

1 / 00368

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA**

**(Unidad Académica Mazatlán)**



**Dinámica poblacional de la asociación *Sigmatocia caerulea*  
(Hechtel, 1965) (Demospongiae, Haplosclerida) y algas rojas en la  
bahía de Mazatlán (México, Pacífico Oriental)**

**T E S I S**

**PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA MARINA)**

**P R E S E N T A**

**ENRIQUE AVILA TORRES**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. JUAN JOSE LUIS CARBALLO CENIZO**

Mazatlán, Sin., Julio de 2002.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

## INDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	1
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	6
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	9
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	10
<b>General</b> .....	10
<b>Específicos</b> .....	10
<b>6. AREA DE ESTUDIO</b> .....	11
<b>6.1 Características generales del área de estudio</b> .....	12
6.1.1 Clima .....	12
6.1.2 Condiciones oceanográficas .....	13
<b>7. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA ASOCIACIÓN</b> .....	14
<b>8. METODOLOGÍA</b> .....	16
<b>8.1 Parámetros ambientales</b> .....	16
8.1.1 Temperatura del agua .....	16
8.1.2 Sedimentación / resuspensión .....	16
8.1.3 Proporción de materia orgánica del sedimento .....	17
8.1.4 Análisis granulométrico del sedimento .....	17
<b>8.2 Distribución de la asociación esponja-alga en la bahía de Mazatlán y zonas próximas</b> .....	17
<b>8.3 Selección de las estaciones para el estudio cualitativo y estrategia de muestreo</b> .....	18

<b>8.4 Descriptores poblacionales</b> .....	19
8.4.1 Abundancia de la asociación esponja-alga.....	19
8.4.2 Reproducción sexual de <i>Sigmatocia caerulea</i> .....	19
8.4.3 Reclutamiento.....	20
8.4.4 Estimación del volumen y de la biomasa de la asociación.....	20
8.4.5 Proporción esponja-alga en la asociación.....	21
8.4.6 Proporción de los diferentes géneros de algas que aparecen asociadas con <i>Sigmatocia caerulea</i> .....	22
8.4.7 Abundancia, distribución temporal y espacial (batimétrica) de <i>Jania</i> , <i>Amphiroa</i> y <i>Gelidiopsis</i> .....	22
8.4.8 Periodo de reproducción sexual de <i>Jania</i> y <i>Amphiroa</i> .....	22
8.4.9 Densidad de erizo.....	23
<b>9. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b> .....	24
<b>10. RESULTADOS</b> .....	25
<b>10.1 Parámetros ambientales</b> .....	25
10.1.1 Temperatura del agua.....	25
10.1.2 Sedimentación / resuspensión y características texturales.....	26
<b>10.2 Distribución de la asociación esponja-alga en la bahía de Mazatlán y             zonas próximas</b> .....	28
<b>10.3 Dinámica poblacional</b> .....	28
10.3.1 Abundancia de la asociación esponja-alga.....	28
10.3.2 Reproducción sexual de <i>Sigmatocia caerulea</i> .....	31
10.3.3 Reclutamiento.....	32

10.3.4 Variación del tamaño promedio (volumen) y de la biomasa de la asociación.....	34
10.3.5 Proporción esponja-alga en la asociación.....	39
10.3.6 Proporción de los diferentes géneros de algas que aparecen asociadas con <i>Sigmatocia caerulea</i> .....	41
10.3.7 Abundancia, distribución temporal y espacial (batimétrica) de <i>Jania</i> , <i>Amphiroa</i> y <i>Gelidiopsis</i> .....	42
10.3.8 Periodo de reproducción sexual de <i>Jania</i> y <i>Amphiroa</i> .....	43
10.3.9 Abundancia de erizo.....	43
<b>10.4. Relación de la densidad de la asociación con variables ambientales y bióticas</b> .....	<b>44</b>
<b>11. DISCUSIÓN</b> .....	<b>45</b>
<b>12. CONCLUSIONES</b> .....	<b>56</b>
<b>12. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>58</b>
<b>13. ANEXOS</b> .....	<b>66</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **ANEXOS**

**Anexo I.** Desviaciones estándar obtenidas a partir de la evolución temporal de la densidad del complejo en relación con la profundidad.

**Anexo II.** Desviaciones estándar calculadas a partir de la abundancia media de *Amphiroa* spp. a diferente profundidad a través del tiempo.

**Anexo III.** Desviaciones estándar obtenidas a partir de la densidad media de erizos con relación al tiempo y profundidad

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi mayor agradecimiento a Dios y a las siguientes personas sin cuyo apoyo no hubiese sido posible la culminación de éste trabajo.

A mi esposa Amparo y a mi hijo Henry Sair, quienes me han acompañado a lo largo de este camino. Su compañía me llenó de fe y fuerza durante el desarrollo de mis estudios.

A mi familia, por su constante cariño, estímulo e interés que siempre he recibido de ellos.

Con admiración, afecto y amistad, para el Dr. José Luis Carballo su sabiduría y enseñanza fueron indispensables para la realización del presente trabajo.

A los integrantes de mi comité de tesis, Dra. Maria Nuria Méndez Ubach y a la Dra. Susana Enríquez Domínguez por la oportuna y acertada revisión de éste trabajo y el apoyo prestado. Así como al Dr. Samuel Gómez Noguera y a la Dra. Elva Escobar Briones, miembros del Jurado de tesis, por los aportes realizados al presente trabajo.

A mis compañeros: José Antonio, Cristina, Héctor, Benjamín, Zaira, Pilar, Miroslava, Leonardo y Claudia, por la amistad y compañerismo que siempre me dieron.

Mis más sinceros agradecimientos para Carlos Suarez Gutiérrez y Germán Ramírez Reséndiz por su valiosa colaboración en la elaboración de este trabajo. Así como a Maria Clara Ramírez y Pedro Allendé Rosales por apoyarme con la redacción y búsqueda de material bibliográfico.

Al Dr. Felipe Amescua Martínez, Ing. Alberto Castro del Río, M. en C. José Salgado Barragán, M. en C. Sergio Rendón Rodríguez, M. en C. Arturo Núñez Pastén y al Cap. Juan Toto Fiscal por su apoyo en la realización de los muestreos.

## 1. RESUMEN

Las asociaciones entre esponjas y macroorganismos fotosintéticos se han descrito principalmente en arrecifes de coral o en ambientes caracterizados por presentar alta biodiversidad y una escasa disponibilidad de sustrato para el establecimiento de especies y poblaciones. El presente estudio está basado en una asociación esponja-alga descrita en el Pacífico Oriental (bahía de Mazatlán), donde prevalecen condiciones ambientales muy diferentes a las comentadas anteriormente. La esponja *Sigmadocia caerulea* se asocia con algas rojas de los géneros *Amphiroa*, *Jania* y *Gelidiopsis* en lo que parece una unión muy estable a lo largo del tiempo y del espacio. La dinámica poblacional y su relación con algunos parámetros ambientales se estudió desde febrero de 2001 hasta abril de 2002. Se colocaron dos réplicas de 5 parcelas de 25 m<sup>2</sup> desde los 2.3 m hasta los 5.5 m de profundidad, las cuales fueron censadas mensualmente mediante muestreos no destructivos. El periodo de reproducción de la esponja se estudió mensualmente en 10 ejemplares recolectados en áreas aledañas a las parcelas de seguimiento. La variación espacial (batimétrica) y temporal del reclutamiento se determinó a partir de los datos obtenidos en los censos mensuales. La proporción esponja-alga en la asociación y el porcentaje de especies de algas en la asociación se estudió en 4 individuos por parcela extraídos al azar. Adicionalmente se estudió en el área de estudio la abundancia (%) de algas calcáreas y erizos en escala espacial (batimétrica) y temporal para intentar relacionarlo con la distribución temporal y espacial de la asociación. Mensualmente se registró la tasa de sedimentación/resuspensión, el % de materia orgánica y la granulometría del sedimento, así como la temperatura máxima y mínima del agua.

Los resultados obtenidos demuestran que la asociación se encuentra distribuida en un intervalo de profundidad muy estrecho (2.3 a 4.5 m) mostrando preferencia por el intervalo de 2.8-3.3 m. La mayor abundancia se detectó en febrero (2001) con 124 ind/250 m<sup>2</sup> mientras que por profundidad el máximo valor detectado fue de 25 ind/25 m<sup>2</sup> en abril de 2001. De abril a mayo de 2001 se detectó un descenso brusco de la abundancia de la asociación de 119 a 37 ind/250 m<sup>2</sup>, el cual coincidió con un periodo de alta sedimentación y resuspensión con proporciones mayores de arenas gruesas y con una amplia variación entre la temperatura máxima y mínima (10 °C en un mes), que fue la mayor detectada durante todo el periodo de estudio. Se detectó una variación en la abundancia estacional relacionada principalmente con la temperatura del agua ( $r = -0.64$ ,  $p < 0.02$ ). El análisis de varianza de dos vías determinó que la

abundancia de la asociación varió significativamente con respecto al tiempo ( $p < 0.0001$ ) así como de la profundidad ( $p < 0.0001$ ). También se obtuvo una interacción tiempo/profundidad significativa ( $p < 0.0001$ ) que indicaba que la heterogeneidad espacial de la abundancia no existía en algunas épocas del año. Los resultados indican (*SNK test*,  $p > 0.01$ ) una gran homogeneidad en la variación temporal de la abundancia en los intervalos de profundidad de 2.3-2.8 m y 2.8-3.3 m (no varió significativamente a lo largo del estudio). Sin embargo a partir de mayo, se encontraron diferencias temporales muy significativas en los intervalos de 3.9-4.4 m, 4.0-4.5 m y en el 5.0-5.5 m, que indican que a partir de este mes se produjo un cambio muy importante en la abundancia de la asociación en esos intervalos de profundidad, el cual se ha mantenido hasta el final del estudio. Con respecto al intervalo 5.0-5.5 m la abundancia fue siempre cero y no se encontraron diferencias significativas a lo largo del año. Con respecto a la profundidad, el análisis (*SNK test*,  $p > 0.05$ ) indicó que en los meses de febrero y abril de 2001 hubo una gran heterogeneidad espacial en la distribución de la abundancia. A partir de mayo de 2001 el análisis indicó que se homogeneizó la distribución espacial de la abundancia detectándose un intervalo de profundidad con similar abundancia que abarcaba los intervalos 3.9-4.4 m y 4.0-4.5 m. Esta situación se mantuvo hasta el final del estudio, cuando de nuevo se incrementó el área de homogenización de la abundancia hasta la profundidad delimitada por el intervalo 5.0-5.5 m. Se detectó un único periodo de reproducción sexual anual en la esponja, que abarcó desde mayo hasta septiembre en el 2001 y desde marzo hasta la actualidad (abril) en el año 2002. El máximo reclutamiento (36 ind/250 m<sup>2</sup>) se registró en junio y septiembre de 2001, en el intervalo de profundidad de 2.8-3.3 m. El tamaño promedio de los ejemplares en ambos años aumentó en relación con el incremento de la temperatura del agua. El mayor tamaño promedio se registró en junio de 2001 (935 cm<sup>3</sup>). El menor tamaño promedio se detectó en diciembre (209 cm<sup>3</sup>). La biomasa presentó un valor máximo de 51 g peso húmedo/m<sup>2</sup> en junio. El valor de biomasa por profundidad más alto fue detectado en junio (1012 g peso húmedo/m<sup>2</sup>) en el intervalo de 2.3-2.8 m. La máxima proporción de esponja en la asociación fue de 48.4% y la mínima de 37.4%, mientras que la máxima proporción de alga fue de 31.6% y la mínima de 8.3%. *Jania* fue el género que con más frecuencia (85%) se asoció a la esponja en relación con los géneros *Amphiroa* (3.5%) y *Gelidiopsis* (10.5%). En el área de estudio nunca se encontró a *Jania* viviendo independientemente de la esponja. Por lo tanto se estudió únicamente la distribución del género *Amphiroa* el cual presentó un

patrón de abundancia (%) que desciende conforme aumenta la profundidad. La mayor abundancia se encontró en los primeros 2.3-2.8 m. excepto en junio que se localizó en el intervalo de 2.8-3.3 m

Los resultados indican que la asociación presentó una relación muy estrecha y persistente en el área de estudio, mostrando cambios temporales en la abundancia que parecen relacionarse con los cambios en algunos parámetros ambientales principalmente con la temperatura del agua. Los cambios temporales en el tamaño de la asociación parecen relacionarse con la variación en la temperatura del agua de una manera desfasada donde el tamaño de la asociación aumenta después (2 meses) de haberse registrado un aumento en la temperatura. Una de las ventajas más aparentes que podría adquirir la esponja a través de la asociación es la de utilizar el talo del alga como una estructura de soporte. *Jania* sin embargo aumenta su área de distribución hacia niveles de mayor profundidad cuando aparece en asociación con la esponja ya que cuando se encuentra aislada su distribución se ve limitada a la zona intermareal. Con base a estas observaciones se sugirió que *Sigmadocia caerulea* y *Jania* podrían establecer una asociación de tipo mutualista. El mayor reclutamiento en el área de muestreo coincidió con el periodo en que se presentaron tormentas tropicales y huracanes sobre el Pacífico Oriental cerca del Estado Sinaloa lo que indica la importancia de este tipo de fenómenos climáticos para favorecer la dispersión de la asociación. Sin embargo la presencia de reclutas aún cuando la esponja no se encuentra en reproducción sexual nos indicó que la fragmentación aparece como el principal mecanismo que utiliza la esponja para mantenerse y dispersarse.

## 2. INTRODUCCIÓN

El uso de organismos vivos como sustrato potencial para el asentamiento larvario constituye un nicho ecológico muy importante para el establecimiento de especies y poblaciones. Este tipo de sustrato es intensamente explotado, sobre todo en comunidades bentónicas con alta biodiversidad (Dayton 1971) donde uno de los principales factores que regulan el tamaño de una población y la diversidad de una comunidad es la disponibilidad de sustrato para el asentamiento de las larvas y el desarrollo postlarvario (Jackson 1977). Sin embargo, las interacciones positivas entre especies son más frecuentes y juegan un papel más importante al controlar la estructura de la comunidad y/o dinámica de los ecosistemas en hábitats pobres en especies, hábitats marginales o sometidos a estrés ambiental (Bertness y Callaway 1994) donde algunas especies pueden afectar positivamente el crecimiento y supervivencia de otras. De hecho, en ambientes sometidos a altos niveles de estrés ambiental al contrario de lo expuesto en comunidades altamente biodiversas parece que el ambiente es el principal modelador de las comunidades bentónicas, las cuales se simplifican por la falta de adaptación a factores como la abrasión, el intenso hidrodinamismo, la sedimentación y otros factores de perturbación (Margalef 1968, Sanders 1968).

Numerosas especies de esponjas presentan un tipo de asociación poco usual en el reino animal con cianobacterias unicelulares, cianobacterias multicelulares y/o con dinoflagelados (Vacelet 1981). Incluso se han registrado asociaciones menos frecuentes con algas multicelulares como el caso de la esponja *Haliclona cymiformis* (Esper) la cual se asocia al talo del alga *Ceratodictyon spongiosum* en lo que parece ser una asociación obligatoria (Scott et al. 1984, Trautman et al. 2000). La mayoría de estas asociaciones entre plantas y animales se suelen considerar asociaciones mutualistas (Trench 1979), aunque en la mayoría de los casos no está claro el beneficio que la esponja o el alga adquieren a través de esta relación.

*Sigmadocia caerulea* (Hechtel) es una especie de esponja común en algunas zonas de la bahía de Mazatlán donde muy frecuentemente aparece asociada a algas rojas de los géneros *Jania* (Lamouroux), *Amphiroa* (Lamouroux) y *Gelidiopsis* (Schmitz). La esponja se desarrolla principalmente en los espacios que quedan entre las numerosas ramificaciones de este tipo de algas arborescentes y el conjunto adopta una consistencia masiva.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Parece que la falta de sustrato para el asentamiento de las larvas de la esponja y/o el posterior desarrollo no es la causa de esta asociación, como podría pensarse en comunidades altamente biodiversas. Más bien, parece que el ambiente es el principal inductor de esta asociación, la cual posiblemente ofrece algún tipo de ventaja aún no conocida que podría afectar al crecimiento, la supervivencia, o la distribución de una o de ambas especies.

El objetivo principal de este estudio es analizar algunos aspectos de la dinámica poblacional de esta asociación, su distribución y abundancia a lo largo de un gradiente batimétrico y su relación con algunos parámetros ambientales. Asimismo, se pretende conocer si la incidencia de esta asociación es permanente o variable a lo largo del tiempo.

### 3. ANTECEDENTES

Las esponjas constituyen uno de los grupos más importantes en las comunidades bentónicas litorales donde diversos factores abióticos controlan parte de su dinámica (Reid 1968; Vacelet 1988) densidad crecimiento formación del esqueleto etc. (Hentschel 1929; Hartman 1958; Bergquist y Sinclair 1973; Bavastrello et al. 1993). Las esponjas tienen una relación muy estrecha con el medio que las rodea y son muy sensibles a los cambios ambientales (Reiswig 1971; Alcolado 1978; Alcolado y Herrera 1987; Carballo et al. 1996).

Las esponjas tienen también una estrecha relación con las corrientes del agua ya que necesitan de un flujo constante para su supervivencia (Wilkinson y Vacelet 1979) y su distribución espacial está asociada a factores ambientales como la luz sedimentación y turbulencia física o hidrodinamismo (Wilkinson y Evans 1988; Carballo et al. 1996). En este sentido a pesar de que algunas especies de esponjas han demostrado cierta adaptación frente a situaciones adversas (Carballo et al. 1994; Carballo y Naranjo 2002) en general no se consideran resistentes a ambientes extremos (Rutzler 1995).

Por otra parte los factores bióticos también pueden ejercer gran influencia en aspectos como la distribución supervivencia etc de las esponjas. Se han descrito asociaciones de esponjas que albergan en su superficie o en su interior macroorganismos como antozoos o escifozoos (cnidarios) (Meroz e Ilan 1995; Hill 1998) tipo de asociación que normalmente confiere ventajas al huésped por la explotación de un espacio libre de competidores. También se ha sugerido que algunas de estas interacciones confiere ventajas a la esponja por una reducción en los costes metabólicos derivado del ahorro energético que supone la utilización de estos organismos (escifozoos) en la construcción de elementos esqueléticos o de sostén (Uriz et al. 1992). En otros casos se ha demostrado que ciertos moluscos bivalvos se recubren de esponjas para protegerse frente a depredadores potenciales como estrellas de mar (Pond 1992).

Bowerbank (1862) fue el primero que estudió en detalle una asociación de este tipo entre la esponja *Hymeniacidon cliftoni* y la macroalga *Codiophyllum flabeliforme*. Posteriormente Weber-van Bosse (1910-1921) describió la relación como simbiótica sin nominar a un miembro como dominante o primario. Las asociaciones entre esponjas y organismos fotosintéticos (cianobacterias y algas eucariontes como

clorofitas o cormofitas (diatomeas y dinoflagelados) se conocen desde hace más de un siglo. Sin embargo, las relaciones que se establecen entre estos organismos y las esponjas no tomó trascendencia hasta hace poco tiempo. Así, experimentos hechos por Sciscioli (1966) en una esponja que recubre las partes basales de un alga roja (*Phyllopora palmettoides*) en el Mediterráneo sugirió que el animal puede beneficiarse de los productos de la fotosíntesis difundidos por el alga. Vacelet (1981) describió un tipo de asociación esponja-alga, donde la Haplosclerida *Gellius cymiformis* (Esper) crece íntimamente asociada al talo de la macroalga *Ceratodictyon spongiosum*, la cual es utilizada como un soporte para la esponja. Rutzler (1990) también describió asociaciones de esponjas con organismos autótrofos como *Phormidium* sp. (una bacteria oscilatoria), *Ostreobium* (dinoflagelado), *Acrochaetium*, *Jania adherens* y *Jania capillaria* (rodofitas), y en el caso de las asociaciones con las especies del género *Jania* determinó que la esponja utiliza al alga como soporte al observar que las fibras se unían a las ramificaciones del alga. En otros casos se ha sugerido que algunas esponjas (*Tethya seychellensis*) con haces de espículas de sílice actúan de forma similar a una fibra óptica, facilitando de esta manera la penetración de luz hasta el interior de la esponja, lo cual beneficia a una microalga (*Ostreobium* sp.) que habita en su interior al utilizar la luz para llevar a cabo la fotosíntesis (Gaino y Sará 1994).

Aspectos de la dinámica poblacional de una de estas asociaciones (*Haliclona cymiformis* y la macroalga *Ceratodictyon spongiosum*) se estudiaron por primera vez en One Tree Reef (Australia) (Trautman et al. 2000). El estudio determinó los valores de biomasa (270 g peso húmedo/m<sup>2</sup>) más altos por unidad de área registradas para esponjas hasta el momento (con o sin alga simbiote) o algas rojas en arrecifes de coral, sugiriendo que esta asociación puede contribuir significativamente a la productividad primaria en el arrecife.

La especie *Sigmatocia caerulea* tiene un único periodo de reproducción al año, las larvas son lecitotróficas (de nado libre) y la capacidad de dispersión larvaria es muy limitada (Maldonado et al. 1997). La duración de la etapa de nado libre de la larva lecitotrófica dura entre 8 y 70 h después de la liberación y el máximo asentamiento se alcanza después de 20 a 28 h, con pequeños porcentajes (<25%) correspondientes a las de menor edad y el resto de larvas de mayor edad (32 h después de su liberación) (Maldonado y Young 1996, 1999). Estos autores observaron que los juveniles que se originan de larvas que se fijan en primer lugar sobreviven mejor y crecen más rápido que los juveniles provenientes de las larvas que se mantienen más tiempo libres antes

de fijarse. También se han realizado estudios de laboratorio sobre los efectos de la luz en larvas y primeros juveniles de *Sigmatocia caerulea* que indican que las larvas son fotonegativas (Maldonado y Young 1996)

#### 4. HIPÓTESIS

Los antecedentes indican que las asociaciones de esponjas con macroalgas ocurren principalmente en ambientes con alta diversidad como arrecifes de coral (Trautman et al. 2000 Vacelet 1981 Rützler 1990 Scott et al. 1984 Trench 1979) En este caso los datos preliminares indican que la esponja *Sigmadocia caerulea* crece asociada con algas rojas en la bahía de Mazatlán en lo que parece una relación mediada por el ambiente la cual posiblemente ofrece algún tipo de ventajas aún no conocidas que podrían afectar al crecimiento la supervivencia o a la distribución de una o de ambas especies

H<sub>0</sub>: La asociación no confiere ventajas sustanciales a una o a ambas especies y no esperaríamos encontrar diferencias en aspectos como crecimiento supervivencia distribución de las especies viviendo aisladamente y en asociación.

H<sub>1</sub>: La asociación confiere ventajas sustanciales a una o a ambas especies y se esperaría encontrar diferencias en aspectos como crecimiento supervivencia y distribución de las especies viviendo aisladamente y en asociación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 5. OBJETIVOS

### Objetivo general.

Estudiar la dinámica poblacional de la asociación *Sigmatocia caerulea* con algas rojas de tipo arborescente y su relación con los parámetros ambientales: temperatura del agua, tasa de sedimentación/resuspensión, % de materia orgánica del sedimento y proporción de los tamaños de grano del material sedimentario. Asimismo, conocer si la incidencia de esta asociación es permanente o variable a lo largo del tiempo.

### Objetivos específicos

1. Examinar la variación de la abundancia de la asociación con respecto al tiempo y a la profundidad.
2. Comprobar si esta asociación es permanente con respecto al tiempo y a la profundidad.
3. Determinar la época de reproducción sexual de *Sigmatocia caerulea*.
4. Estudiar la tasa de reclutamiento de la asociación con respecto al tiempo y a la profundidad.
5. Estudiar aspectos como reproducción y distribución de las algas asociadas a la esponja con respecto al tiempo y a la profundidad.
6. Determinar la relación de algunas variables ambientales (temperatura del agua, tasa de sedimentación/resuspensión, % de materia orgánica del sedimento y proporción de los tamaños de grano del material sedimentario) sobre la abundancia de la asociación a lo largo del tiempo.

## 6. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende un conjunto de islas que se encuentran al NW de la bahía de Mazatlán (Sinaloa, México) (Fig. 1) cuyos nombres son isla Pájaros e isla Venados; ésta última se une por medio de una porción angosta de rocas a otra más pequeña denominada isla Lobos. El área de estudio se encuentra situada frente a la parte S de la isla Venados, cuya ubicación geográfica es entre los  $23^{\circ} 13' 49''$  de latitud N y  $106^{\circ} 27' 43''$  de longitud W, en un intervalo de profundidad comprendido entre 1 y 6 m aproximadamente. El sustrato varía desde rocoso a rocoso con parches arenosos hasta los 5-6 m de profundidad. Por debajo de ésta profundidad, prácticamente no existen afloramientos rocosos importantes y el ambiente es principalmente sedimentario con pequeños afloramientos rocosos.

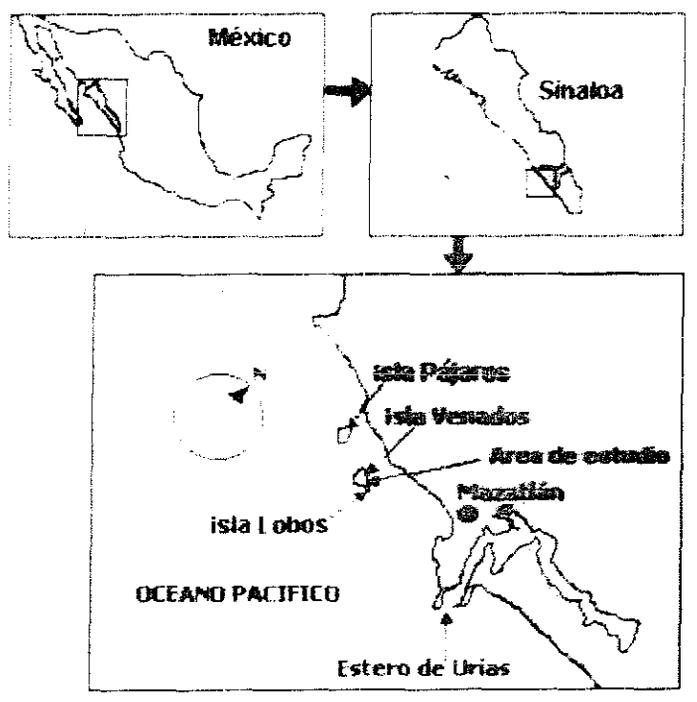


Fig. 1. Localización de las estaciones de muestreo en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México

## 6.1 Características generales del área de estudio

### 6.1.1 Clima

El clima del área es tropical y subtropical, tipo cálido subhúmedo. El máximo de precipitaciones se presenta durante el mes de septiembre. El periodo de lluvias comienza a mediados de junio con un promedio mensual de 48.8 mm, ascendiendo hasta alcanzar su máximo (274.2 mm) a mediados de septiembre (Comisión Nacional del Agua 2002). La zona es afectada por tormentas tropicales y huracanes que provienen del Pacífico NW que generalmente se presentan de julio a octubre. Los vientos predominantes son del W, NW y WNW con una velocidad promedio anual de  $3.4 \text{ m s}^{-1}$  prevaleciendo durante el invierno los vientos del NW denominados "Colas" y vientos variables. Durante el verano los vientos son del S y SE, son fuertes aunque de corta duración (Secretaría de Marina, 1974).

La temperatura media anual del aire es de  $24^\circ\text{C}$  siendo de julio a septiembre los meses más cálidos con un promedio de  $28^\circ\text{C}$ . La humedad relativa media anual es de 76% siendo el mes de septiembre el que alcanza mayor humedad (79%). El promedio anual de la presión atmosférica es de 1004.7 mb (Op. Cit.)

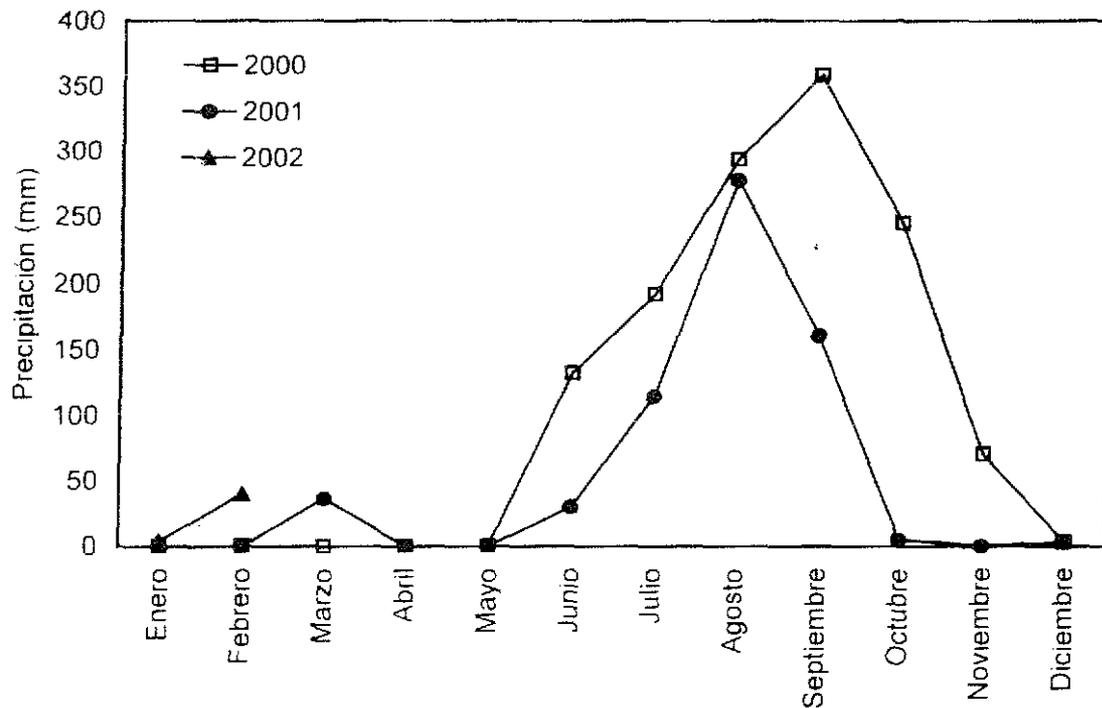


Fig. 2. Precipitación media mensual (Enero 2000-Febrero 2002) en Mazatlán, Sinaloa, México (Comisión Nacional del Agua 2002).

### 6.1.2 Condiciones oceanográficas

Los estudios oceanográficos de Roden (1958) en el área del sur del Golfo de California señalan la presencia de una corriente que entra al Golfo por la costa E (parte continental) y sale por la costa W (parte de la península) en un giro contrario al de las manecillas del reloj.

Para el puerto de Mazatlán el régimen de mareas queda comprendido en el intervalo entre 0.25 y 1.5 que corresponde al tipo mixto semidiurno (Pond y Pickard 1983) es decir, generalmente se dan dos pleamares y dos bajamares.

Las olas más frecuentes provienen del NW, N, W y SW en orden descendente y dentro de esas direcciones las de mayor energía son las del SW y W. Las olas provenientes del SW ocasionalmente son generadas por tormentas tropicales y son las que causan mayores daños en áreas costeras. Dada la amplia variabilidad de las condiciones de oleaje son notables los cambios en la dirección y magnitud del transporte litoral a través de periodos largos de tiempo (Montaño 1985).

Se ha observado que los sistemas intermareales rocosos están afectados estacionalmente por la deposición de arena (Littler y Littler 1980). El patrón anual de la afluencia de arena a lo largo del Pacífico NW muestra que se incrementa la deposición de arena en los ambientes intermareales rocosos a través de los meses del verano (Hedgpeth 1957, Markham 1973, Shephard 1973). El transporte litoral de arenas ha sido cuantificado aplicando un modelo de tipo predictivo en dos playas de la costa S de Sinaloa, ubicadas 30 km al NE y 25 km al SE del puerto de Mazatlán. En la playa ubicada al NE se determinó un transporte neto de 41 056 m<sup>3</sup>/año mientras que en la playa del SE de 179 442 m<sup>3</sup>/año (Montaño y Peraza 1986). En la bahía de Mazatlán se pueden diferenciar 3 zonas de sedimentación en relación con la lejanía de la fuente de sedimentos: a) proximal: arena gruesa y fina, compuesta por terrígenos finos y fragmentos de roca y concha; b) intermedia: arena media, compuesta por fragmentos de roca y concha; c) distal: arenas de grano fino con concentraciones de ferromagnesianos, así como fragmentos de roca y concha en proporciones similares (Alba et al. 1979). Los cambios más significativos en los perfiles de playa ocurren de septiembre a octubre, periodo normalmente caracterizado por condiciones severas de oleaje (Montaño y Gutiérrez 1987).

La temperatura media anual de la superficie del mar es de 24.4°C, y la salinidad promedio anual es de 35 ‰ (Calendario Gráfico de Mareas 1988).

## 7. DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DE LA ASOCIACIÓN

### *Sigmadocia caerulea* (Hechtel, 1965)

Esponja de forma incrustante, incrustante-masiva, de 0.9 a 12 cm de espesor. Su consistencia es poco compresible y se desmorona con facilidad. Los ósculos (1.3 a 4.2 mm de diámetro) generalmente están en la parte superior de las elevaciones. El ectosoma es un poco translúcido, no desprendible, en ocasiones retiene restos de conchas y arena. El coanosoma es cavernoso, los canales van de 0.2 a 1 mm de diámetro. La estructura esquelética contiene oxas curvadas con las puntas asimétricas las cuales se disponen tangencialmente en el ectosoma y sigmas en forma de "C" (Fig. 3). Esta esponja, se encuentra en sustratos rocosos desde el intermareal hasta los 8 m de profundidad. Algo muy característico de esta especie, es que generalmente aparece asociada a algas calcáreas de los géneros *Jania* y *Amphiroa* ocupando los espacios que hay entre las ramas y englobándola por completo (Fig. 3).

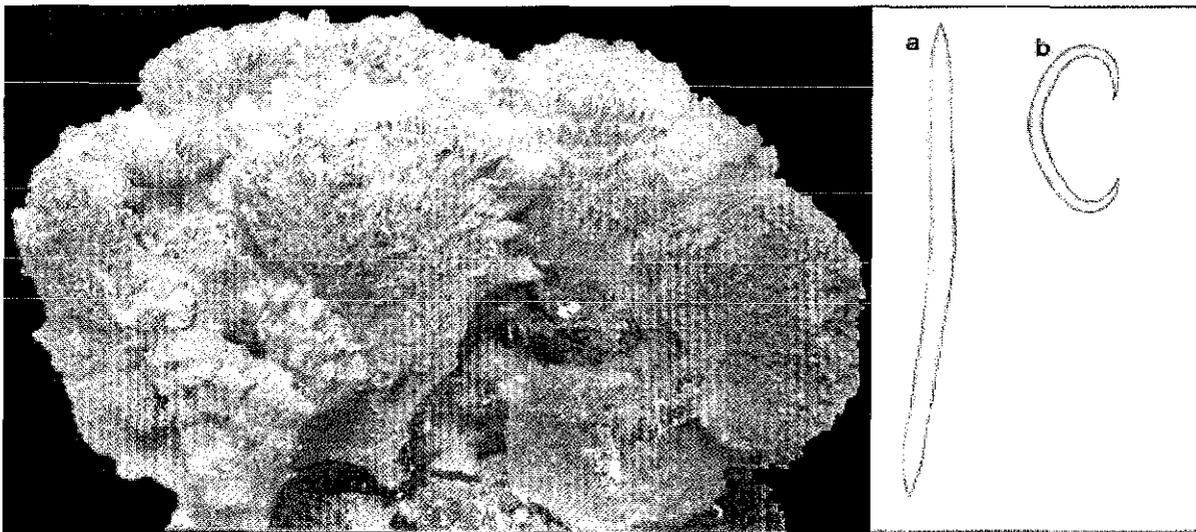


Figura 3.- Asociación entre *Sigmadocia caerulea* y alga calcárea (foto: Laboratorio de Ecología del Bentos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (Mazatlán), UNAM) y espículas: a) Oxa, b) Sigma.

### **Características generales de las algas rojas**

Las rodofíceas, principalmente marinas, presentan coloraciones comprendidas entre el rojo y el violáceo; más raras veces son negropurpúreas o rojoparduscas. En sus células, casi sin excepción uninucleadas, suelen existir numerosos *cromatóforos* (rodoplastos). Se encuentra la clorofila (*a*, falta *b*, en una parte de las especies hay un poco de *d*) y los carotenoides que la acompañan, enmascarados en las laminillas de los plastidios por una sustancia colorante roja, muy fluorescente, la *ficoeritrina*, una ficobilina.

Por lo general son algas pluricelulares, solo existen especies unicelulares, en el pequeño grupo de las bangiales, de posición bastante aislada.

Es característico del modo de multiplicación de todas las rodofíceas el hecho de que sus esporas, lo mismo que sus gametas, carecen siempre de flagelos. Esas plantas son, en general, oógamas.

Estas algas se encuentran en casi todos los biotopos, pero son más abundantes en las zonas templadas y tropicales.

Los géneros *Jania* y *Amphiroa* (algas calcáreas) son pertenecientes al Orden Corallinales, y el género *Gelidiopsis* se encuentra dentro del Orden Gigartinales.

## 8. METODOLOGÍA

### 8.1 Parámetros ambientales

#### 8.1.1 Temperatura del agua

Para conocer la temperatura del agua durante el periodo de estudio se colocó un termómetro de máxima y mínima a una profundidad de 4.5 m

#### 8.1.2 Sedimentación/ resuspensión

Para el registro de la sedimentación/resuspensión se colocó una estructura permanente a 5 m de profundidad (Fig 4). La estructura consta de una base de concreto a la cual se le fijaron 4 frascos de plástico de 1 l. con una boca de 5.5 cm de diámetro. La trampa de sedimentos se colocó aproximadamente a 1 metro de altura del fondo. Estos recipientes fueron retirados mensualmente y el contenido de cada uno se secó en una estufa a 105°C durante 48 horas y se pesó. Posteriormente se determinó la tasa de sedimentación/resuspensión calculando un promedio del peso del material entre los cuatro recipientes. después se dividió el peso promedio entre el numero de días que permanecieron abiertos. obteniendo así la cantidad de material que recibió el área de la boca de los recipientes y por ultimo se extrapoló a un área de 1 m<sup>2</sup> para obtener como resultado unidades de peso seco m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup>.

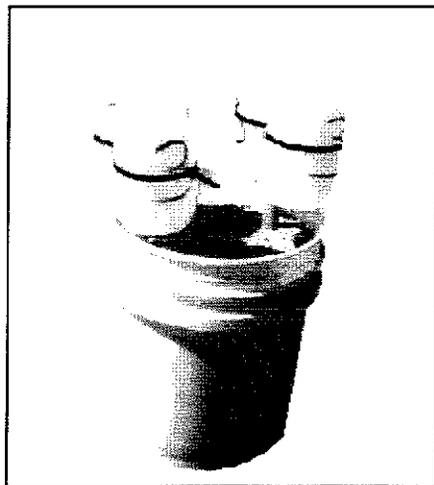


Fig. 4. Estructura empleada para la recolección de sedimento.

### 8.1.3 Proporción de materia orgánica e inorgánica del sedimento

La proporción de materia orgánica del material contenido en los recipientes de sedimentación se determinó lavando previamente las muestras con agua destilada para eliminar las sales. Posteriormente se obtuvo el peso seco a 105°C durante 48 horas y una vez seco se calcinó en una mufla durante 1 h a 550°C. Las cenizas representan la fracción inorgánica y la pérdida de peso representa la materia orgánica.

### 8.1.4 Análisis granulométrico del sedimento

Para determinar la proporción de los tamaños de grano y su origen se llevó a cabo un análisis granulométrico del sedimento empleando una serie de tamices de distinta apertura de malla según los criterios establecidos por Inman (1952) y Folk (1965), donde

$$\phi = -\log_2 d; \phi = \text{phi (unidad en escala logarítmica) y } d = \text{diámetro (mm)}$$

El parámetro calculado fue el tamaño promedio de grano (mm) por mes y profundidad. Para determinar la composición del sedimento se empleó el criterio de Inman (1952) el cual consiste en un análisis visual que solo incluye la clasificación entre materiales clásticos y bioclásticos utilizando una lupa estereoscópica.

## 8.2 Distribución de la asociación esponja-alga en la bahía de Mazatlán y zonas próximas

Para estudiar la distribución de la esponja *Sigmadocia caerulea* en la bahía de Mazatlán y zonas aledañas (Cerritos, isla pájaros, isla Venados, Punta Chile, Ensenada ubicada frente al ICML, Cerro del Crestón, Estero de Urias e isla Cardones) y comprobar si la asociación con algas rojas es permanente se hicieron recorridos en inmersión con equipo de buceo autónomo en sustratos rocosos (Fig. 5). Este estudio se realizó en una sola ocasión al inicio del trabajo para comprobar si en todas las estaciones muestreadas la asociación se presenta de la misma manera.

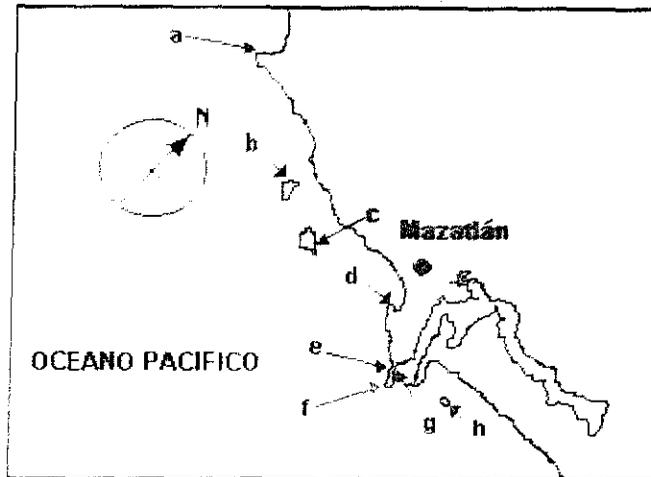


Fig 5 Localización de los sitios donde se realizaron los muestreos preliminares. a) Cerritos: 23°18'27" N y 106°29'25" W; b) isla pájaros: 23°15'29" N y 106°28'25" W; c) isla Venados: 23°10'75" N y 106°26'42" W; d) Punta Chile: 23°12'29" N y 106°25'40" W; e) Ensenada ubicada frente al ICML: 23°11'04" N y 106°25'50" W; f) Cerro del Crestón: 23°10'46" N y 106°25'33" W; g) Estero de Urias: 23°10'93" N y 106°25'46" W; h) isla Cardones: 23°11'05" N y 106°24'07" W

### 8.3 Selección de las estaciones para el estudio cuantitativo y estrategia de muestreo

Una vez estudiada la distribución de la asociación esponja-alga en la bahía de Mazatlán se seleccionó un área que fuera representativa de la zona para el estudio poblacional. Los estudios preliminares determinaron que *Sigmatocia caerulea* se distribuía en sustratos rocosos desde los 2 hasta 6 m de profundidad aproximadamente. El área elegida se ubicó en la costa oriental de la isla Venados, para lo cual se delimitaron dos grupos de 5 parcelas (área delimitada) de 25 m<sup>2</sup> cada una, alineadas perpendicularmente a la línea de costa y a diferentes profundidades hasta una cota máxima de 6 m (Fig. 6). En esta zona de la isla prácticamente no aparecen afloramientos rocosos por debajo de esa profundidad.

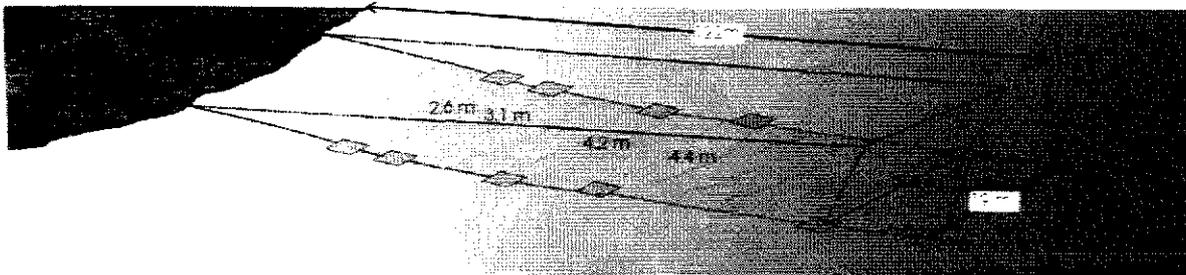


Fig. 6 Ubicación de las parcelas de seguimiento con respecto a la costa y a la profundidad.

## 8.4 Descriptores poblacionales

### 8.4.1 Abundancia de la asociación esponja-alga

Mediante censos visuales se cuantificaron los ejemplares presentes dentro de las parcelas de seguimiento para determinar la abundancia (ind/25 m<sup>2</sup>) a través del tiempo y el espacio (distribución batimétrica). Se estableció una periodicidad bimensual de muestreo; sin embargo a partir del mes de mayo se detectó un descenso muy brusco en la abundancia y se decidió hacer el muestreo mensualmente para intentar documentar mejor el comportamiento de este parámetro.

### 8.4.2 Reproducción sexual de *Sigmadocia caerulea*

Para conocer el periodo de reproducción sexual de la esponja, se extrajeron mensualmente y al azar diez ejemplares de zonas aledañas a las parcelas de seguimiento. Posteriormente, en el laboratorio se determinó la presencia de larvas y/o embriones con un microscopio estereoscópico con una amplificación de 10X. Para reconocer las larvas y/o embriones de *Sigmadocia caerulea* se requirió de información acerca de las características de cada fase (Maldonado y Young 1996, 1999; Maldonado et al 1997). Previamente se determinó el volumen de cada ejemplar por el método de desplazamiento volumétrico. Los resultados se expresaron como larvas y/o embriones por unidad de volumen del ejemplar (Ayling 1980). Se determinó además el porcentaje de ejemplares en reproducción, es decir, los individuos con larvas y/o embriones

### 8.4.3 Reclutamiento

Desde el inicio de la experiencia todos los ejemplares (esponja-alga) presentes en las parcelas de seguimiento se marcaron con una etiqueta enumerada. El reclutamiento fue estimado contabilizando y marcando con una etiqueta, en cada censo mensual, el número de individuos (esponja-alga) que aparecen nuevos dentro de cada parcela (ejemplares sin etiqueta). El reclutamiento se estimó en el área total de muestreo ( $250 \text{ m}^2$ ) y por cada nivel de profundidad ( $50 \text{ m}^2$ )

### 8.4.4 Estimación del volumen y de la biomasa de la asociación

El volumen de la asociación se estimó *in situ* semejándolo a una figura geométrica ( $\text{cm}^3$ ), midiendo el perímetro de la base ( $P_b$ ), del centro ( $P_c$ ), de la parte superior ( $P_s$ ) y la altura ( $h$ ) de cuatro individuos seleccionados al azar previamente en cada parcela (Fig. 7). Este procedimiento se llevó a cabo bimensualmente

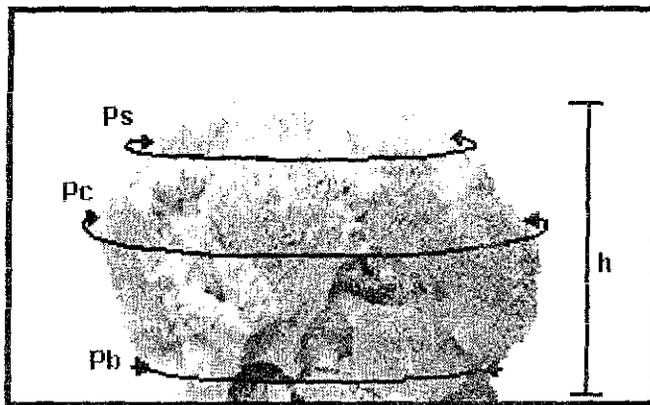


Fig. 7. Método empleado para estimar el volumen de la asociación *in situ*.  $P_s$  = perímetro de la parte superior,  $P_c$  = perímetro del centro,  $P_b$  = perímetro de la base,  $h$  = altura

Además, mensualmente, se recolectaron ejemplares fuera de las parcelas de seguimiento, los cuales se trasladaron al laboratorio para calcular el volumen tal como se detalla arriba y relacionarlo con el peso húmedo (g) el cual se obtuvo utilizando una balanza analítica. Posteriormente, para relacionar las variables (volumen y peso) se llevó a cabo una relación alométrica de tipo potencial. Posteriormente, para estimar la biomasa ( $\text{g peso húmedo/m}^2$ ), se utilizó el modelo resultante de la relación potencial ( $y = 0.31583489 X^{0.9897}$ ) para estimar el peso húmedo en los cuatro ejemplares/parcela seleccionados al azar. Se estimó la variación de la biomasa en el área total de

muestreo y por intervalo de profundidad a lo largo del periodo de estudio

#### 8.4.5 Proporción esponja-alga en la asociación

Esta determinación se efectuó con el fin conocer la proporción de cada uno de los miembros en la asociación y posteriormente llevar a cabo un seguimiento de dicha proporción a través del tiempo y por profundidad.

La proporción alga-esponja se estimó indirectamente calculando la proporción de carbonato cálcico con respecto al contenido de sílice en la asociación. La proporción de carbonato cálcico se empleó como estimador de la biomasa de algas calcáreas y la proporción de sílice como un estimador de la biomasa de la esponja. Con un nucleador de acero de 6 mm de diámetro y 20 cm de largo se extrajeron, *in situ*, cinco muestras de diferentes puntos de cada ejemplar en posición vertical para obtener una muestra representativa desde la base hasta la parte superior (Fig 8) El muestreo se realizó en cuatro individuos seleccionados al azar por cada parcela siguiendo el mismo procedimiento que en el punto anterior.

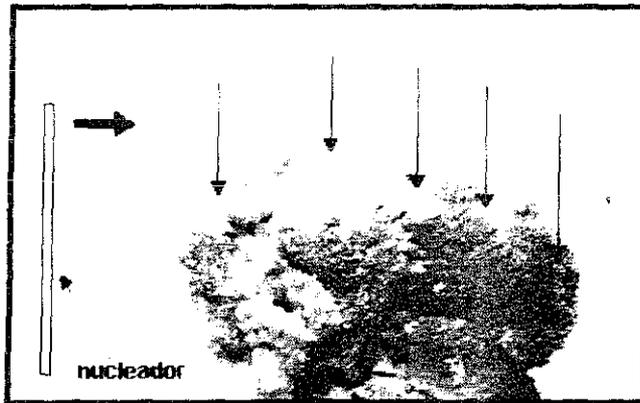


Fig. 8 Nucleador empleado para la obtención de las submuestras *in situ*. Las flechas indican el sentido y la posición para la toma de una muestra representativa de cada ejemplar

Una vez extraídas las muestras, se lavaron con agua destilada para eliminar la sal y se secaron a 100°C en una estufa durante 24 h para determinar el peso seco (Trautman et al. 2000). Para calcular la proporción materia orgánica e inorgánica, la muestra se calcinó en un horno mufla durante 24 h a 500-550°C (Barthel 1995, Reincke y Barthel 1997) Las cenizas representan la fracción inorgánica y se usa comúnmente para describir la cantidad de sílice en la esponja. Sin embargo, en este

caso, las cenizas también representan el carbonato cálcico presente en el alga calcárea, por lo que posteriormente los carbonatos se eliminaron por calcinación a una temperatura de 900 a 1000 °C durante 24h y de esa manera se pudo conocer el peso del sílice y del carbonato

#### **8.4.6 Proporción de los diferentes géneros de algas que aparecen asociadas con *Sigmatocia caerulea***

Con la finalidad de conocer el género del alga predominante en la asociación, se determinó cada dos meses, la proporción de las algas rojas asociadas con la esponja en cuatro ejemplares por parcela. Para ello se contabilizó el número de veces que cada género de alga aparecía asociado con la esponja aprovechando cada una de las muestras que se recolectaban para determinar la proporción esponja-alga. Los géneros de algas fueron identificados utilizando las claves propuestas por Dawson (1944).

#### **8.4.7 Abundancia, distribución temporal y espacial (batimétrica) de *Jania*, *Amphiroa* y *Gelidiopsis***

Las principales algas que se asocian a la esponja se identificaron previamente al estudio recolectando muestras de la asociación de distintos lugares y épocas. Se estudió la abundancia en cada una de las parcelas permanentes. Esta experiencia se realizó con el fin de determinar si había relación entre la abundancia y distribución de las algas (con relación al tiempo y a la profundidad) y la densidad y distribución de la asociación. Para ello se utilizó un marco cuadrangular (cuadrante) de 625 cm<sup>2</sup> de área, dividido en cuadrículas de 1 cm<sup>2</sup>, el cual se colocaba sobre el sustrato y se contaba el número de cuadrículas ocupadas por el alga. El muestreo se realizó cada dos meses en cuatro puntos/parcela. La ubicación del cuadrante se realizó de forma contigua a cada uno de los cuatro ejemplares de la asociación esponja-alga seleccionado al azar. Como resultado, se obtuvo el porcentaje de alga por cada parcela y posteriormente, se promediaron las réplicas para obtener el porcentaje promedio por profundidad y mes.

#### **8.4.8 Periodo de reproducción sexual de *Jania* y *Amphiroa***

El periodo de reproducción sexual de las algas se determinó cuantificando el número de conceptáculos axiales presentes, es decir, el órgano sexual en el que se desarrollan

las tetrasporas antes de ser liberadas al medio. Las observaciones se llevaron a cabo en diez ejemplares de la asociación esponja-alga que se recolectaron mensualmente.

#### **8.4.9 Abundancia de erizo**

Este estudio se realizó con la finalidad de conocer si existía alguna relación entre la distribución de erizos predadores potenciales de algas calcáreas y la distribución de la asociación esponja-alga. La abundancia de erizo se determinó en las parcelas permanentes (ind/25 m<sup>2</sup>) mediante conteos visuales realizados cada dos meses.

## 9. TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

Para determinar la relación que pudiera existir entre el volumen de la asociación calculado in situ (en  $\text{cm}^3$ ) y el peso húmedo (g) calculado en el laboratorio se llevó a cabo un análisis de regresión que determinó que el modelo que mejor se ajustaba a esta relación era la alométrica de tipo potencial

La variación de la densidad de la asociación con respecto al tiempo y a la profundidad se analizó mediante un análisis de la varianza de dos factores

- factor 1 tiempo (con 12 niveles) ortogonal
- factor 2 profundidad (con 5 niveles) ortogonal y al azar.

Posteriormente se realizó una prueba de comparación múltiple de medias con el análisis de Student-Newman-Keulls. Previamente para saber si las varianzas de las variables utilizadas cumplían con los criterios de homocedasticidad, se aplicó la prueba de Cochran (Underwood 1997)

La relación de la temperatura del agua con la densidad de la asociación y con la abundancia de *Amphiroa* a través del tiempo, se examinó mediante correlaciones no paramétricas (correlaciones de rango de Spearman) (Zar 1984, Calvo 1985)

Para saber si existe una relación entre la densidad de la asociación y la abundancia de *Amphiroa* se llevó a cabo una correlación de rango de Spearman (Zar 1984, Calvo 1985) por profundidad a través del periodo de estudio

Para comprobar si existe una relación entre la temperatura del agua y el tamaño promedio de la asociación se llevó a cabo una correlación cruzada la cual consiste en correlacionar los datos de tamaño con la temperatura del agua del muestreo anterior

Los análisis estadísticos se realizaron con los programas de computación Statistica Statgraphics y Excel

## 10. RESULTADOS

### 10.1 Parámetros ambientales

#### 10.1.1 Temperatura del agua

El valor de temperatura más elevado se presentó durante julio y agosto de 2001 con 32°C. y el valor más bajo en marzo y mayo (2001) con 16°C (Fig 9) La temperatura máxima se incrementó desde enero (20°C) hasta julio (32°C) de 2001. y posteriormente descendió hasta febrero de 2002 (23°C). La temperatura mínima descendió desde enero (19°C) hasta mayo (16°C) de 2001 y posteriormente hubo un incremento hasta agosto (31°C). Después descendió hasta alcanzar el mínimo en enero de 2002 (19°C) Lo mas destacable es la diferencia de temperatura registrada en el periodo de enero a abril de 2002 (que fue mayor que la registrada en éste mismo periodo en el año 2001) y el amplio rango (7°C) entre la temperatura máxima y la mínima en marzo y abril de 2001 que fue menor (3°C) que el registrado en el mismo periodo de 2002 También es importante destacar que en mayo de 2001 se detectó la variación mensual máxima entre la temperatura máxima y mínima (10°C) de todo el periodo de estudio. La mínima variación entre ambos registros se presentó en febrero (2001) y agosto con un grado de diferencia. No se tiene el registro de septiembre por la pérdida del termómetro

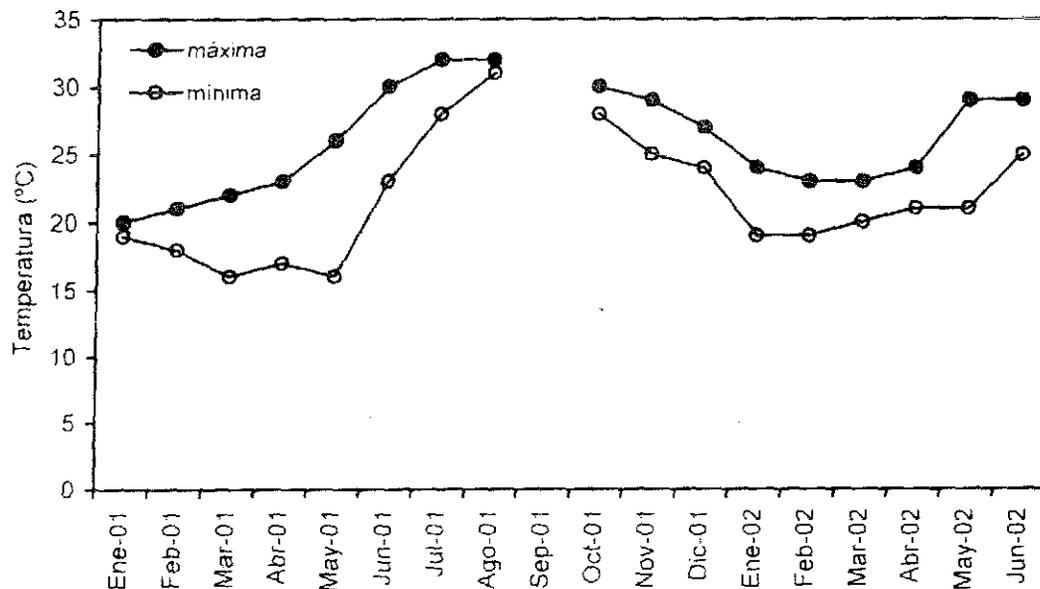


Fig 9 Temperatura máxima y mínima registradas mensualmente durante el periodo de estudio en la bahía de Mazatlán

### 10.1.2. Sedimentación/resuspensión y características texturales

Los meses con los valores más altos fueron abril, mayo y septiembre de 2001 (Fig. 10). De abril a mayo de 2001 la tasa se incrementó desde 6 kg peso seco/m<sup>2</sup>/día a 11.1 kg peso seco/m<sup>2</sup>/día. Posteriormente, en junio, descendió considerablemente hasta 0.2 kg peso seco/m<sup>2</sup>/día y aumentó de nuevo en julio hasta 1.7 kg peso seco/m<sup>2</sup>/día. El valor mínimo se detectó en marzo de 2002 con 0.06 kg peso seco/m<sup>2</sup>/día. Se carece del registro de éste parámetro desde octubre hasta diciembre debido a que los recipientes colectores se perdieron o estaban volcados. La tasa de sedimentación/resuspensión disminuyó desde enero de 2002 hasta marzo del mismo año de 0.3 a 0.06 kg peso seco/m<sup>2</sup>/día. No obstante, en abril de 2002 el valor presentó un ligero incremento hasta 0.34 kg peso seco/m<sup>2</sup>/día.

El contenido de materia orgánica presentó una variación aparentemente relacionada con la variación de la tasa de sedimentación/resuspensión pero de forma inversa. De abril a julio osciló en el rango de 4 y 8%. El valor máximo se registró en agosto (19.6%) y el mínimo en enero de 2002 con 0.7%. El contenido de materia orgánica tendió a incrementarse hasta un 15.8% de enero a marzo de 2002. En abril de 2002 el contenido de materia orgánica se incrementó hasta 8.5%, superior al valor registrado en abril de 2001 que fue de 6.5%.

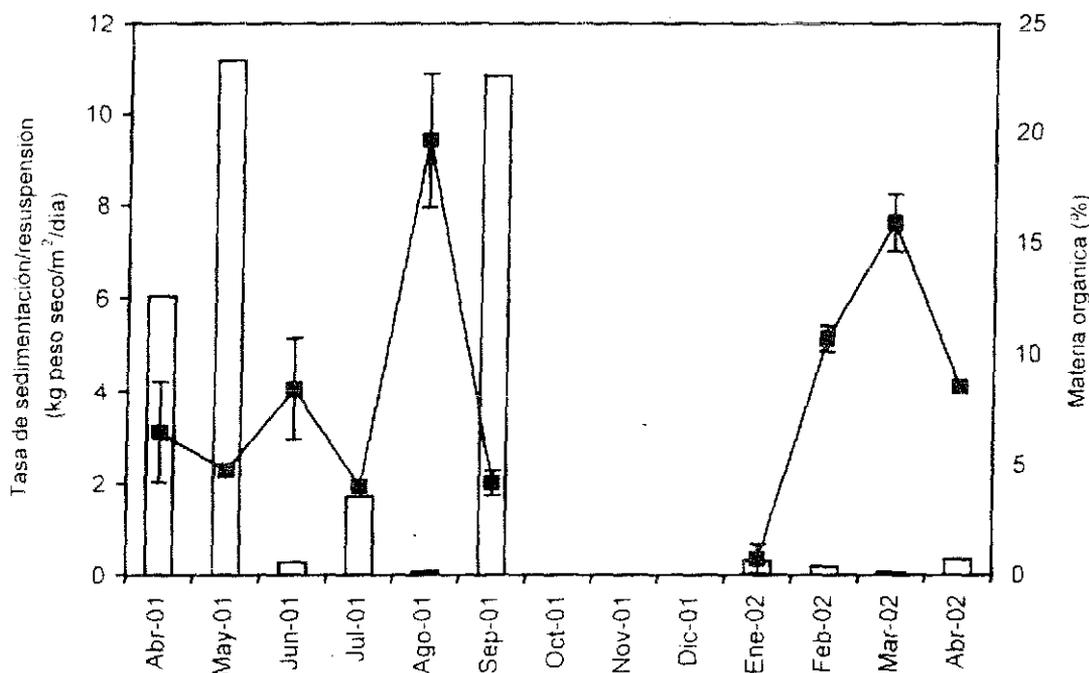


Fig. 10 Variación de la tasa de sedimentación/resuspensión (barras) y porcentaje de materia orgánica (línea continua) durante el tiempo de estudio.

En la Tabla 1 se representa la proporción de los distintos tamaños de grano del sedimento contenido en los recipientes colectores. La clasificación se realizó de acuerdo con el volumen de las partículas. La composición del sedimento estuvo formado mayormente por material de origen bioclástico (fragmentos de concha foraminíferos briozoarios, espículas, etc.). El sedimento que se recolectó durante casi todo el periodo de estudio fue mayormente de textura fina, excepto en julio que se clasificó como arena muy gruesa. La elevada proporción de arena gruesa observada en julio podría estar relacionada con un periodo de intenso movimiento de arenas, como la tasa de sedimentación/resuspensión registrada en mayo. Las arenas gruesas se observaron en abril, mayo, junio, agosto y septiembre de 2001, aunque en menores proporciones que la arena fina. De enero a abril de 2002, el material recolectado presentó características similares con mayor proporción de arena fina.

Tabla 1. Proporción (%) del tamaño de las partículas del sedimento recolectado durante el periodo de estudio. Amg = arena muy gruesa (>1.41 mm de diámetro), Ag = arena gruesa (entre 0.71 y 1.41 mm), Am = arena media (entre 0.42 y 0.71 mm), Af = arena fina (entre 0.2 y 0.42 mm).

	<b>Amg</b>	<b>Ag</b>	<b>Am</b>	<b>Af</b>
Abril (2001)	4.02	8.22	5.16	82.59
Mayo	7.17	13.05	5.60	74.16
Junio	8.53	28.21	15.15	48.09
Julio	46.08	44.91	8.11	0.89
Agosto	4.77	22.44	15.09	57.69
Septiembre	10.95	18.83	25.10	43.93
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				
Enero (2002)	0.00	18.32	14.74	55.38
Febrero	0	0	10	90
Marzo	0	0	6	94
Abril	0.88	6.98	14.51	76.52

## **10.2. Distribución de la asociación esponja-alga en la bahía de Mazatlán y zonas próximas**

Los resultados indican que *S. caerulea* está ampliamente distribuida en la zona de estudio, desde la estación Cerritos hacia el N y hasta la isla Cardones en el S. También se observó en el interior del sistema estuarino de Uriás. Por otra parte, en todas las estaciones ubicadas en la bahía de Mazatlán se ha observado la esponja asociada invariablemente a alguna alga. Sin embargo, de forma muy ocasional se encontraron ejemplares creciendo sin el alga en el interior del estero de Uriás y sobre otras esponjas en la zona S de isla Pájaros.

## **10.3. Dinámica poblacional**

### **10.3.1 Abundancia de la asociación esponja-alga**

Lo más destacable es el descenso brusco de la abundancia al inicio del estudio (Fig 11a) la cual disminuye drásticamente desde 119 ind/250 m<sup>2</sup> en abril, hasta 37 ind/250 m<sup>2</sup> en mayo de 2001. Posteriormente fue aumentando progresivamente hasta octubre (69 ind/250 m<sup>2</sup>), aunque sin alcanzar los valores detectados al inicio del estudio. Desde octubre hasta diciembre nuevamente se registró un descenso paulatino de la abundancia hasta alcanzar un mínimo de 33 ind/250 m<sup>2</sup>. De enero a abril de 2002, al contrario de lo observado en 2001, la abundancia tendió a incrementarse hasta 98 ind/250 m<sup>2</sup>.

También se detectaron cambios importantes de la abundancia en relación con la profundidad (Fig 11b). La distribución espacial de la asociación en febrero y abril de 2001 se vio restringida al intervalo de profundidad comprendido entre los 2.8 y los 4.5 m, presentando la máxima abundancia en el intervalo 3.9 a 4.4 m. Sin embargo, a partir de mayo (2001) y hasta abril de 2002, la distribución se extendió hasta las zonas más someras (desde 2.3 a los 4.4 m de profundidad), detectándose el máximo de abundancia en el intervalo 2.8-3.3 m. La abundancia promedio de la asociación en el intervalo de 2.8-3.3 m de profundidad permaneció más estable en relación con los valores obtenidos en otros intervalos de profundidad a lo largo del tiempo. La abundancia continuó disminuyendo de mayo (2.5 ind/25 m<sup>2</sup>) a julio (0.5 ind/25 m<sup>2</sup>) en el intervalo de profundidad 3.9-4.4 m. De agosto a octubre se registró un incremento en las profundidades de 2.3-2.8 m y 3.9-4.4 m. La variación de la abundancia fue similar

en cada profundidad a lo largo del tiempo, excepto en el intervalo de 4.0-4.5 m en el cual la asociación desapareció por completo a partir de mayo. Durante el periodo de estudio se logró detectar una cierta estacionalidad. En invierno-primavera y en verano-otoño se registraron los máximos y mínimos valores de la abundancia respectivamente. La profundidad promedio a la cual se registró la máxima abundancia de la asociación varió de 4.15 m de febrero a abril de 2001 a 3.05 m a partir de mayo de 2001.

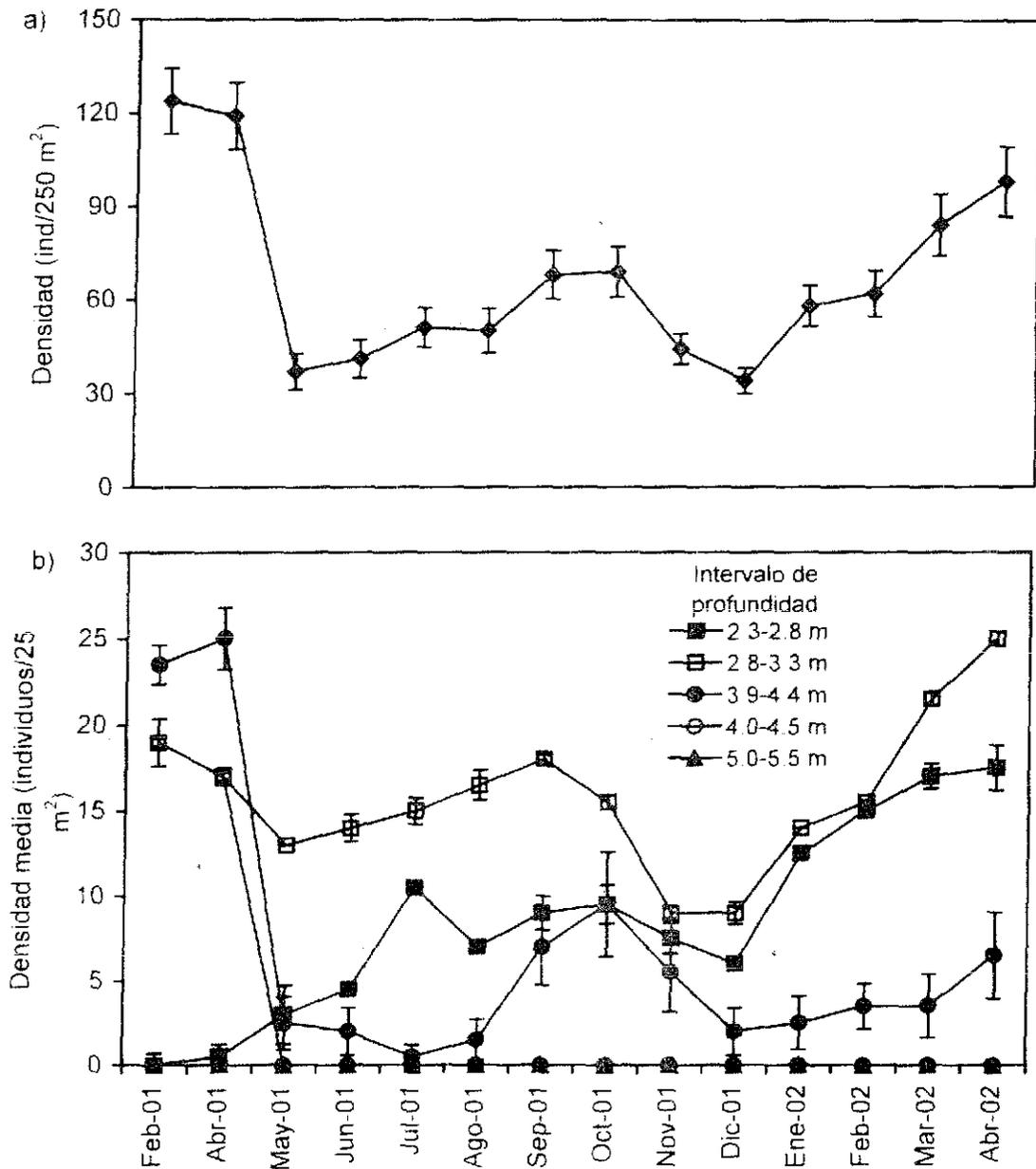


Fig. 11. a) Variación estacional de la abundancia de la asociación esponja-alga. Las líneas nos indican el error estándar. b) Variación estacional de la abundancia media de la asociación en relación con la profundidad.

Los datos de abundancia cumplieron con el criterio de homocedasticidad determinado mediante la prueba de Cochran ( $C = 0.1037$ ). El resultado del análisis de varianza de dos vías para examinar la variación de la abundancia de la asociación con respecto al tiempo (factor 1:  $p < 0.0001$ ) y a la profundidad (factor 2:  $p < 0.0001$ ) indicó que ambos factores fueron significativos (Tabla 2). El primer factor indica que existen cambios significativos en la abundancia de la asociación a lo largo del año y el segundo indica que la abundancia también varía significativamente en función de la profundidad.

Tabla 2. Resultado del Análisis de Varianza de dos vías para la densidad espacio-temporal de la asociación. Factores: tiempo (13 niveles, ortogonal) profundidad (cinco niveles, ortogonal)

FACTORES	SS	DF	MS	F	p
Tiempo	919.57	12	76.63	3.19	0.001
Profundidad	1866.97	4	466.74	19.43	0.000
Tiempo X profundidad	3606.43	48	75.13	3.13	0.000
Residuos	1561.50	65	24.02		
Total	7954.47	129			

Además se obtuvo una interacción tiempo/profundidad significativa ( $p < 0.0001$ ) que indicó que hubo periodos de tiempo donde no había diferencias significativas entre las profundidades con respecto a la abundancia y viceversa que había profundidades que mantuvieron su abundancia estable a lo largo de periodos de tiempo.

Con respecto al tiempo los resultados indican (*SNK test*  $p > 0.01$ ) una gran homogeneidad en la variación temporal de la abundancia en 2.3-2.8 m y 2.8-3.3 m (no varió significativamente a lo largo del estudio). Sin embargo a partir de mayo se encontraron diferencias temporales muy significativas en el intervalo 3.9-4.4 m febrero < abril > mayo = junio = julio = agosto < septiembre > octubre = noviembre = diciembre = enero2002 < febrero2002 > marzo2002) en el 4.0-4.5 m febrero > abril > mayo = junio = julio = agosto = septiembre = octubre = noviembre = diciembre = enero 2002 = febrero = marzo2002 y en el 5.0-5.5 m febrero = abril < mayo < junio > julio = agosto < septiembre > octubre > noviembre < diciembre < enero2002 > febrero2002 > marzo2002 que indicaba que a partir de este mes se produjo un cambio muy importante en la abundancia de la asociación en esos intervalos de profundidad, el cual se ha mantenido hasta el final del estudio. Con respecto al intervalo 5.0-5.5 m, la abundancia fue siempre cero y no se encontraron diferencias significativas a lo largo

del año.

Los resultados obtenidos con el análisis SNK (*SNK test*,  $p > 0.05$ ) con respecto a la profundidad (2.3-2.8 m, 2.8-3.3 m, 3.9-4.4 m, 4.0-4.5 m, 5.0-5.5 m) indicó que en los meses de febrero y abril de 2001 hubo una gran heterogeneidad espacial en la distribución de la abundancia. A partir de mayo de 2001, el análisis indicó que se homogeneizó la distribución espacial de la abundancia, detectándose un intervalo de profundidad con similar abundancia que abarcaba los intervalos 3.9-4.4 m y 4.0-4.5 m. Esta situación se mantuvo hasta el final del estudio, cuando de nuevo se incrementó el área de homogenización de la abundancia hasta la profundidad delimitada por el intervalo 5.0-5.5 m.

### **10.3.2 Reproducción sexual de *Sigmatocia caerulea***

Durante el periodo de estudio se detectó un periodo de reproducción sexual por año. Este periodo de reproducción se extendió desde mayo a septiembre en el 2001. En el 2002 la reproducción comenzó en el mes de marzo (Fig. 12). La máxima producción de embriones en el primer periodo se registró en mayo (2631 embriones/l), disminuyendo paulatinamente hasta septiembre con 88 embriones/larvas/l. De mayo a julio se observaron únicamente embriones; posteriormente de agosto a septiembre se observaron embriones y larvas ciliadas. El máximo valor en el 2002 se registró en marzo con 6009 embriones/larvas/l y un 14% de ejemplares en reproducción. Después, en abril la producción disminuyó a 3300 embriones/larvas/l. El mayor porcentaje de ejemplares en reproducción se observó en junio (2001) con 100%, el cual posteriormente disminuyó hasta septiembre (44%).

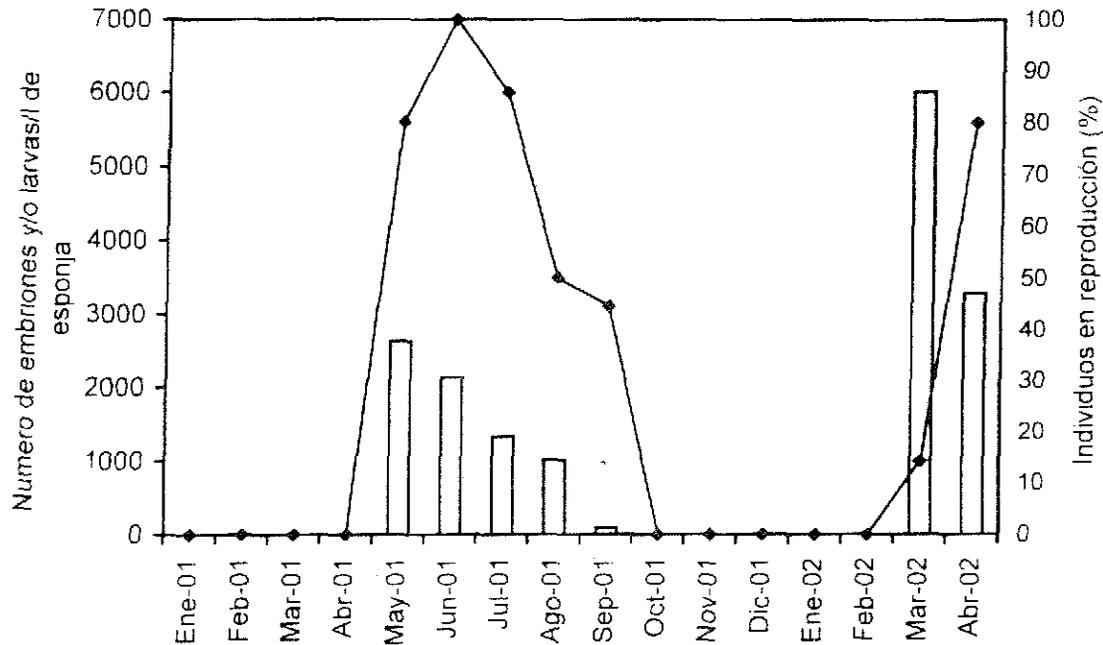


Fig 12 Producción de embriones y/o larvas/l de *Sigmadocia caerulea* durante el periodo de estudio (barras, eje principal) y porcentaje de ejemplares en reproducción (línea continua, eje secundario)

### 10.3.3 Reclutamiento

El reclutamiento expresa el número de individuos nuevos (fijos al sustrato) dentro de un área de 250 m<sup>2</sup> (Fig. 13). Al inicio del estudio (de abril a mayo 2001) se produjo una disminución desde 30 hasta 19 reclutas posteriormente de mayo a julio de 2001 el número fue aumentando desde 19 hasta 36 individuos. El mayor número de reclutas se detectó en julio y en septiembre con 36 individuos. En noviembre no se observó reclutamiento alguno. A partir de diciembre se incrementó el reclutamiento hasta febrero de 2002 (34 ind). El número de reclutas disminuyó en marzo (2002) hasta 30 individuos. En abril se observó un ligero incremento de 3 reclutas más que el mes anterior.

La contribución del reclutamiento al mantenimiento de la población (como porcentaje de reclutamiento sobre el total de individuos por unidad de área), varió dependiendo de la época del año, detectándose dos máximos uno desde abril hasta octubre de 2001, y otro desde diciembre de 2001 hasta abril de 2002. El mayor porcentaje de reclutamiento se detectó en julio con un 71% es decir, que de un total de 51 individuos censados 36 de ellos fueron reclutas.

Por otra parte, el reclutamiento también fue muy variable respecto a la profundidad (Fig 14). Durante casi todo el periodo de estudio, los valores más altos fueron

registrados en el intervalo de 2.8-3.3 m. excepto en abril y octubre de 2001 y en abril de 2002. En abril de 2001 el valor máximo (14 ind) se registró en el intervalo de 3.9-4.4 m. La mayor afluencia se registró en marzo de 2002 con 21 reclutas a una profundidad de 2.8-3.3 m. En noviembre no se detectó ningún individuo nuevo. En el intervalo de 4.0 a 4.5 m. únicamente se tiene el registro de abril ya que a partir de mayo no se observó la presencia de la asociación a esa profundidad. La tendencia del reclutamiento con respecto al tiempo fue muy similar en las profundidades de 2.3-2.8 m y 3.9-4.4 m. El reclutamiento aumentó de marzo a abril de 2002 en los intervalos de 2.3-2.8 m y 3.9-4.4 m. mientras que en el intervalo de 2.8-3.3 m ocurrió lo contrario al registrarse 9 individuos menos que el mes anterior.

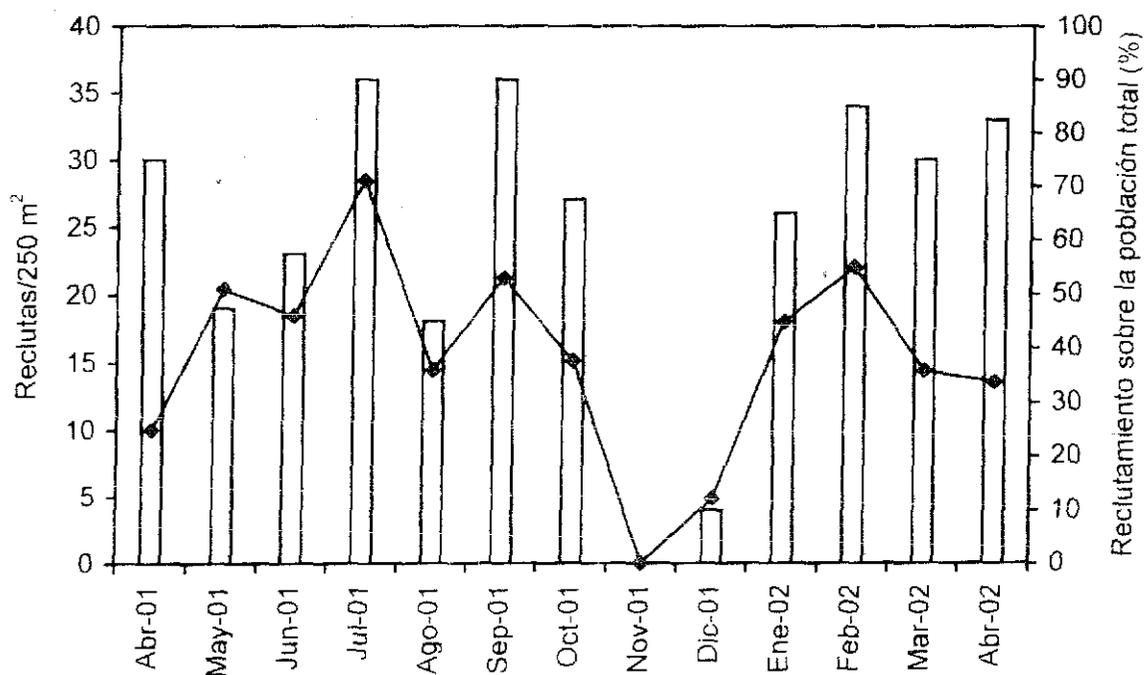


Fig. 13 Variación temporal del reclutamiento (barras eje principal) y la contribución de los organismos nuevos al total de la población (línea continua) de la asociación esponja-alga durante el periodo de estudio.

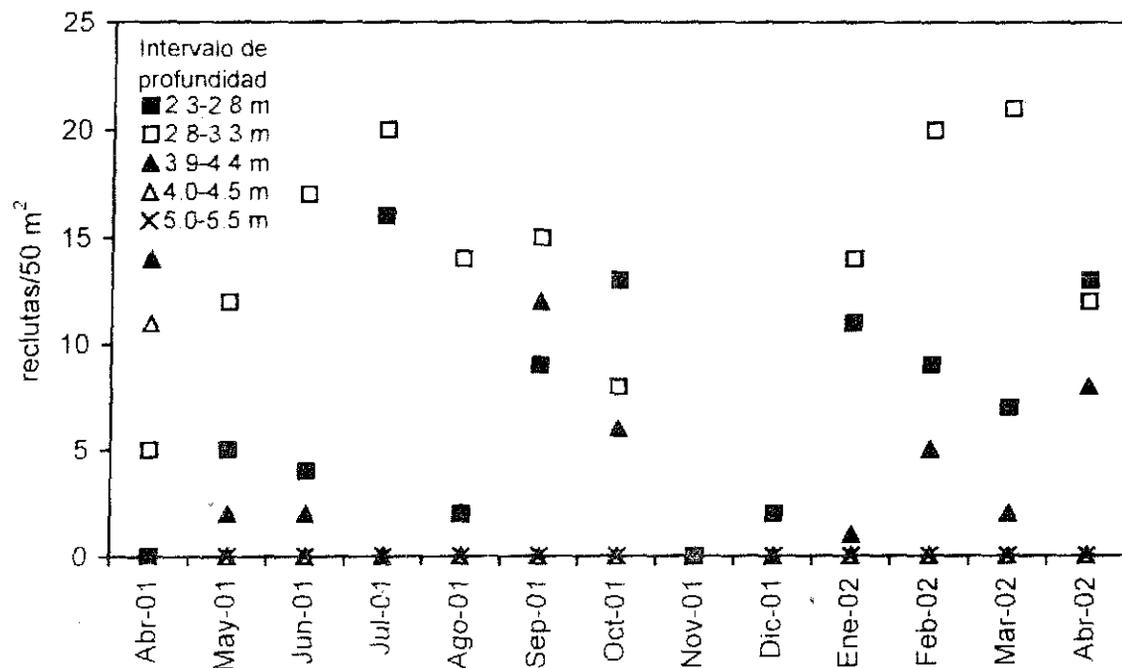


Fig 14 Variación espacio-temporal del reclutamiento de la asociación esponja-alga por nivel de profundidad.

#### 10.3.4 Variación del tamaño promedio (volumen) y de la biomasa de la asociación

La relación establecida entre el volumen ( $\text{cm}^3$ ) y el peso húmedo (g) de ejemplares de la asociación en el laboratorio se ajustó a un modelo de tipo potencial ( $y = a x^b$ ) (Fig 15). Se obtuvo la siguiente ecuación:  $y = 0.31583489X^{0.9897}$ , ( $r^2 = 1$ ,  $n = 34$ ), donde  $y$  es el peso húmedo a calcular a partir de la obtención del volumen ( $\text{cm}^3$ ) *in situ*. El error estándar (SE) de la relación es  $\pm 32.3$ .

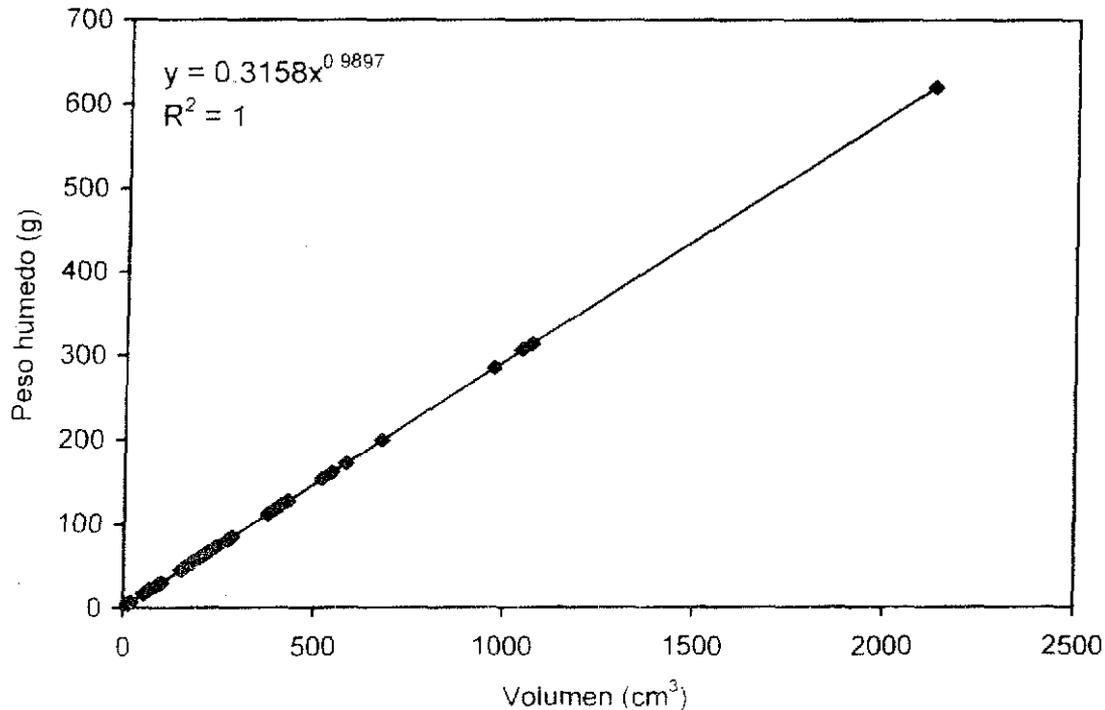


Fig. 15. Relación volumen-peso húmedo de ejemplares de la asociación esponja-alga ajustados a una línea potencial. La ecuación de la línea de tendencia está indicada dentro de la figura.

El tamaño promedio (expresado en unidades de volumen) por individuo en un área de 250 m<sup>2</sup> (Fig. 16). Los ejemplares de mayor tamaño se detectaron en junio de 2001 con 935 cm<sup>3</sup> y los de menor tamaño en diciembre del mismo año con 209 cm<sup>3</sup> por ejemplar. El tamaño presentó una tendencia clara al incrementarse desde febrero a junio de 2001 de 636 a 935 cm<sup>3</sup> y posteriormente disminuyó paulatinamente hasta diciembre (209 cm<sup>3</sup>). A partir de diciembre (2001) se presentó de nuevo un incremento en el tamaño medio de los ejemplares desde 209 cm<sup>3</sup> hasta 513 cm<sup>3</sup> en abril de 2002.

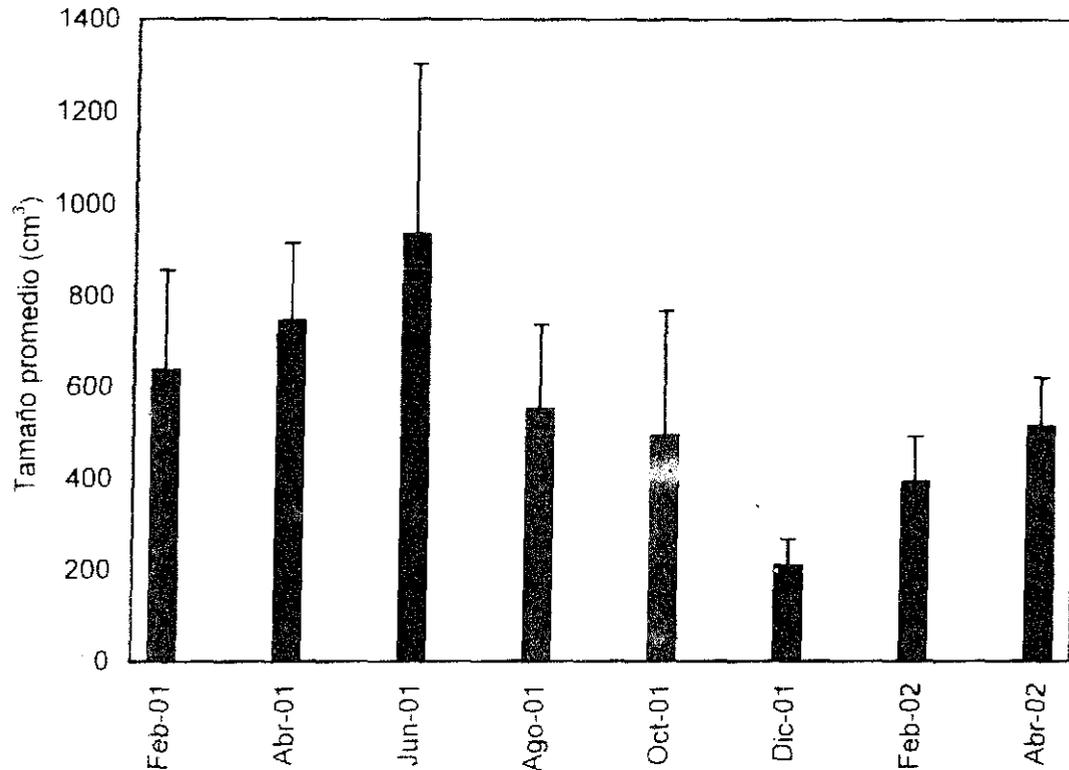


Fig. 16. Variación del tamaño promedio (volumen) de la asociación esponja-alga durante el periodo de estudio. Las líneas representan el error estándar

En la figura 17 se observan grandes fluctuaciones estacionales en el tamaño de los ejemplares por intervalo de profundidad a lo largo del tiempo. Los ejemplares de mayor tamaño se detectaron desde febrero hasta abril de 2001 en el intervalo de 2.8-3.3 m. Posteriormente en junio y agosto el tamaño disminuyó considerablemente en éste intervalo. En octubre, los ejemplares de mayor tamaño (1036 cm<sup>3</sup>) se registraron en el intervalo de 2.8-3.3 m.

Los ejemplares más grandes se registraron en junio con un tamaño promedio de 1623 cm<sup>3</sup> en el intervalo de 2.3-2.8 m. Sin embargo, el ejemplar de mayor volumen se registró en octubre (4778 cm<sup>3</sup> aproximadamente) con un perímetro de 78 cm y una altura de 9 cm.

El tamaño promedio aumentó de febrero a abril de 2001, posteriormente disminuyó de 409 a 44 cm<sup>3</sup> en junio en el intervalo de 3.9-4.4 m. En éste mismo intervalo (3.9-4.4 m) el tamaño tendió a incrementarse desde junio de 2001 hasta abril de 2002 con un promedio de 852 cm<sup>3</sup>. Los individuos de menor tamaño se registraron en junio entre

3.9 y 4.4 m. A partir de mayo de 2001 no se registraron individuos en el intervalo de 4.0-4.5 m.

No se encontró relación entre la abundancia de la asociación y el tamaño promedio calculado del total de los individuos ni por profundidad.

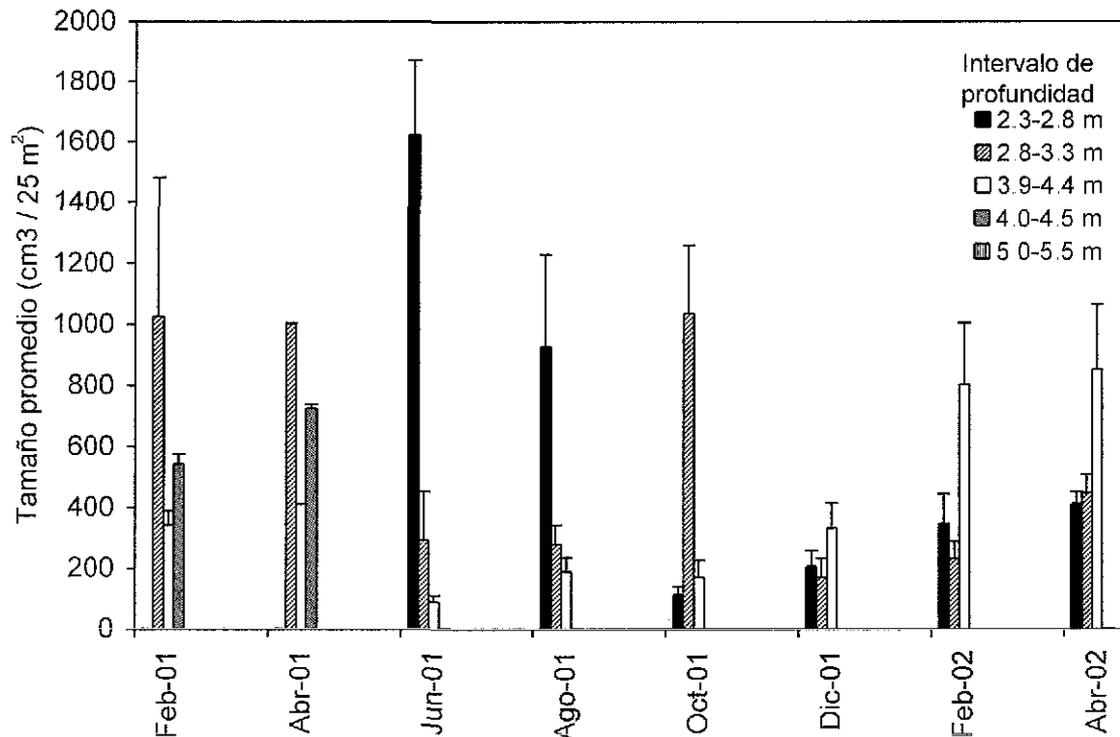


Fig. 17. Variación del tamaño promedio (volumen) de la asociación por intervalo de profundidad a través del periodo de estudio. Las líneas representan el error estándar.

A partir del modelo de regresión entre el volumen calculado y el peso húmedo ( $y=0.31583489X^{0.9897}$ ) (Fig. 15), se calculó la biomasa de la asociación por unidad de área (g peso húmedo/m<sup>2</sup>). Se registró un incremento desde febrero de 2001 (92.5 g peso húmedo/m<sup>2</sup>) hasta abril (99.5 g peso húmedo/m<sup>2</sup>) del mismo año, detectándose en éste mes el valor más alto. A partir de abril la biomasa disminuyó hasta 8.8 g peso húmedo/m<sup>2</sup> en diciembre. A partir de diciembre, se produjo un incremento hasta abril de 2002 de 59.4 g peso húmedo/m<sup>2</sup> (Fig. 18). Los valores de biomasa más altos detectados en febrero, abril de 2001 se registraron en el intervalo de 2.8-3.3 m (Fig. 19). En octubre y diciembre de 2001 y abril de 2002 la biomasa fue mayor en el intervalo de menor profundidad (2.8-3.3 m).

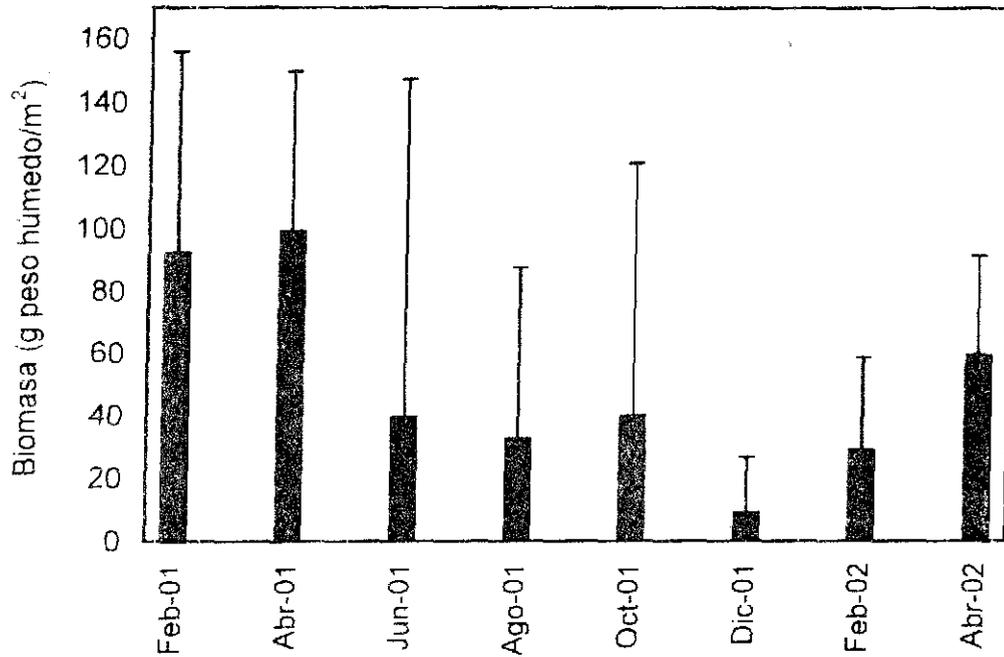


Fig. 18 Variación de la biomasa promedio (g peso húmedo/m<sup>2</sup>) de la asociación a lo largo del tiempo. Las líneas representan el error estándar.

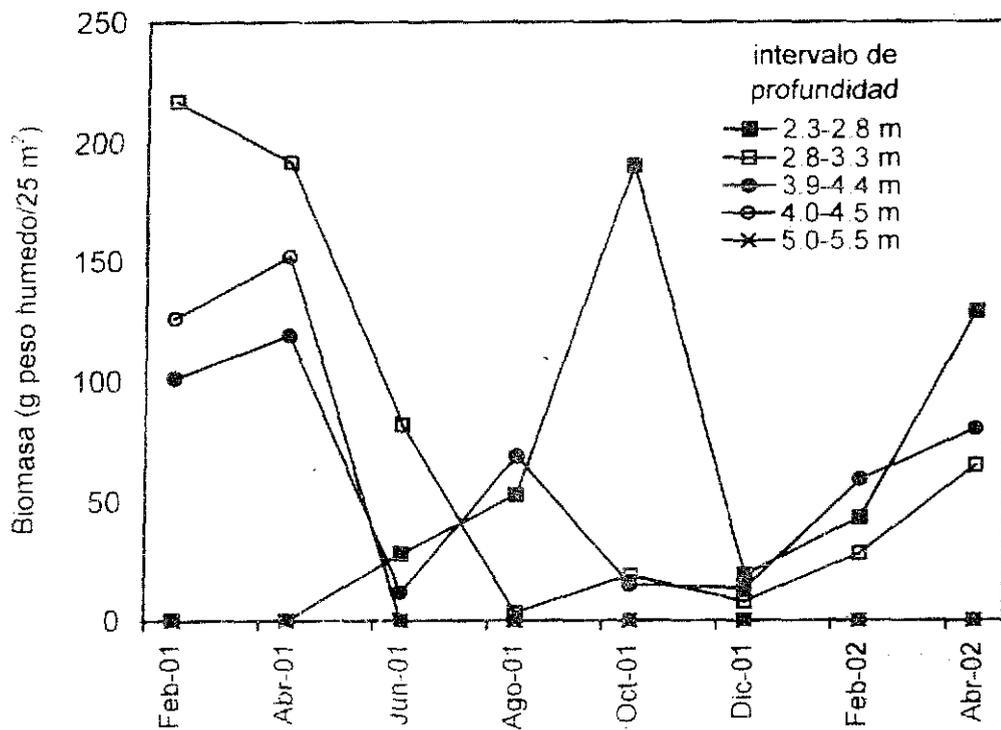


Fig. 19 Biomasa promedio de la asociación esponja-alga por profundidad a través del periodo de estudio. El error estándar se muestra en el Anexo I.

### 10.3.5 Proporción esponja-alga en la asociación

La proporción esponja-alga varió a lo largo del tiempo y del espacio. La proporción mínima de esponja se registró en febrero de 2001 y en febrero y marzo de 2002 con 37%. La máxima proporción de esponja se obtuvo en octubre (48%) (Fig. 20a)

La proporción de alga a lo largo del tiempo presentó una tendencia diferente a la de la esponja. La proporción mínima de alga se obtuvo en abril de 2001 (8%) mientras que los valores máximos se registraron en junio y diciembre (32%)

En la figura 20b se observa la variación de la proporción de esponja en la asociación con respecto a la profundidad. Los registros de la proporción esponja-alga en el intervalo de 2.3-2.8 m comenzaron a realizarse a partir de junio debido a que fue en este mes en el que se registraron individuos en esta profundidad alcanzando el máximo valor de la proporción de esponja en junio (58%). El valor máximo de esponja (48%) registrado en el intervalo de 2.8-3.3 m fue en octubre. Los valores más altos se registraron de abril a octubre (2001) en el intervalo de 3.9-4.4 m. La proporción en el intervalo de 4.0-4.5 m únicamente se registró hasta abril (2001) a partir del cual ya no se observaron ejemplares. No se hallaron individuos en el intervalo de profundidad 5.0-5.5 m

La mayor proporción de alga en la asociación se detectó en junio, la cual fue muy similar en todo el intervalo de profundidad estudiado (aproximadamente 42%)(Fig. 20c). La proporción mínima de alga (7%) se presentó en abril de 2001 en los intervalos de 2.8-3.3 m y 3.9-4.4 m

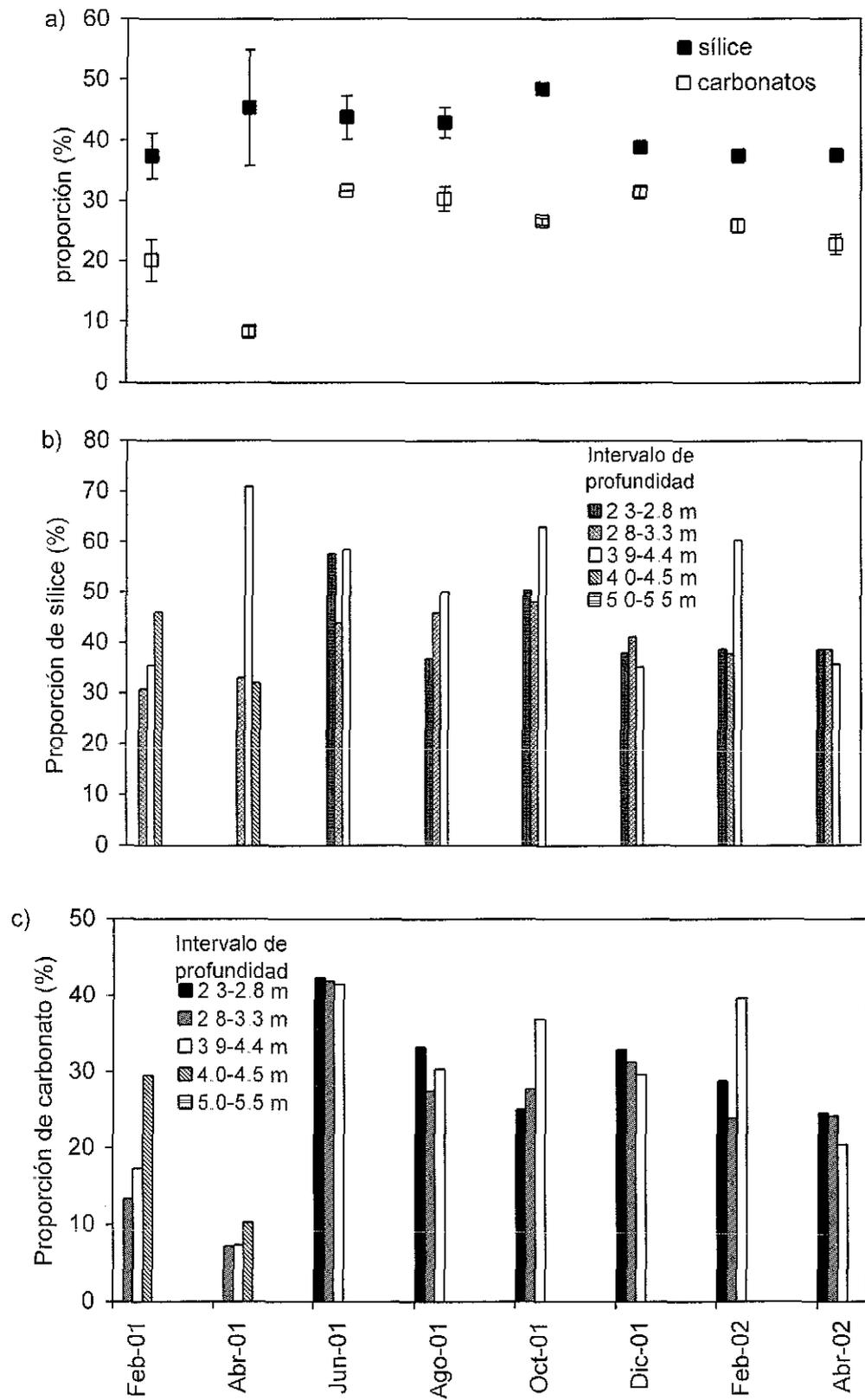


Fig. 20 a) Proportión media de carbonato de calcio y sílice en la asociación esponja-alga a través del tiempo. b) y c) Proportión media de sílice y carbonato en función de la profundidad durante el periodo de estudio.

### 10.3.6 Proporción de los diferentes géneros de algas que aparecen asociadas a *Sigmadocia caerulea*

Las algas que con más frecuencia estuvieron asociadas a la esponja son las del género *Jania*. La asociación *Jania-Sigmadocia caerulea* fue dominante de febrero a agosto, con una frecuencia promedio de 85.9% con respecto a *Amphiroa* (3.5%) y *Gelidiopsis* (10.5%). En octubre, *Jania* fue la única alga que se detectó asociada a la esponja.

Se observó que en casi todo el periodo de estudio fue más común la asociación de la esponja con *Gelidiopsis* que con *Amphiroa*, excepto en febrero de 2001 cuyo porcentaje de frecuencia fue igual (6.25%) y en junio, cuando el porcentaje de *Amphiroa* fue mayor. En agosto no se observó la presencia de *Amphiroa* en asociación con *S. caerulea* (Fig. 21). La presencia de *Jania* disminuyó paulatinamente de un 100% a 75% desde octubre de 2001 hasta abril de 2002, mientras que en este mismo periodo el porcentaje de *Gelidiopsis* se incrementó de 0% a 20%.

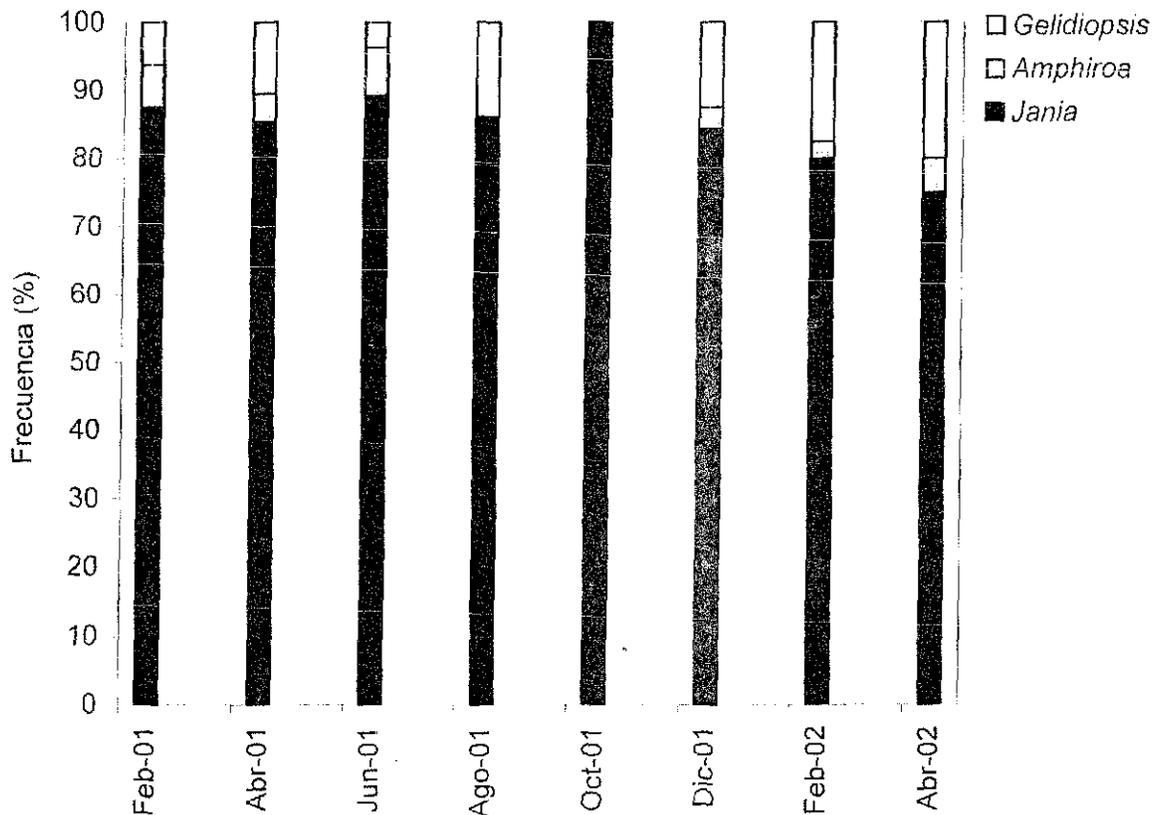


Fig. 21 Variación temporal de la frecuencia de aparición de los diferentes géneros de algas que se asocian con *Sigmadocia caerulea*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 10.3.7 Abundancia, distribución batimétrica y temporal de *Jania*, *Amphiroa* y *Gelidiopsis*

De los tres géneros de algas rojas (*Amphiroa*, *Jania* y *Gelidiopsis*) que se han encontrado en asociación con la esponja, *Amphiroa* es el único que se ha encontrado viviendo independientemente de la esponja dentro de las parcelas de seguimiento. *Amphiroa* presentó un patrón de distribución que decrece conforme aumenta la profundidad (Fig. 22). En general, se observó que la abundancia de *Amphiroa* disminuyó durante el periodo de febrero a junio de 2001, y se incrementó en el periodo de agosto a febrero de 2002. La abundancia de *Amphiroa* disminuyó considerablemente desde febrero hasta abril de 2002. La abundancia media de *Amphiroa* a lo largo del estudio varió de 0 a 12% aproximadamente. La abundancia máxima se registró en el intervalo 2.3-2.8 m en casi todo el periodo de estudio, excepto en junio, cuando se detectó en el intervalo 2.8-3.3 m. A partir de agosto no se registró la presencia del alga en el intervalo de 4.0 a 5.5 m de profundidad. El intervalo de profundidad sobre el cual la abundancia presentó mayor variación a lo largo del tiempo fue el de 2.3-2.8 m. El error estándar correspondiente a los valores en la figura 22 se muestran en el anexo II.

La mayor abundancia se detectó a una profundidad media de 2.55 m, excepto en junio que se registró a 3.05 m.

La abundancia promedio de la asociación por profundidad y la abundancia de *Amphiroa* por profundidad no mostraron una correlación significativa en ningún intervalo de profundidad. La abundancia promedio de la asociación presentó una correlación significativa con la abundancia de *Amphiroa* únicamente en junio de 2001 ( $r = 0.9722$ ,  $p = 0.006$ ,  $n = 7$ )

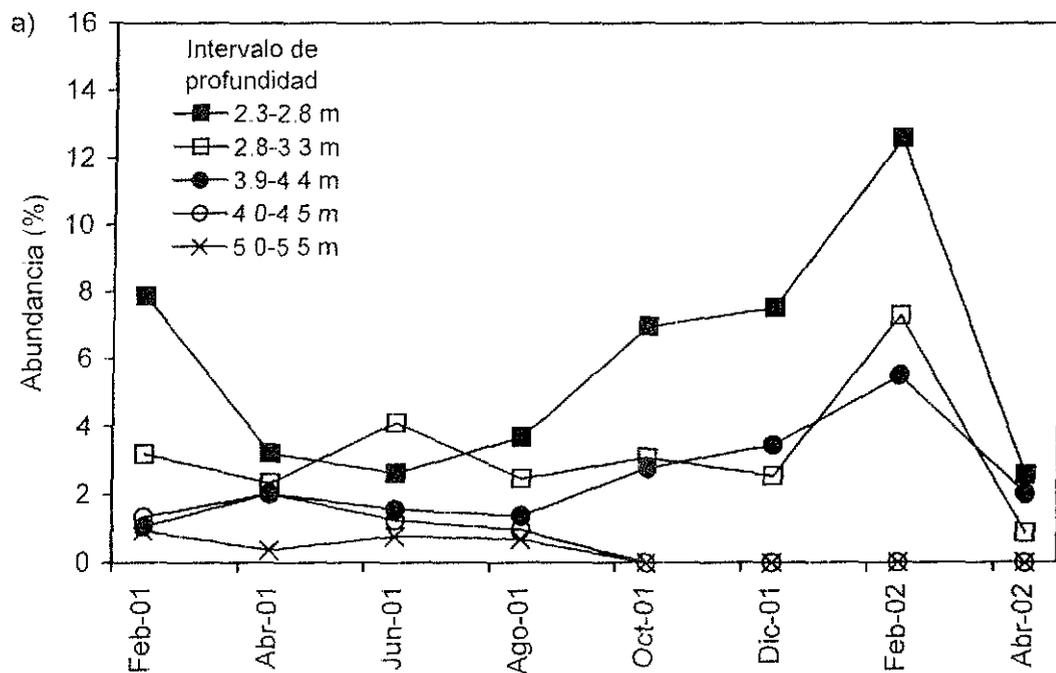


Fig. 22. Abundancia promedio de *Amphiroa* por profundidad a través del tiempo. El error estándar se muestra en el Anexo II.

### 10.3.8 Periodo de reproducción sexual de las algas

No se observó la presencia de conceptáculos axiales en las distintas especies de algas calcáreas que aparecen en asociación con la esponja; *Jania* y *Amphiroa*.

### 10.3.9 Abundancia de erizo

En la zona de estudio se encontraron las especies *Toxopneustes roseus* (Agassiz), *Echinometra van brunti* (Agassiz), *Diadema mexicanum* (Agassiz) (Caso 1979). En la figura 23 se representa la distribución espacial y temporal de la abundancia promedio de las tres especies juntas. La mayor abundancia promedio (53.5 ind/25 m<sup>2</sup>) se registró en febrero de 2001 en el intervalo de 2.3-2.8 m de profundidad, posteriormente disminuyó considerablemente hasta desaparecer en agosto (0 ind/25 m<sup>2</sup>). Durante casi todo el periodo de estudio no se observaron erizos en el intervalo de 3.9 a 4.5 m, excepto en abril (1 ind/25 m<sup>2</sup>). Las tres especies de erizos se observaron distribuidas en todo el intervalo de profundidad estudiado (2.3-5.5 m), pero su presencia fue menos frecuente a mayor profundidad. Por lo general, la incidencia de estos organismos sobre el área de muestreo fue muy escasa, sobre todo en el intervalo de profundidad de 2.8-

5.5 m de profundidad. Por lo general no se detectó una gran variación en la abundancia entre las dos réplicas, excepto en febrero de 2001, en el cual se registró una diferencia de 95 ejemplares en la profundidad de 2.3-2.8 m.

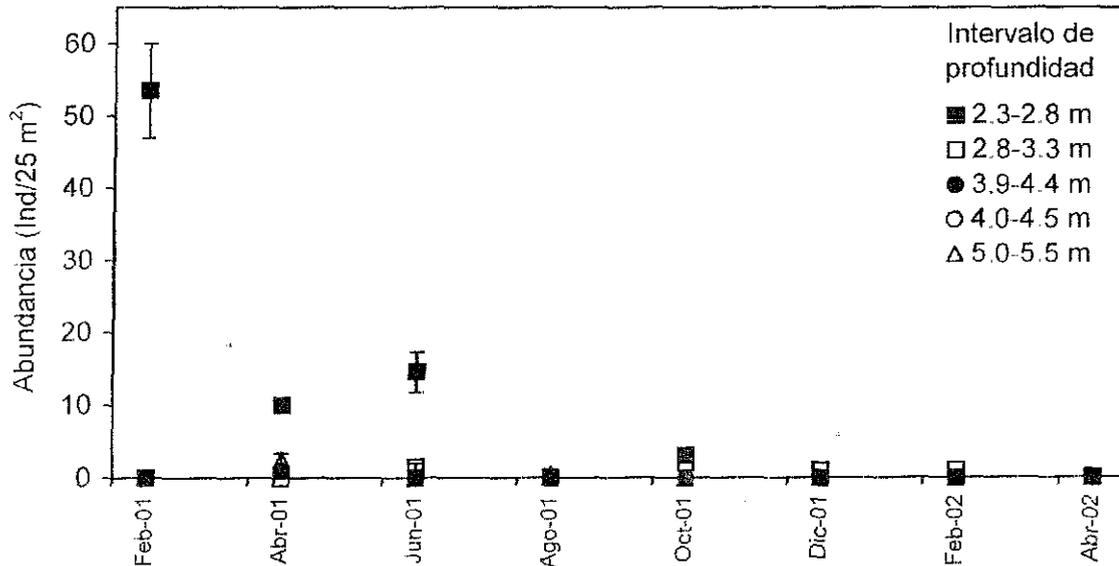


Fig. 23 Abundancia promedio de erizos con relación al tiempo y a la profundidad. Las líneas verticales indican el error estándar.

#### 10.4 Relación de la abundancia de la asociación con variables ambientales

Se obtuvo una correlación negativa entre la temperatura máxima mensual y la abundancia total a través del tiempo ( $r = -0.64$ ,  $p < 0.02$ ), que indica que el descenso de la temperatura coincide con un aumento en la abundancia de la asociación.

No se encontró relación entre la abundancia de *Amphiroa* y la variación temporal de la temperatura del agua.

De acuerdo con el resultado de la correlación cruzada entre la temperatura del agua y el tamaño promedio de la asociación, se obtuvo una correlación significativa ( $r = 0.64$ ,  $n = 8$ ) utilizando un retraso de una serie de tiempo (2 meses).

## 11. DISCUSIÓN

### **Influencia de las variables ambientales sobre la densidad de la asociación.**

El incremento en la temperatura del agua en la bahía de Mazatlán desde enero hasta agosto se atribuye a un fenómeno que ocurre estacionalmente, como es la entrada de la contracorriente ecuatorial que mueve agua hacia latitudes medias. Posteriormente, a partir de agosto se detectó un descenso en la temperatura atribuido a la corriente de California (agua fría) que se presenta normalmente en ésta región a finales de verano. Durante el período de estudio se observó que las temperaturas registradas en enero, febrero y marzo de 2002 fueron relativamente más elevadas que en éste mismo periodo en el año de 2001.

Se obtuvo una asociación significativa y negativa entre la densidad de la asociación y la temperatura (máxima), es decir, la densidad de la asociación presentó una tendencia a aumentar conforme descendió la temperatura, y a disminuir cuando la temperatura tendió a incrementarse. La disminución de la densidad en mayo podría estar relacionada con afloramientos de agua cálida que originaron un incremento de temperatura de hasta 10°C en un mismo mes. Estudios previos indican que la presencia de valores inusuales de temperatura pueden provocar mortalidades masivas especialmente en las especies que están cerca de los límites de su área geográfica así como en las esponjas que habitan la zona intermareal, las cuales están sujetas a variaciones más fuertes (Sarà y Vacelet 1973). La disminución de la densidad observada en diciembre coincidió con la entrada de agua fría de la corriente de California, la cual originó un descenso brusco de la temperatura. En un estudio de dinámica poblacional en una esponja de agua dulce *Ephydatia fluviatilis*, en el lago Utah, se determinó que eventos de su ciclo de vida que ocurren temporalmente (crecimiento y reproducción) están influenciados por factores ambientales como la temperatura del agua. Lo contrario ocurre con colonias de ésta misma especie de esponja que habita también a mayor profundidad, las cuales son más independientes de las variaciones ambientales (Russell et al. 1985). Barthel (1988), tras investigar la dinámica poblacional de la esponja *Halichondria panicea*, concluye que la temperatura era un factor muy importante.

Bakus (1967) concluyó que la extrema deposición de sedimento normalmente ocasiona un empobrecimiento del ecosistema, y que la tasa de sedimentación pareció depender de la velocidad de la corriente y el oleaje. En nuestro caso, la alta tasa de sedimentación/resuspensión registrada en abril y mayo de 2001 no se puede atribuir a

la presencia de fenómenos meteorológicos como tormentas y huracanes, ya que no se registró la presencia de éstos durante el período de estudio (Servicio Meteorológico Nacional). Sin embargo, se sugiere que pudo ser ocasionado por procesos geológicos conocidos como "ciclos de playa", donde, grandes cantidades de arena son removidas de la playa en poco tiempo durante periodos de intenso oleaje. Dicho proceso se invierte al recuperarse las cantidades de arena en la playa en condiciones de calma aunque con más lentitud (Shepard 1973). En septiembre, al contrario de lo expuesto anteriormente, la alta tasa de sedimentación/resuspensión coincidió con la época del año en la que se presentaron algunos fenómenos meteorológicos cerca de la entidad (tormenta tropical Henriette del 4 al 8 de septiembre, tormenta tropical Ivo del 10 al 14 de septiembre, huracán Juliette del 21 de septiembre al 3 de octubre de 2001)(Servicio Meteorológico Nacional).

En el presente estudio la tasa de sedimentación engloba también la resuspensión del fondo, debido a que el ambiente en el área de estudio es muy energético por la poca profundidad y cercanía con la zona de rompiente del oleaje. En la bahía de Algeciras el valor máximo ( $0.99 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ), y el promedio anual ( $0.52 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) (S de España)(Carballo et al. 1996) están muy por debajo a los registrados por nosotros. Por otro lado, Loya (1976), registró una tasa de sedimentación máxima de  $150 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en una zona llana de un arrecife de Puerto Rico, mientras que en una zona con una pendiente de 11-17 m de profundidad, observó una tasa de sedimentación mucho menor ( $30 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ). Maughan (2001) observó que la tasa de sedimentación y el contenido de materia orgánica de Lough Hyne (Irlanda) a 6 m de profundidad puede variar estacionalmente entre  $2 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en primavera y  $12 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en invierno y de 15 a 30% respectivamente. En el presente estudio se registraron los valores más altos de la tasa de sedimentación/resuspensión en mayo y septiembre ( $11 \text{ kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  aproximadamente). Por otro lado, el contenido de materia orgánica se mantuvo por debajo del 8% durante casi todo el periodo de estudio, excepto en agosto cuando se registró el valor máximo (19.6%), el cual coincidió con una baja tasa de sedimentación/resuspensión ( $0.08 \text{ kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ). El porcentaje de materia orgánica más alto, registrado en agosto, podría estar relacionado con el aporte continental (el periodo de máxima precipitación pluvial del año fue registrado en éste mismo mes (Servicio Meteorológico Nacional)). Es importante señalar que aunque se presentaron variaciones en la textura del sedimento, en todos los casos se clasificó de acuerdo a su origen, como arena de tipo bioclástico (compuesta por fragmentos de concha,

foraminíferos, briozoarios, espículas, etc.), el cual se sugiere que proviene principalmente de la resuspensión del fondo como parte de la dinámica del sistema. De acuerdo con los resultados granulométricos, en casi todos los meses excepto en julio, el material fue clasificado como arena fina. El material de textura gruesa recolectado en julio no coincidió necesariamente con uno de los periodos de más alta tasa de sedimentación/resuspensión. Vale la pena destacar el hecho de que una textura gruesa indica una fuerte resuspensión, aunque se desconoce con exactitud la escala de tiempo en que ocurrió (horas, días o semanas) ya que nuestro método se basó en recoger las muestras mensualmente.

La dinámica poblacional de la mayoría de las esponjas está estrechamente relacionada con variables abióticas, y son muy sensibles al estrés ambiental (Alcolado 1978; Alcolado y Herrera 1987; Muricy 1989; Carballo et al. 1994). La naturaleza y el tamaño de las poblaciones de esponjas reflejan las condiciones medioambientales en un arrecife como: niveles de nutrientes orgánicos e inorgánicos, turbulencia física, sedimentación y altos niveles de luz ultravioleta (Wilkinson y Cheshire 1989). Estos parámetros son considerados como los mayores factores limitantes en el crecimiento de esponjas en aguas poco profundas (Wilkinson y Evans 1988). De esta manera, los altos niveles de sedimentación parecen explicar el empobrecimiento de comunidades de esponjas (Vacelet 1969, Sará y Vacelet 1973). De hecho, el crecimiento de las esponjas puede ser inhibido por una alta carga de sedimentación o por niveles bajos y continuos de sedimentación, puesto que requieren de una considerable cantidad de energía para limpiar los canales y los orificios obstruidos (Carballo et al. 1996). Si la obstrucción de dichos canales y orificios es excesiva se puede incluso producir una inhibición completa de la filtración (Reiswig 1971). Por otro lado, las características de deposición ambiental del sedimento pueden afectar los patrones de crecimiento (Scoffin 1970; Stewart 1983; Airoidi et al. 1995), distribución, diversidad y estructura local de algunas especies de macroalgas (Airoidi y Cinelli 1997). El descenso en la densidad de la asociación en la bahía de Mazatlán observado en mayo (2001) se puede atribuir, además de la temperatura, a una alta tasa de sedimentación/resuspensión con mayor proporción de arena fina. En un estudio acerca de la influencia de la batimetría y régimen de flujo sobre la morfología de las esponjas en comunidades infralitorales de Lough Hyne (Irlanda), Bell y Barnes (2000) sugirieron que el incremento de la densidad de esponjas puede estar relacionado con el incremento de la sedimentación por profundidad. Además concluyeron que las

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

esponjas masivas e incrustantes dominaron en sitios de alta energía, debido a su amplia área basal. La variación temporal de la densidad presentó un descenso brusco de abril a mayo de 2001, a diferencia de lo registrado para ese mismo periodo en el año 2002. En el año 2001, la variación de la densidad fue muy amplia, coincidiendo con amplias variaciones en los parámetros ambientales medidos. Durante el segundo año, la variación fue menos pronunciada de igual manera que la de las variables medidas. Es importante entender los efectos que los disturbios naturales provocan en las poblaciones y comunidades de organismos sesiles. Uno de las principales formas de disturbio ocurre cuando el oleaje, generado por tormentas vuelca las rocas del fondo, ocasionando alteraciones en la diversidad de especies de plantas y animales sesiles (Sousa 1979).

### **Distribución de la asociación**

*Sigmatocia caerulea* es una de las especies más representativas de la bahía de Mazatlán y áreas próximas, y parece ser una de las especies más abundantes y permanentes de la zona. Esta especie también se había observado previamente en el estero de Urías (Cruz 2001) creciendo sobre sustratos rocosos en ausencia de algas rojas, aunque durante nuestro estudio se ha observado muy esporádicamente en dicho hábitat. Los datos indican una limitación batimétrica muy estricta en el rango de 2.3-4.5 m de profundidad, con máximos de densidad en el intervalo 2.8 y 3.3 m. Existen diversos factores que pudieran explicar esta distribución en un intervalo de profundidad tan corto, así como su comportamiento a través del tiempo. El patrón de distribución de las esponjas con respecto a la profundidad observado por Wilkinson y Cheshire (1989) en la Gran Barrera de Arrecifes de Australia, indica que la biomasa de las esponjas es baja en áreas someras del arrecife (<10 m) y aumenta conforme aumenta la profundidad con un máximo de biomasa hasta los 20 m. Wilkinson y Evans (1989) observaron un patrón de distribución similar en otro sitio de la Gran Barrera de Arrecifes (Arrecife Davies), donde demuestran que la distribución de esponjas está firmemente correlacionada con la profundidad y posición dentro del arrecife. Barthel (1988) estudió la dinámica poblacional de la esponja *Halichondria panicea*, donde la abundancia se incrementó con la profundidad entre 6 y 12 m. En el presente estudio ocurrió un caso contrario con la distribución de la asociación, ya que la mayor densidad se registró en un intervalo de profundidad de 2.8 a 3.3 m y decreció conforme aumentó la profundidad hasta 4.5 m. Un análisis en la distribución espacial de esponjas reveló

diferencias en la cobertura y en el número de individuos entre diferentes profundidades, y estacionalmente. Esta distribución se relacionó con la variabilidad de sustrato duro para el asentamiento larvario con respecto a la profundidad (Meroz e Ilan 1995). Aunque en el presente estudio no se determinó la capacidad de dispersión larvaria de la esponja, podría ser éste, uno de los factores limitantes en la distribución espacial.

Probablemente, en el intervalo donde se encuentra la mayor densidad de la asociación la acción del oleaje mantenga en suspensión el material particulado, lo que no ocurriría a mayor profundidad causando mortalidad a los individuos que se logran fijar. A menor profundidad (en la parte más cercana a la zona de rompiente), donde no se encuentran ejemplares el hidrodinamismo parece ser más fuerte y podría ser la causa de que no se puedan adherir a un sustrato y crecer. Después del descenso en la densidad en mayo se presentó un periodo de estabilidad en la población, estableciéndose en un intervalo de distribución espacial distinto (2.3 a 4.5 m), ya que previamente se distribuía entre 2.8-4.5 m de profundidad.

El estudio de la distribución de erizos en el sitio de muestreo, mostró que éstos se distribuían en todo el intervalo estudiado de 2.3 a 5.5 m de profundidad. La mayor densidad se registró en el intervalo de 2.3-2.8 m, disminuyendo conforme aumenta la profundidad. Se esperaba que los erizos como depredadores potenciales de las algas se encontraran distribuidos con mayor frecuencia en el intervalo de profundidad en el cual abunda más la asociación y algas calcáreas (*Amphiroa*), Maldonado y Uriz (1998) diseñaron un experimento con dos esponjas incrustantes comunes en el Mediterráneo (*Crambe crambe* y *Scopalina lophyropoda*) para determinar la capacidad de explotación de microrefugios de *C. crambe* y *S. lophyropoda*. Colocaron dichas especies sobre dos tipos de superficie (una con rugosidades que le daba cierta protección a la esponja y otra sobre una superficie de textura lisa ó sin refugios) en un acuario con erizos y estrellas de mar y un control sin depredadores, obteniendo como resultado que la mayor depredación (40% de mortalidad de esponja) se llevó a cabo en el ambiente sin refugios en presencia de los erizos de mar. Sin embargo, en el presente estudio, la mayor densidad de erizos se registró en un intervalo de profundidad que no coincidió con la profundidad de mayor densidad de la asociación, sobre todo en febrero y abril (2001). Por lo tanto, se sugiere que la depredación por los erizos no es uno de los factores limitantes del crecimiento de la asociación y algas calcáreas.

No fue posible encontrar las estructuras reproductivas de las algas (conceptáculos

axiales). Probablemente se debió a que el número de muestras (10 ejemplares al mes) recolectadas no sean suficientes o bien se podría especular, que el hecho de estar cubiertas por la esponja les podría afectar su reproducción sexual (Trautman et al. 2000). Los géneros de alga que se encontraron en asociación con la esponja, en orden de magnitud de frecuencia fueron *Jania* (89.6%), *Gelidiopsis* (6.8%) y *Amphiroa* (3.5%). Las algas que se encontraron viviendo sin la esponja fueron *Amphiroa* y *Gelidiopsis*, contrario a lo que se observó en *Jania* (el alga dominante en la asociación) que siempre estuvo asociada con la esponja. El hecho de haber estudiado la distribución de *Amphiroa* en lugar de *Jania* (sustrato principal de la esponja) se debe a que nunca se encontró *Jania* viviendo aisladamente en el intervalo de profundidad donde se desarrolla el complejo. Se ha registrado la presencia de *Jania* spp. creciendo aislada solo en ambiente intermareal frente al área de estudio (Garza 1999) La mayor abundancia de *Amphiroa* se registró en el periodo de octubre de 2001 a febrero de 2002, aunque en general, no presentó mucha variación en su patrón de distribución a lo largo del tiempo y el espacio. Este comportamiento nos indicó que la mayor abundancia del alga podría estar asociada a la baja temperatura del agua. La mayor densidad del alga se registró en el intervalo más somero (2.3-2.8 m), lo cual podría explicarse por la mayor disponibilidad de luz a menor profundidad, y también explicaría la tendencia de disminuir con la profundidad

La luz es un parámetro importante para modular el crecimiento y la supervivencia de cualquier organismo fotosintético, lo que puede explicar la distribución de la asociación en profundidad pero, sobre todo, indica que el alga puede jugar un papel más importante en la asociación que el representar un mero sustrato para la esponja. En este sentido, también la esponja le podría conferir algún beneficio al alga, ya que las cinco especies de *Jania* registradas en la localidad (Garza 1999), presentan, según sus descripciones taxonómicas, una altura del talo que varía entre 1 y 7 cm de alto dependiendo de la especie; sin embargo, cuando se desarrolla sobre la esponja, se encontraron individuos cuya altura máxima es de 13 cm. Gaino (1994), observó que un alga verde filamentosa (*Ostreobium* sp.) se encuentra íntimamente asociada con espículas de una esponja (*Tethya seychellensis*), sugiriendo que la esponja utiliza las espículas como un conducto natural para la penetración de luz actuando como una fibra óptica y facilitando de esta manera la fotosíntesis de alga en el interior de la esponja.

La respiración de la esponja también podría contribuir a aumentar la tasa de fotosíntesis del alga al reducir la limitación por la disponibilidad de CO<sub>2</sub> (Bowes 1987; Raven 1991).

### **Tamaño y biomasa de la asociación**

Uno de los resultados más relevantes a discutir es el incremento del tamaño promedio de los ejemplares de febrero a junio de 2001. Posteriormente, se registró una *disminución considerable de junio a diciembre de 2001*. En el primer caso, el aumento del volumen se podría relacionar con el crecimiento de la esponja, el cual se pudo comprobar estudiando la proporción esponja-alga, donde al parecer ésta etapa coincide con el aumento de la temperatura. Además, se pudo constatar que ramificaciones de esponja sobresalían de la asociación (Fig. 24). De acuerdo con la correlación cruzada realizada entre el tamaño promedio con la temperatura del agua durante el periodo de estudio, se pudo constatar que si hay una relación entre estos dos factores. En la disminución del tamaño promedio de junio a diciembre, no se tiene claro la causa de dicho decremento, ya que no se encontró relación con la temperatura del agua, ni con el reclutamiento. Podría ser también la luz, de febrero a julio no solo sube la temperatura sino la irradiancia (mayor fotoperiodo), a partir de junio aumentan fuertemente las precipitaciones lo que reduce la irradiancia (mayor nubosidad) y expone a la asociación a mayor energía (oleaje y sedimentación), lo que reduce la luz que le llega al alga. Es decir, a partir de Diciembre de 2002, cuando la temperatura se estabiliza y no hay lluvias, existe una mayor penetración de la luz y hay un nuevo crecimiento de la población (asentamiento de los fragmentos o de las larvas). La posibilidad de que el complejo pueda crecer más al disponer de mayor irradiancia (además de que haya condiciones de mayor estabilidad o menor energía en el sistema), permite hipotetizar una asociación más estrecha entre la esponja y el alga que el simple hecho de que la esponja utilice al alga de sustrato. Probablemente la única forma de supervivencia para la esponja en un ambiente con tanta energía (alta tasa de sedimentación/resuspensión) es asegurar una mínima entrada de energía a través de la fotosíntesis del alga

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

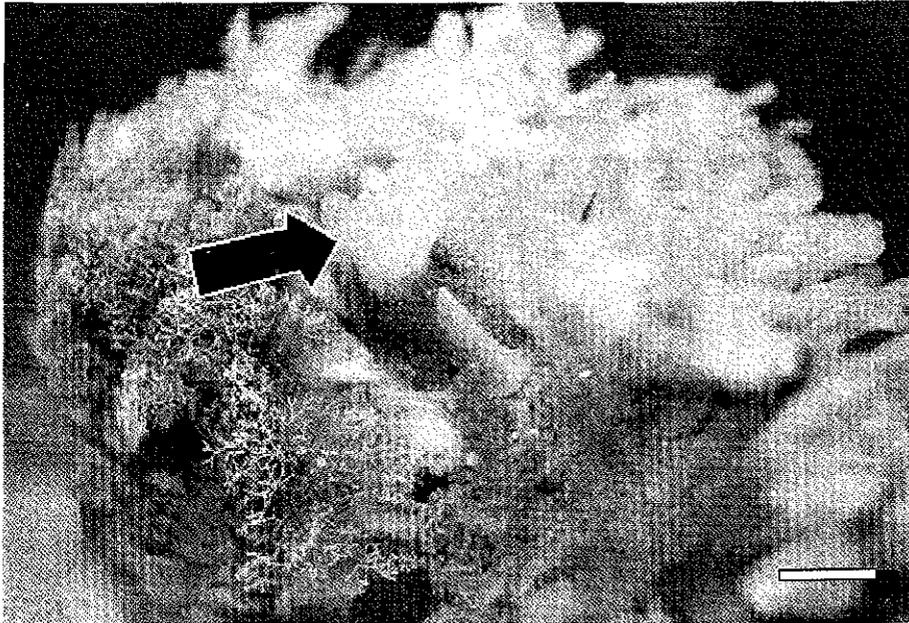


Fig. 24. Proyecciones de *Sigmadocia caerulea* sobresaliendo de la asociación. Escala de la barra 1 cm.

Los individuos de mayor tamaño se registraron en junio en el intervalo de 2.3-2.8 m de profundidad, estos resultados no coincidieron con el sitio de mayor densidad (2.8-3.3 m) ni con el mes en que se registró el mayor volumen (octubre). En diciembre se presentó una mayor homogeneidad en cuanto al tamaño promedio de los ejemplares por intervalo de profundidad. Maldonado et al. (1997), recolectaron individuos de *Sigmadocia caerulea* con ramificaciones erectas de hasta 30 cm de alto, en Indian River Lagoon, Florida. En este estudio la altura máxima registrada de la asociación fue de 13 cm.

Durante el periodo de estudio se observó que la proporción de esponja fue mayor que la de alga en todos los intervalos de profundidad. En investigaciones realizadas en Porto Cesareo (SW de Apulia) y Marsala (NW de Sicilia) se ha demostrado que el contenido de sílice en poblaciones de esponja (*Pellina semitubulosa*) varía en los dos sitios de estudio de acuerdo con la temperatura del agua y con las concentraciones de sílice en el agua, registrándose un incremento de sílice generalmente después del periodo reproductivo (Mercurio et al. 2000). En el presente trabajo no se obtuvo una correlación significativa entre la temperatura del agua y el contenido de sílice de la esponja. No obstante, se registró un incremento en el contenido de sílice al final del periodo reproductivo de la esponja.

Una de las más altas biomásas registradas en esponjas se da en la asociación entre

la esponja *Haliclona cymiformis* y la macroalga roja *Ceratodictyon spongiosum* (270 g peso húmedo/m<sup>2</sup>) en la Gran Barrera de Arrecifes (Australia)(Trautman et al. 2000). Barthel (1988) estudió durante cuatro años aspectos de dinámica poblacional de la esponja *Halichondria panicea* con un alga simbionte a tres profundidades (6, 8 y 10 m), en Kiel Bight (Alemania), y obtuvo como resultado una biomasa máxima de 500 g peso húmedo/m<sup>2</sup> a 6 m de profundidad en el mes de marzo. Barthel (1989) estudió el crecimiento de *Halichondria panicea* (sin alga simbionte) en el Mar del Norte, y encontró una gran variabilidad estacional en el crecimiento; la biomasa más alta se registró de junio a julio, y no creció después de octubre. Él pudo concluir que la temperatura del agua y la edad de la esponja, son factores importantes que gobiernan el crecimiento de *H. panicea*. Wilkinson y Cheshire (1989), en la Gran Barrera de Arrecifes (Australia), registraron la biomasa de esponjas entre 10 y 20 m de profundidad, siendo más alta a 15 m (en la parte interna de la barrera), con valores por encima de 450 g peso húmedo/m<sup>2</sup>. En el presente estudio, la biomasa máxima de la asociación se registró en junio (51 g peso húmedo/m<sup>2</sup>), la cual es comparativamente menor que en las asociaciones mencionadas anteriormente. El comportamiento de la biomasa presentó una correlación positiva con el tamaño promedio de los individuos a través del tiempo, por lo que se podría sugerir que un cambio en el tamaño promedio de la asociación se vería reflejado en un incremento en la biomasa. De acuerdo con la biomasa por profundidad, el valor máximo se registró en junio (1012 g peso húmedo/m<sup>2</sup>) en el intervalo más somero (2.3-2.8 m), el cual coincidió en el tiempo y profundidad con la máxima proporción de alga (42%) en el complejo, lo que apoya nuevamente la importancia del alga en la asociación: (1) como sustrato para la esponja (favoreciendo su crecimiento en los periodos óptimos de crecimiento del alga), o incluso (2) como vía de entrada de energía para la asociación esponja-alga a través de la fotosíntesis. Esto último indicaría una asociación mucho más importante entre las dos especies y representaría una asociación simbiótica poco común al ser *Jania* un alga pluricelular.

### **Reproducción y reclutamiento**

Los antecedentes indican que *Sigmadocia caerulea* presenta un único periodo de liberación de larvas al año que va desde agosto a septiembre en Florida (Maldonado et al. 1997; Maldonado y Young 1999). La información generada en éste estudio concuerda con los antecedentes, en el sentido de que también se detectó un solo

periodo de reproducción sexual de la esponja al año. Durante el primer año (2001) el periodo de reproducción se extendió desde mayo hasta septiembre, alcanzando en junio el máximo porcentaje de ejemplares en reproducción (100% de los ejemplares recolectados). Durante el segundo año, el periodo de reproducción comenzó a partir de marzo, con un menor porcentaje de ejemplares en reproducción (14%) que al inicio de el periodo anterior. En general, el periodo de reproducción en las esponjas está relacionado con la temperatura del agua (Barthel 1988; Sará y Vacelet 1973) y en nuestro caso, el inicio de la reproducción en ambos años parece coincidir con el incremento en la temperatura del agua. El desfase de tiempo observado entre estos dos periodos probablemente se debe a que la temperatura del agua fue más elevada en 2002 que el año anterior.

Uno de los aspectos menos conocidos de la ecología de esponjas es la estrategia de dispersión y asentamiento por fragmentación (Wulff 1985). En el presente estudio, se sugiere que la reproducción sexual no es la principal estrategia que utiliza *S. caerulea* para colonizar y mantenerse en esta zona, ya que no se encontró relación entre el reclutamiento y el periodo de reproducción sexual (el número de reclutas no aumentó en relación con la época en la que se registraron larvas en la esponja). Por lo tanto, no fue posible comprobar si los reclutas se habían generado por medios sexuales o asexuales, ni la contribución de ambos procesos a la repoblación. En investigaciones recientes sobre la capacidad de dispersión en esponjas se ha demostrado que larvas de algunas esponjas pueden viajar dentro de fragmentos libres y ser dispersados pasivamente por corrientes, así reproducción sexual y asexual pueden facilitar la dispersión y el establecimiento de nuevas, distantes poblaciones (Maldonado y Uriz 1999). Sin embargo, la fragmentación parece ser el mecanismo más común que utiliza esta especie para dispersarse y colonizar el sustrato. Se puede afirmar que el reclutamiento registrado antes del periodo de reproducción sexual procede únicamente de la fragmentación de la esponja. Es importante señalar que los reclutas proceden de otros organismos que no necesariamente están dentro del área de estudio. En el área de estudio fue muy frecuente la presencia de reclutas durante todo el año, incluso en los momentos en que la esponja no estaba en reproducción sexual. Esto concuerda con lo observado por Trautman et al (2000), quienes indican que la fragmentación es la forma más común de reproducción de una asociación entre una esponja y un alga roja en la Gran Barrera de Arrecifes (Australia).

En el presente estudio, el máximo reclutamiento (36 reclutas) se localizó en julio y septiembre de 2001. Christopher (1985) estudió la influencia de las tormentas en la reproducción asexual, reclutamiento y supervivencia de esponjas y observó que los fragmentos fueron encontrados rodando libremente en el fondo durante todo el año aunque llegaron a ser más abundantes después de tormentas. De acuerdo con sus experimentos de laboratorio y de estudios en el campo, concluyó que el reclutamiento es derivado principalmente por medios asexuales. Se ha detectado que las épocas en las que se registra el mayor reclutamiento por fragmentación, coinciden con el periodo en que se presentaron tormentas tropicales y huracanes sobre el Pacífico Oriental, lo que indica la importancia de este tipo de fenómenos climáticos en los procesos de dispersión de la asociación.

## 12. CONCLUSIONES

1.- Los cambios temporales en la densidad de la asociación esponja-alga se relacionan con los cambios en algunos parámetros ambientales, principalmente con la temperatura del agua.

2.- El descenso brusco de la densidad registrado en el mes de mayo está relacionado con el amplio rango de temperatura registrado en un mismo mes (10°C), al cual simultáneamente se asoció con un aumento de la sedimentación/resuspensión y un aumento en la proporción de arenas gruesas, indicativo de un ambiente de alta energía.

3 - El período de mayor heterogeneidad espacial en la distribución de la abundancia de la asociación se identificó en los meses de febrero y abril de 2001, La cual se homogenizó a partir de mayo de 2001, detectándose un intervalo de profundidad con similar abundancia que abarcaba los intervalos 3.9-4.4 m y 4.0-4.5 m.

4.- Los cambios temporales en el tamaño de la asociación se encuentran relacionados con la variación en la temperatura del agua.

5.- La asociación esponja-alga presenta una relación muy estrecha y persistente en el área de estudio, lo que parece indicar que este tipo de asociación confiere algún tipo de ventaja ecológica a ambos organismos.

6.- La distribución de la densidad de la asociación en el espacio y en el tiempo, no coincide con la distribución y abundancia de las algas *Jania* y *Amphiroa*.

7 - Se sugiere que la relación *Sigmadocia caerulea*-*Jania* es de tipo mutualista debido a que el alga se beneficia al ampliar su área de distribución a mayor profundidad, mientras que la esponja se beneficia al utilizar el talo del alga como una estructura de soporte.

8 - La especie presenta un único periodo de reproducción sexual al año, concentrando la producción de embriones y/o larvas en los meses en los que se presenta un incremento de la temperatura del agua.

9 - El reclutamiento en el área de muestreo ocurre durante casi todo el año, aún cuando la esponja no se encuentra en reproducción sexual, lo que indica que la fragmentación aparece como el principal mecanismo que utiliza la esponja para mantenerse y dispersarse.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- Agassiz A. 1872-1874. Revision of the Echini. Cat. Museum Comp. Zoology Harvard, 3: 1-774
- Airoidi L y Cinelli F. 1997. Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 215: 269-288.
- Airoidi L, Rindi F, Cinelli F. 1995. Structure, seasonal dynamics and reproductive phenology of a filamentous turf assemblage on a sediment influenced, rocky subtidal shore. *Botánica Marina*, 38: 227-237.
- Alba VM, González J, Herrera C, Ledesma J, Machado A, Rico R, Rosales E, Vera A. 1979. Estudio sedimentológico de la bahía de Puerto Viejo, Mazatlán, Sinaloa. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 6 (1). 97-120.
- Alcolado PM, 1978. Ecological structure of the sponge fauna in a reef profile of Cuba. In: Lévi C & N Boury-Esnault (eds) *Coll Intern CNRS 291, Biologie des Spongiaires*, p: 297-302.
- Alcolado PM y Herrera A. 1987. Efectos de la contaminación sobre las comunidades de esponjas en el litoral de la Habana. *Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología de la Academia de Ciencias de Cuba*, 68. 1-23.
- Ayling AI. 1980. Patterns of sexuality, asexual reproduction and recruitment in some subtidal marine Demospongiae. *Biological Bulletin*, 158: 271-282.
- Bakus GJ. 1967. Sedimentation and benthic invertebrates of Fanning Island, Central Pacific. *Marine Geology*, 6: 45-51
- Barthel D. 1988. On the ecophysiology of the sponge *Halichondria panicea* in Kiel Bight. II. Biomass, production, energy budget and integration in environmental processes. *Marine Ecology Progress Series*, 43: 87-93
- Barthel D. 1989. Growth of the sponge *Halichondria panicea* in the North Sea habitat. *Polish Academy of Sciences, Institute of Oceanology*, p 23-30.
- Barthel D. 1995. Tissue composition of sponges from the Weddell Sea, Antarctica: not too much meat on the bone. *Marine Ecology Progress Series*, 123: 149-153.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Bavastrello G, Bonito M, Sará M. 1993. Influence of depth on the size of sponge spicules. *Science Marine*, 57 (4): 415-420.
- Bell JJ y Barnes DKA. 2000. The influences of bathymetry and flow regime upon the morphology of sublittoral sponge communities. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 80: 707-718
- Bergquist PR y Sinclair ME. 1973. Seasonal variation in settlement and spiculation of sponge larvae. *Marine Biology*, 20: 35-44
- Bertness MD y Callaway R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 9:191-193.
- Bowerbank JS. 1862. On the anatomy and physiology of the Spongidae. Part II, *Philosophical Transactions Royal Society* 152: 747-829, pls. 27-35.
- Bowes G. 1987. Aquatic plant photosynthesis: Strategies that enhance carbon gain, in: *Plant life in aquatic and amphibious habitats*. Spec. publ., Britain Ecologist Society (ed.) RMM Crawford. Blackwell Science, Oxford, England, (5). 79-98.
- Calvo F. 1985. *Estadística aplicada*. 2da Ed. España. Ediciones Deusto. 596 pp.
- Carballo JL y Naranjo SA. 2002. Environmental assessment of a large industrial marine complex based on a community of benthic filter-feeders. *Marine Pollution Bulletin* (en prensa)
- Carballo JL, Naranjo SA, García Gómez JC. 1996. The use of marine sponges as stress indicators in marine ecosystems at Algeciras Bay (Southern Iberian Peninsula). *Marine Ecology Progress Series*, 135: 109-122
- Carballo JL, Sánchez-Moyano JE, García Gómez JC. 1994. Taxonomic and ecological remarks on boring sponges (Clionidae) from the Straits of Gibraltar (Southern Spain): tentative bioindicators?. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 112: 407-424.
- Caso ME. 1979. Los equinodermos de la bahía de Mazatlán, Sinaloa. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México. 6 (1): 197-368
- Christopher N y Bergquist P. 1985. The Influence of storms on asexual reproduction, recruitment, and survivorship of sponges. *Smithsonian Institution Press*, 397-403.

- Cruz JA. 2001. Esponjas del litoral de Mazatlán, Sinaloa. Taxonomía, sistemática y distribución. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, 118 pp.
- Dawson EY. 1944. The marine algae of the Gulf of California. Allan Hancock Pacific Expedition, 3 (10): 189-452, 47 pls
- Dayton PK. 1971. Competition, disturbance, and community organization: the provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. Ecology Monograph, 41: 351-389.
- Folk RL. 1965. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's Book Co., Austin Texas, 151 p
- Gaino E y Sará M. 1994. Siliceous spicules of *Tethya seychellensis* (Porifera) support the growth of a green alga: a possible light conducting system. Marine Ecology Progress Series, 108: 147-151
- Garza TE. 1999. Características estructurales de las comunidades de macroalgas de la bahía de Mazatlán durante "El Niño 1997-98". Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, 51 pp.
- Hartman WD. 1958. Natural history of the marine sponges of Southern New England. Bulletin of Peabody Museum of Natural History, 12: 1-155.
- Hechtel GJ. 1965. A systematic study of the Demospongiae of Port Royal, Jamaica. Bulletin of Peabody Museum of Natural History, 20, 1-103.
- Hedgpeth JW. 1957. Sandy beaches. In: Hedgpeth JW (ed) Treatise on marine ecology and paleoecology, Vol. I Ecology. The Geological Society of America, Boulder, Colorado (Mem. Geological Society of America, 67: 587-608)
- Hentschel E. 1929. Die Kiesel-und Hornschwämme des Nördlichen Meeres. Fauna Artica, 5: 859-1042.
- Hill MS. 1998. Sponges harbor genetically identical populations of the zoanthid *Parazoanthus parasiticus*. Bulletin of Marine Science, 63(3):513-521.
- Inman DL. 1952. Measures of describing the size distribution of sediments. Journal of Sedimentology and Petrology, 22(3): 125-145.
- Jackson JBC. 1977. Competition on marine hard substrata: the adaptive significance of solitary and colonial strategies. The American Naturalist, 111: 743-767.

- Kirk JTO 1994 Light & photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press, 509 pp.
- Littler MM y Littler DS 1980 Mainland rocky intertidal aerial survey from Point Arguello to Point Loma, California. Bureau of Land Management, U. S. Department of the Interior, Washington, D. C
- Loya Y 1976. Effects of water turbidity and sedimentation on the community structure of Puerto Rican corals. *Bulletin of Marine Science*, 26(4): 450-466.
- Maldonado M y Uriz MJ. 1998. Microrefuge exploitation by subtidal encrusting sponges: patterns of settlement and post-settlement survival. *Marine Ecology Progress Series*, 174: 141-150.
- Maldonado M, George SB, Young CM, Vaquerizo I. 1997. Depth regulation in parenchymella larvae of a demosponge: relative roles of skeletogenesis, biochemical changes and behavior. *Marine Ecology Progress Series*, 148: 115-124.
- Maldonado M y Uriz MJ 1999 Sexual propagation by sponge fragments. *Nature* 398, 476
- Maldonado M y Young CM 1996. Effects of physical factors on larval behavior, settlement and recruitment of four tropical demosponges. *Marine Ecology Progress Series*, 138: 169-180.
- Maldonado M y Young CM. 1999. Effects of the duration of larval life on postlarval stages of the demosponge *Sigmadocia caerulea*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 232: 9-21.
- Margalef R. 1968. *Perspectives in ecological theory*. University Chicago Press, Chicago 111 pp.
- Markham JW. 1973. Observations on the ecology of *Laminaria sinclairii* on three northern Oregon beaches. *Journal of Phycology*, 9: 336-341
- Maughan BC. 2001. The effects of sedimentation and light on recruitment and development of a temperate, subtidal, epifaunal community. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 256: 59-71.
- Mercurio M, Corriero G, Scalera Liaci L, Gaino E. 2000. Silica content and spicule size variations in *Pellina semitubulosa* (Porifera Demospongiae). *Marine Biology*, 137: 87-92

- Meroz E y Ilan M. 1995. Cohabitation of a coral reef sponge and a colonial scyphozoan. *Marine Biology*, 124: 453-459.
- Meroz E y Ilan M. 1995. Life history characteristics of a coral reef Sponge. *Marine Biology*, 124: 443-451.
- Montaño Y. 1985. Estudio del transporte litoral de arenas en Isla de la Piedra, Mazatlán, Sinaloa, usando trazadores fluorescentes. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 12 (1): 15-32
- Montaño Y y Gutiérrez M. 1987. Control de perfiles de playa en el área de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 14 (1): 1-12.
- Montaño Y y Peraza R. 1986. Aplicación de un modelo de tipo predictivo para cuantificar el transporte litoral de arenas en dos playas de la costa sur de Sinaloa. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 13 (1): 305-314.
- Muricy G. 1989. Sponges as pollution-biomonitoring at Arraial do Cabo, Southeastern Brazil. *Rev Brasil Biol* 49 (2): 347-354
- Pond D. 1992. Protective-commensal mutualism between the queen scallop *Chlamys opercularis* (L) and the encrusting sponge *Suberites*. *Journal of Molluscan Study*, 58: 127-134.
- Pond S y Pickard GI. 1983. *Introductory dynamical oceanography. Second Edition* Pergamon Press, Oxford, 329 pp.
- Raven JA. 1991. Implications of inorganic carbon utilization: Ecology, evolution and geochemistry. *Canadian Journal of Botany*, 69: 908-924.
- Reid REH. 1968. Bathymetric distributions of calcarea and Hexactinellida in the present and the past. *Geological Magazine*, 103: 546-559.
- Reincke T y Barthel D. 1997. Silica uptake kinetics of *Halichondria panicea* in Kiel Bight. *Marine Biology*, 129: 591-593.
- Reiswig HM. 1971. *In situ* pumping activities of tropical Demospongiae. *Marine Biology*, 9:38-50.
- Roden GI. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. *Pacific Science*, 12(1): 21-45.

- Rader RB y Winget RN. 1985. Seasonal growth rate and population dynamics of freshwater sponge. *Hydrobiologia*, 123: 171-176.
- Rützler K. 1990. Associations between Caribbean sponges and photosynthetic organisms. In: Rützler K. (Ed). *New Perspectives in Sponge Biology*, Smithsonian Institution Press, Washington DC, 455-466.
- Rützler K. 1995. Low-tide exposure of sponges in a Caribbean mangrove community. *P.S.Z N.I Marine Ecology*, 16(2): 165-179.
- Sanders HL. 1968. Marine benthic diversity. A comparative study. *The American Naturalist*, 102: 243-282.
- Sará M y Vacelet J. 1973. Écologie des Démosponges. In: *Traité de Zoologie, Anatomie, systématique, biologie* Vol III. Spongiaires (ed. P P Grassé), Paris: Masson et Cie. pp 472-576.
- Sciscioli M. 1996. Asociazione tra la demospongia *Stellata grubei* (O. Schmidt) e la rodofica *Phyllopora palmefoides* (Ag.). *Atti. Society Peloritana of Sciences Fis. Mat. Nat.* 12: 555-60.
- Scoffin TP. 1970. The trapping and binding of subtidal carbonate sediments by marine vegetation in Bimini Lagoon, Bahamas. *Journal of Sedimentology and Petrology*, 40: 249-273.
- Scott FJ, Wetherbee R, Kraft GT. 1984. The morphology and development of some prominently stalked southern Australian Halymeniaceae (Cryptonemiales, Rhodophyta). II. The sponge-associated genera *Thamnoclonium* Kuetzing and *Codiophyllum* Gray. *Journal of Phycology*, 20: 286-295.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1998. Datos estadísticos climáticos del observatorio meteorológico de Mazatlán, Sinaloa, México. Comisión Nacional del Agua.
- Servicio Meteorológico Nacional: <http://smn.cna.gob.mx>
- Shepard FP. 1973. *Submarine geology*. Third edition. Scripps Institution of Oceanography, 517 pp.
- Sousa WP. 1979. Disturbance in marine intertidal boulder fields: the nonequilibrium maintenance of species diversity. *Ecology*, 60 (6): 1225-1239.
- Stewart JG. 1983. Fluctuations in the quantity of sediment trapped among algal tally on intertidal rock platforms in southern California. *Journal Experimental Marine Biology*

and Ecology, 73: 205-211.

- Trautman DA, Hinde R, Borowitzka MA. 2000. Population dynamics of an association between a coral reef sponge and a red macroalga. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 244:87-105.
- Trench RK. 1979. The cell biology of plant-animal symbiosis. *Annual Review Plant Physiology*. 30:485-531.
- Underwood AJ. 1997. *Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Institute of Marine Ecology, University of Sydney, Cambridge, University Press, 504 pp.
- Uriz MJ, Rosell D, Maldonado M. 1992. Parasitism, commensalism or mutualism? The case of Scyphozoa (Cnidaria) and horny sponges. *Marine Ecology Progress Series*, 81: 247-255.
- Vacelet J. 1969. Éponges de la Roche du Large et de l'étage bathyal de Méditerranée. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle A*, 59: 145-219.
- Vacelet J. 1981. Algal-sponge symbioses in the coral reefs of New Caledonia: a morphological study. *Proceedings of the Fourth International Coral Reef Symposium, Manila*, 2:713-719.
- Vacelet J. 1988. Indications de profondeur données par les spongiaires dans les milieux benthiques actuels. *Géologie Méditerranéenne*, 15: 13-26.
- Weber-van Bosse A. 1910. Sur deux nouveaux cas de symbiose entre algues et éponges. *Ann. Jardin Botanique de Buitenzorg*, 3: 587-94.
- Weber-van Bosse A. 1921. Liste des algues du Siboga 2. Rhodophyceae 1. Protofloridae, Nemalionales, Cryptonemiales. *Siboga-Exped. Monog.* 59B. Leiden, 126 pp., 57 figs., 3 pls.
- Wilkinson CR y Cheshire AC. 1989. Patterns in the distribution of sponge populations across the central Great Barrier Reef. *Australian Institute of Marine Science Coral Reefs*, 127-134.
- Wilkinson CR y Evans E. 1988. Sponge distribution across Davies Reef, Great Barrier Reef, relative to location, depth, and water movement. *Coral Reefs*, 203-209.
- Wilkinson CR y Vacelet J. 1979. Transplantation of marine sponges to different conditions of light and current. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 37: 91-104.

Wilson M 2002. *Estacionalidad y dinámica poblacional de esponjas asociadas a ecosistemas rocosos litorales de la bahía de Mazatlán*. Tesis de maestría (en proceso, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México).

Wulff JL. 1985. Dispersal and survival of fragments of coral reef sponges. *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahiti*, 5: 119-124.

Zar JH. 1984. *Biostatistical analysis*. 2° Ed. New Jersey, Prentice Hall, 718 pp.

## 14. ANEXOS

**Anexo I.** Error estándar correspondiente a la biomasa promedio de la asociación esponja-alga por profundidad

	2.3-2.8 m	2.8-3.3 m	3.9-4.4 m	4.0-4.5 m	5.0-5.5 m
Febrero (2001)	0.00	43.12	10.17	12.14	0.00
Abril	0.00	28.49	7.42	18.20	0.00
Junio	8.07	3.21	11.66	0.00	0.00
Agosto	4.52	0.82	31.28	0.00	0.00
Octubre	43.75	3.43	3.46	0.00	0.00
Diciembre	6.75	2.62	3.35	0.00	0.00
Febrero (2002)	5.42	7.20	16.14	0.00	0.00
Abril	6.13	13.01	4.199	0.00	0.00

**Anexo II.** Error estándar calculado en la abundancia promedio de *Amphiroa* sp. a diferente profundidad a través del tiempo.

	2.3-2.8 m	2.8-3.3 m	3.9-4.4 m	4.0-4.5 m	5.0-5.5 m
Febrero (2001)	1.59	0.16	0.16	0.36	0.13
Abril	0.23	0.02	0.48	0.17	0.13
Junio	0.53	0.47	0.06	0.09	0.13
Agosto	0.56	0.73	0.06	0.08	0.13
Octubre	2.58	0.36	0.30	0.00	0.00
Diciembre	0.02	0.13	0.39	0.00	0.00
Febrero (2002)	0.78	0.09	0.06	0.00	0.00
Abril	0.11	0.19	0.08	0.00	0.00

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN