollution in Los Angeles-Long Beach Harbours, California. Allan Hancock Found. Publ., Occ. Paper **22**: 1-77.
- Reish, D. J. (1980). Use of polychaetous annelids as test organisms for marine bioassays experiments. En: A. L. Buikema, Jr. y J. Cairns Jr. (Eds.), Aquatic invertebrate bioassays. ASTM STP. 140-154. Philadelphia, Pennsylvania. American Society for Testing and Materials.
- Rhoads, D. C. y L. F. Boyer (1982). The effects of marine benthos on physical properties of sediments. A successional perspective. In: McCall, P. L. y M. J. S. Tevesz (Eds.), Animal-sediment relations. 3-52. Yale, Plenum Publ. Corporation. Yale.
- Roach, A. C., A. R. Jones y A. Murray (2001). Using benthic recruitment to assess the significance of contaminated sediments: the influence of taxonomic resolution. Environ. Pollut. **112**: 131-143.
- Rosenberg, R. (1972). Benthic faunal recovery in a Swedish fjord following the closure of a sulphite pulp mill. Oikos **23**: 92-108.
- Rosenberg, R., B. Hellman y B. Johansson (1991). Hypoxic tolerance of marine benthic fauna. Mar. Ecol. Prog. Ser. **79**: 127-131.
- Rouse, G. W. y K. Fitzhugh (1994). Broadcasting fables: is external fertilization really primitive? Sex, size and larvae in sabellid polychaetes. Zool. Scr. **23**: 271-312.
- Rueda, J., A. Camacho, F. Mezquita, R. Hernández y J. R. Roca (2003). Effect of episodic and regular sewage discharges on the water chemistry and macroinvertebrate fauna of a mediterranean stream. Water Air Soil Pollut. **140**: 425-444.
- Salazar-Vallejo S. I. y M. H. Londoño-Mesa (2004). Lista de especies y bibliografía de poliquetos (Polychaeta) del Pacífico Oriental Tropical. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología **75**: 9-97.
- Salazar-Vallejo, S. I., N. E. González y E. Schwindt (2008). Taxonomía de invertebrados marinos: necesidades en Latinoamérica. Interciencia **33**: 510-517.
- Salgado-Barragán, J., N. Méndez y A. Toledano-Granados (2004). *Ficopomatus miamiensis* (Polychaeta: Serpulidae) and *Styela canopus* (Ascidacea: Styelidae), non-native species in Urías estuary, SE Gulf of California, Mexico. Cah. Biol. Mar. **45**: 167-173.

- Shannon, C. E. y W. Wiener (1963). *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana. 117 pp.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature* **163**: 688.
- Snelgrove, P. V. H., T. H. Blackburn, P. A. Hutchings, D. M. Alongi, J. F. Grassle, H. Hummel, G. King, I. Koike, P. J. D. Lamshead, N. B. Ramsing y V. Solis-Weiss (1997). The importance of marine sediment biodiversity in ecosystem processes. *Ambio* **28** (8): 578-583.
- Somerfield, P. J. y K. R. Clarke (1995). Taxonomic levels, in marine community studies, revisited. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **127**: 113-119.
- Soto-Jiménez, M. F. (1998). Distribución y concentración de los metales pesados en los sedimentos del Puerto de Mazatlán y áreas adyacentes: su normalización y fraccionamiento geoquímico. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 245 pp.
- Stephenson, J. (1930). *The Oligochaeta*. Clarendon Press, Oxford. 978 pp.
- Taghon, G. L. y R. R. Greene (1992). Utilization of deposited and suspended particulate matter by benthic “interface” feeders. *Limnol. Oceanogr.* **37**: 1370-1391.
- Takashima, Y. y S. F. Mawatari (1998). *Mitinokuidrilus excavatus* n. g., n. sp., a marine tubificid (Oligochaeta) with a unique mode of reproduction. *Zool. Sci.* **15**: 593–597.
- Thomson, B. W., M. J. Riddle y J. S. Stark (2003). Cost- efficient methods for marine pollution monitoring at Casey Station, East Antarctica: the choice of sieve mesh-size and taxonomic resolution. *Mar. Poll. Bull.* **46**: 232-243.
- Tovar-Hernández, M. A. (2007). Revision of *Chone* Krøyer, 1986 (Polychaeta: Sabellidae) from North America and descriptions of four new species. *J. Nat. Hist.* **41** (9-12): 511-566.
- Tsutsumi, H. (1990). Population persistence of *Capitella* sp. (Polychaeta; Capitellidae) on a mud flat subject to environmental disturbance by organic enrichment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **63**: 147-156.
- Vanderklift, M. A., T. J. Ward y C. A. Jacoby (1996). Effect of reducing taxonomic resolution on ordinations to detect pollution-induced gradients in macrobenthic infaunal assemblages. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **136**: 137-145.
- Villalba-Loera, A. (1986). Descripción general del estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. *Cienc. Mar.* **8**: 32-37.

- Warwick, R. M. (1988a). Effects on community structure of a pollutant gradient-summary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **46**: 207-211.
- Warwick, R. M. (1988b). Analysis of community attributes of macrobenthos of Frierfjord/Langesundfjord at taxonomic levels higher than species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **46**: 167-170.
- Warwick, R. M. (1998). The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. *Mar. Poll. Bull.* **19**: 259-268.
- Warwick, R. M. y K. R. Clarke (1993). Increased variability as a symptom of stress in marine communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **172**: 215-226.
- Woodin, S. A. (1981). Disturbance and community structure in a shallow water sand flat. *Ecology* **62**: 1052-1066.
- Wu, R. S. S. (2002). Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses. *Mar. Poll. Bull.* **45**: 35-45.