

Relación simbiótica entre *Entocladia endozoica* (Ulvales) y *Plexaura flexuosa* (Gorgonacea: Plexauriidae)

Martin Rada y Freddy J. Losada.

Departamento de Biología de Organismos, Universidad Simón Bolívar. Apdo Postal 89000. Caracas.108. Venezuela
Fax: 58 2 906 3064. Correo electrónico: mrada@usb.ve

(Rec. 25-VII-1997. Rev. 2-V-1998, Acep. 5-V-1998)

Abstract: This study, done at Morrocoy National Park, Venezuela, describes and analyzes tumor-like growths resulting from the invasion of *Plexaura flexuosa* axial skeleton and surrounding tissues by filaments of the chlorophycean *Entocladia endozoica*. A stratified random sampling was done in three transects of 72 m² each at 4,8 and 12 m depth. At each depth, all tumors present in nine randomly chosen colonies of *P. flexuosa* were cut and preserved and five tumors were collected in each of the remaining colonies on the transect. The external and internal morphology of the tumors and the spatial relationship of the algal filaments with the axial rod of the octocoral was studied through standard microscopy and scanning electron microscopy. Transmission electron microscopy was used for taxonomic purposes and to identify the reproductive stage of the filaments. In addition, optical fiber sensors were used to detect the light path of laser beam projected from a discharge lamp through the coenenchymal material of the tumor, in order to find out if ambient light can reach the algal filaments. Results showed that the *E. endozoica* filaments in a tumor of *P. Flexuosa* were found on the tips of axis projections of variable size that were perpendicular to the main rod. These projections often penetrate the axial sheath towards the coenenchyma and could contact the ambient water through fractures of the external wall of the tumor. Reproductive filaments were only found on axis projections that had grown enough to penetrate the axial sheath and the coenenchyma. Filaments on the main axial rod or on small projections were in the vegetative stage. The laser study indicated that the light could at least reach the coenenchymal material where the reproductive filaments are found. We postulate a mechanism through which the octocoral tries to get rid of the algal filaments by pushing them out by the development of projections, thus causing vegetative filaments to become reproductive. Light may also contribute to this transformation.

Key words: *Entocladia*, *Plexaura*, tumors, reproductive stage, axis deformation, light.

En el estudio de los efectos deletéreos que los diversos agentes antropogénicos pueden causar sobre las comunidades arrecifales, es indispensable identificar y estudiar las condiciones patológicas propias de los organismos que las componen y que pudieran no estar relacionadas, ni ser consecuencia de dichas actividades (Morse *et al.* 1977, Antonius 1981).

Existen muy pocas caracterizaciones detalladas de las condiciones patológicas responsa-

bles del desgaste y muerte de corales en general (Morse *et al.* 1981). Estas incluyen infecciones debidas a bacterias, cianoprocariontes, algas filamentosas y hongos (Garrett y Ducklow 1975, Antonius 1977, Goldberg *et al.* 1981, Goreau *et al.* y Smith *et al.* en prep.) Entre las diferentes condiciones patológicas y anomalías que pueden sufrir los octocorales, las deformaciones o anomalías de su estructura esquelética suelen ser las más conspi-

cuas. En general estas anomalías están asociadas con la invasión, por parte de diferentes larvas o esporas de organismos del cenénquima del octocoral o sectores del eje donde el tejido ha sido eliminado por diversas causas. Una de estas anomalías es producida por lo que se ha descrito como la primera relación patogénica citada entre un octocoral y un simbiote autótrofo (Morse *et al.* 1977, 1981). Estas deformaciones han sido estudiadas en el octocoral *Gorgonia ventalina* del Caribe por Morse *et al.* (1977, 1981), donde se manifiestan como crecimientos anómalos periféricos en forma de nódulos (entre 2 y 28 mm de diámetro) los cuales han sido denominados "tumores" (Morse *et al.* 1977, 1981, Goldberg y Makemson, 1981, Goldberg *et al.* 1984). A la presencia de algas verdes filamentosas asociadas con la formación de tumores en el octocoral *G. ventalina* se añade el descubrimiento de otro tipo de Chlorophyta dentro de gorgónidos del género *Pseudoplexaura* (específicamente *P. flagellosa*), con diferentes efectos y posiblemente vinculada mediante otro tipo de relación (Goldberg y Makemson, 1981). Esta alga ha sido identificada como *Entocladia endozoica* (Goldberg, Makemson & Colley) una nueva especie de microalga marina perteneciente a la familia Ulvellaceae (Ulvales: Chlorophyta). A diferencia de lo que ocurre en *G. ventalina*, los nódulos no son el resultado de la proliferación anormal del tejido conectivo del gorgónido, sino que consisten en una masa de algas verdes filamentosas separadas por láminas pertenecientes al esqueleto axial. Entre los aspectos relevantes en la biología de *E. endozoica* se señala su existencia en dos estadios o tipos dependiendo del medio en que se cultive y de la existencia de contacto o no con el medio exterior. Goldberg y Makemson (1981), así como Goldberg *et al.* (1984), realizaron estudios del desarrollo de *E. endozoica* en medios de cultivo, encontrando que la misma puede presentarse en dos tipos de filamentos llamados tipo I o vegetativo y tipo II o reproductivo. El tipo I o vegetativo es similar al encontrado dentro de tumores intactos y el mismo se desarrolla solo si el medio de cultivo es enriquecido con casaminoácidos, tirosina o

cisteína. Cuando estas células son cultivadas en un medio sin casaminoácido (o sin cisteína o tirosina) las células se redondean y se llenan eventualmente de cloroplastos transformándose al tipo II o filamento reproductivo, únicamente encontrado en aquellos tumores que se han roto y han sido expuestos al agua de mar.

En el presente estudio se describe y analiza una relación entre *E. endozoica* y el octocoral *Plexaura flexuosa*, la cual determina formación de nódulos en este último con características que difieren de las señaladas para *P. flagellosa*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El bajo arrecifal donde se realizó el estudio esta ubicado al Nor-Oeste de Cayo Sombrero en el Parque Nacional Morrocoy, Venezuela (Fig. 1). Mediante un muestreo aleatorio estratificado de 12 parcelas de 6 m² cada una, ubicadas al azar dentro de una banda de 50 m de largo la cual fue dispuesta en tres estratos de profundidad (4.8 y 12 m), se recolectaron al menos cinco nódulos de cada colonia de *P. flexuosa* encontrada y todos los nódulos presentes en nueve colonias escogidas al azar. Cada nódulo recolectado fue estudiado externa e internamente bajo un microscopio estereoscópico registrando su apariencia general, ubicación en la rama, densidad y tamaño de sus pólipos. Filamentos algales fueron extraídos en cada uno de los tumores con pinzas y agujas de disección, lavados en cápsulas de Petri con agua de mar filtrada y colocados en porta-objetos para ser observados bajo el microscopio estereoscópico. Se prepararon ocho muestras para ser analizadas mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Cada nódulo fue secado en una estufa durante 24 horas a 60 °C. Tres nódulos fueron congelados con nitrógeno líquido y fracturados longitudinalmente, el resto fue tratado según Meek (1976). Finalmente las muestras se colocaron en sus bases, se cubrieron con un baño de oro en una cámara de vacío y fueron observadas utilizando un microscopio Jeol JSM T300. Filamentos algales de 12 nódulos seleccionados al azar fueron tratados mediante una

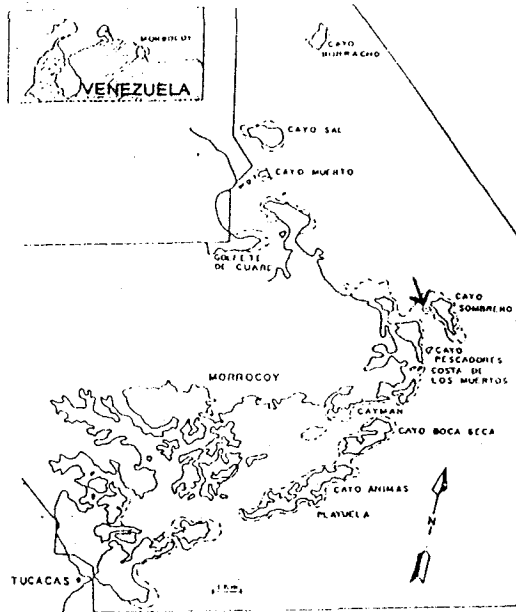


Fig. 1. Mapa del área de muestreo.

modificación de las metodologías clásicas de Grimstone (1972), Hayat (1972) y Meek (1976), para ser estudiados mediante Microscopía Electrónica de Transmisión (MET) en un microscopio Philips CM 10 3400. La prefijación se realizó durante 3 horas a 4°C con una solución de paraformaldehído al 4% y glutaraldehído al 2% en un buffer 0.1 M de Cacodilato ajustado a pH 7.8 y una osmolaridad de 1014 mOs/Kg. Después de los respectivos lavados las muestras se fijaron a 4°C con Tetróxido de Osmio al 1% durante 2 horas. Se deshidrató utilizando una batería clásica de alcoholes y Óxido de Propileno y se embebió e incluyó en una resina comercial (Polibed 812). El tallado y corte de los bloques así como el montaje final y observación de las muestras se realizaron según la metodología clásica.

Se extrajo aproximadamente 5 mg de filamentos algales de cada uno de 12 nódulos seleccionados al azar, con el fin de analizar la presencia de clorofila dentro de dichos filamentos. Cada una de las muestras fueron colocadas

en tubos de ensayo cubiertos con papel aluminio con acetona al 90 %, y guardada en el congelador durante 24 horas. Después de este período se procedió a centrifugar la muestra durante 10 minutos. El sobrenadante fue colocado en otro tubo de ensayo y finalmente se dispuso en cubetas de cuarzo para ser analizadas en un espectrofotómetro marca Shimadzu, contra un control (acetona al 90%). Se procedió a leer la absorbancia en un barrido general desde 400 hasta 900 nm, registrándola y graficándola posteriormente.

Con el fin de evaluar el posible paso de la luz a través del tejido del octocoral hacia las partes más internas del mismo incluyendo el interior de los tumores, se realizaron cinco pruebas de óptica. Se utilizó un diodo láser modulado para crear una emisión láser la cual era conducida a través de una fibra óptica muy fina. El haz se hizo coincidir con la superficie externa de varios tipos de muestras de octocoral con y sin nódulos, cortadas longitudinal y transversalmente. Para evidenciar el paso del haz de luz láser a través del octocoral, se colocó del otro lado del mismo una fibra óptica detectora conectada a una pantalla de un osciloscopio, donde se registraban cambios en la onda como señal del paso de la luz. De igual forma se analizó el paso de luz con un espectro de longitud de onda más variada que la disponible con el diodo láser, utilizando como agente emisor una lámpara de descarga de Xenón con un espectro entre 400 y 1200 nm y un máximo alrededor de los 500 nm.

RESULTADOS

No hay diferencias relevantes al comparar la morfología interna y externa del tejido en los tumores de *P. flexuosa*, con otras secciones del octocoral sin tumores. Tampoco hay diferencias significativas entre la ubicación del tumor dentro de la colonia a diferentes profundidades (Tabla de contingencia multidimensional: modelo log lineal, $p < 0.01$).

En términos generales los tumores son modificaciones locales de la forma y el grosor de

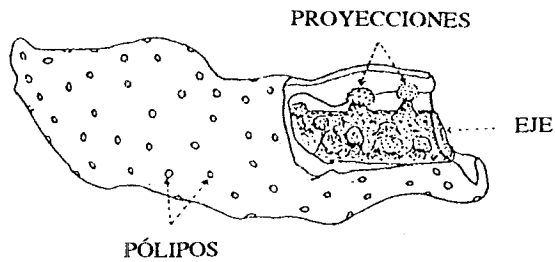


Fig. 2. Detalle de las proyecciones del eje en tumores de *Plexaura flexuosa*.

las ramas de los octocorales. Su ubicación puede variar en una misma colonia, disponiéndose algunas veces en las puntas de las ramas, a lo largo de una rama proyectándose hacia un costado de la misma, y a lo largo de la rama pero sin proyectarse hacia un costado en especial, conformando una especie de protuberancia generalizada de la misma. Los tumores presentan pólipos con una estructura externa similar y se encuentran en una densidad semejante a la encontrada en regiones del octocoral que carecen de tumores (Normal: $0.4 \pm 0.2 \text{ mm}^2$; Tumor: $0.2 \pm 0.1 \text{ mm}^2$, $N=23$). La capa superficial presenta escleritas dispuestas de manera similar a la normal. La parte interna de los tumores de *P. flexuosa* posee diversas modificaciones dependiendo de su posición, pero en forma general puede decirse que esta formada por las mismas capas que componen al tejido del octocoral en una sección normal. La disposición de estas capas, las escleritas que la componen y su ubicación, así como el color y la apariencia general no parecen cambiar. De los 348 tumores colectados durante el muestreo principal, 343 poseían filamentos algales y cinco contenían cirripedios, material calcáreo no identificado o sedimento. En términos generales las algas se encontraban entremezcladas con escleritas de gran tamaño (la mayoría eran del tipo cabrestantes y algunos husos o "spindles") y ubicadas sobre las puntas de estructuras en forma de promontorios o montículos pedunculados creciendo como proyecciones del eje del octocoral

(Fig. 2). Del total de los tumores analizados 327 mostraron internamente proyecciones del eje de la colonia en número y tamaño variado. Un número considerable de proyecciones por tumor crecían desde el eje de la colonia hasta tocar o penetrar la vaina axial y las capas del cenénquima próximas al eje, generando oquedades u hoyos en las mismas. Los promontorios poseían extremos apicales caracterizados por múltiples proyecciones de pequeño tamaño en forma de ejes radiales con terminaciones redondeadas, alrededor de las cuales se encontraron el mayor número de filamentos algales. Dichos promontorios eran proyecciones del eje del octocoral posiblemente constituidas por la misma proteína (gorgonina) debido a su constitución y color (fuertes, poco compresibles y de color marrón oscuro a ámbar). Estas proyecciones fueron analizadas bajo el microscopio óptico y se les añadió cloro y HCl concentrado, obteniendo resultados similares a los obtenidos con un trozo de eje normal (manteniéndose casi intactas durante 4 h). En la totalidad de los tumores analizados, cuando existían algas creciendo en las puntas de las proyecciones que lograban penetrar dentro del tejido del octocoral, estas resultaron ser siempre filamentos de *Entocladia endozoica* del tipo II o reproductivos como los descritos por Goldberg y Makemson (1981) y Goldberg *et al.* (1984).

Solo en las proyecciones pequeñas que estaban alejadas de las paredes internas de algunos tumores de *P. flexuosa*, en las bases de algunas proyecciones de mayor tamaño o en ciertas secciones de la superficie del eje, se encontraron filamentos de *E. endozoica* del tipo I o vegetativos (Goldberg y Makemson, 1981). En 16 tumores de *P. Flexuosa* fue posible observar, como algunas proyecciones de considerable tamaño eran capaces de atravesar la parte más externa del octocoral saliendo al exterior. Estas proyecciones fueron analizadas, no encontrándose ningún tipo de filamento algal en sus puntas.

En las pruebas realizadas tratando de registrar el paso de la luz láser o de la emitida por la lámpara de descarga a través de todo el tejido del octocoral desde el exterior hasta el interior del tumor, utilizando diferentes tipos de muestras;

no se evidenció el paso de dicha emisión hasta la parte más interna del tumor. Al hacer incidir luz láser mediante una fibra óptica en la parte externa de los tumores fue posible registrar su paso hacia la parte interna a nivel de las oquedades dejadas por las proyecciones de los ejes dentro de los tumores, donde se encontraban los filamentos algales tipo II o reproductivos.

De las observaciones realizadas a las ocho muestras de tumores de *P. flexuosa*, mediante MEB pueden señalarse los siguientes aspectos: a) La capa interna de los tumores se encuentra recubierta por una membrana bastante lisa debajo de la cual se hallan escleritas que se proyectan como pequeños cónulos. b) No se observan filamentos algales adosados a las paredes de los tumores. c) Las proyecciones que sobresalen del eje central dentro de los tumores, presentan numerosos filamentos algales en sus extremos apicales, donde pueden observarse además escleritas entremezcladas (Fig. 3).

Al analizar las observaciones realizadas con MEB de las oquedades formadas por la penetración de las proyecciones del eje dentro del tejido de los octocorales a nivel de los tumores, puede concluirse lo siguiente: a) La mayoría de estas oquedades son profundas pudiendo llegar en numerosos casos, a una distancia aproximada de 3 mm del exterior (Fig. 4). b) La parte interna de las oquedades esta tapizada por numerosas escleritas. Es difícil determinar la existencia de algún tipo de patrón en la orientación de estas escleritas, debido al desgarramiento y desorden sufrido durante la extracción de la proyección del eje que generó la oquedad. c) Es posible observar numerosos grupos de filamentos algales dentro de las oquedades (Fig. 5).

Mediante las observaciones realizadas a los filamentos algales utilizando MET es posible evidenciar en los mismos la presencia de tabiques intersegmentales, una carencia de contenido celular en alguno de ellos y la presencia de un segmento diferenciado en la punta de la mayoría de los filamentos (Fig. 6). Este segmento terminal se caracteriza por ser más alargado, un poco más ancho, en ciertos casos posee una especie de ápice más aguzado y en su mayoría se evidencia contenido celular en gran cantidad y

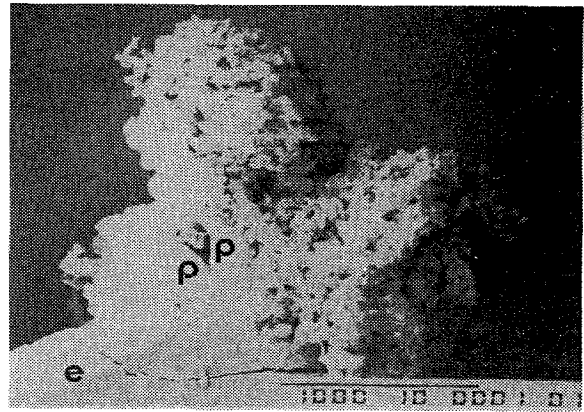


Fig. 3. Fotografía de Microscopio Electrónico de Barrido donde se muestran los filamentos algales sobre las proyecciones del eje en los tumores de *Plexaura flexuosa*. (e: eje, p: proyección. (La barra de escala en la fotografía corresponde a 1000 μ m)

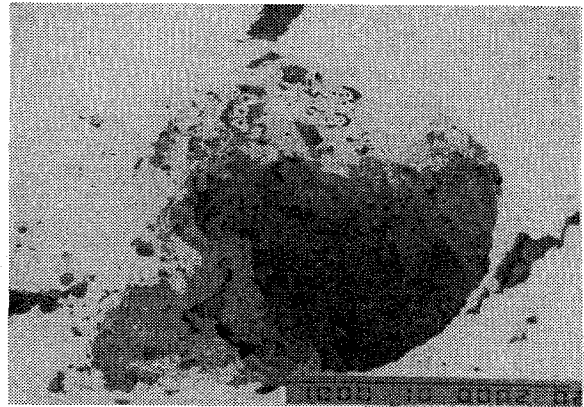


Fig. 4. Fotografía de Microscopio Electrónico de Barrido donde se muestran las oquedades en el cenénquima de los tumores de *Plexaura flexuosa*. (La barra de escala en la fotografía corresponde a 100 μ m)

de color verde más intenso relativo al resto de los segmentos.

Estos segmentos presentaron una serie de corpúsculos idénticos a granos de almidón encontrados en otras células vegetales (Newbury 1986) y a los observados en las imágenes de MET de Goldberg *et al.* (1984), en donde son descritos como una de las características diagnósticas y distintivas de los filamentos reproductivos de *E. endozoica* (Fig. 7).

De acuerdo a las características observadas en los filamentos algales encontrados en las puntas de las proyecciones de los ejes dentro de

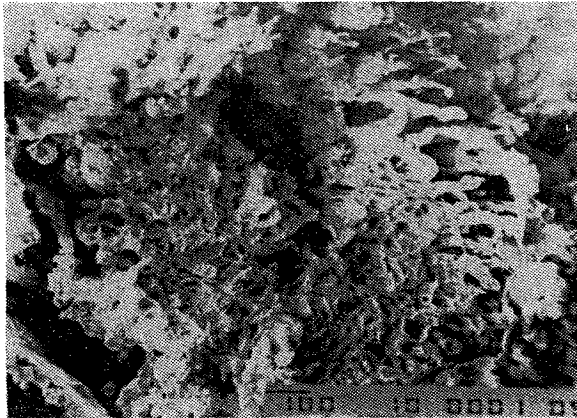


Fig. 5. Fotografía de Microscopio Electrónico de Barrido donde se muestran los filamentos algales dentro de las oquedades en el cenénquima de los tumores de *Plexaura flexuosa*. (La barra de escala en la fotografía corresponde a 100 μm).

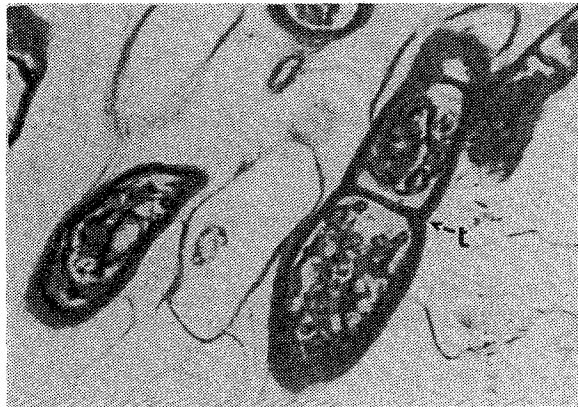


Fig. 6. Fotografía de Microscopía Electrónica de Transmisión de cortes longitudinales de filamentos de *Entocladia endozoica* (t: tabiques intersegmentales. Aumento $10^3\times$).

los tumores de *Plexaura flexuosa*, ya sea mediante microscopía óptica de diversos tipos o MET, es posible señalar con una alta probabilidad, que estos filamentos pertenecen al tipo II o reproductivo descrito por Goldberg y Makemson (1981) y Goldber *et al.* (1984).

La absorbancia registrada para los pigmentos encontrados en los filamentos algales presenta dos picos generales, uno amplio y de mayor altura alrededor de los 430 nm y otro más estrecho y agudo de menor altura alrededor de los 680 nm

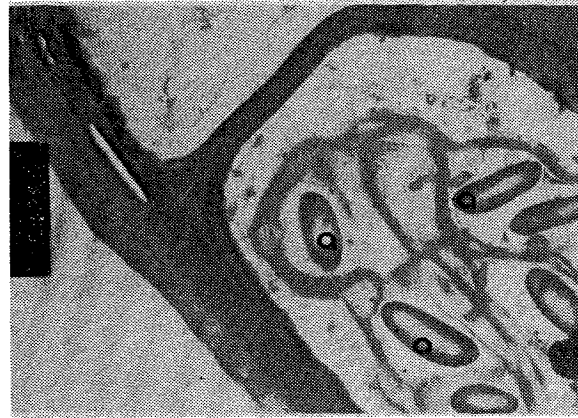


Fig. 7. Fotografías de Microscopía Electrónica de Transmisión de alta resolución donde se observan gránulos de almidón en cortes longitudinales de filamentos reproductivos de *Entocladia endozoica*. (a: gránulos de almidón. Aumento $10^4\times$).

(Fig. 8). El primer pico o acumulación de absorbancia puede representar en general a los carotenoides y otros pigmentos complementarios asociados con las subunidades fotosintéticas características de la mayoría de las algas y a uno de los picos de absorción de la clorofila a. El segundo pico representa el otro extremo de absorción de la clorofila a y b. Este comportamiento en la absorbancia, demuestra la existencia de pigmentos fotosintéticos característicos de las chloroplastas (Raven y Curtis, 1985).

DISCUSIÓN

El paso de luz a través de la pared del octocoral hasta la parte más interna del mismo podría no haberse detectado debido a alguna de las siguientes razones: a) La luz no atravesaba totalmente el octocoral, sino que llegaba a su parte más profunda, no continuando debido a la existencia de una membrana que separa su zona interna, del eje central o a la vaina axial en la mayoría de los casos. b) La longitud de onda que logra atravesar el tejido del octocoral es diferente a la emitida por el láser, la cual no logra atravesarlo. c) La longitud de onda que logra atravesar el octocoral es modificada por la refracción y reflexión causada por el agua de

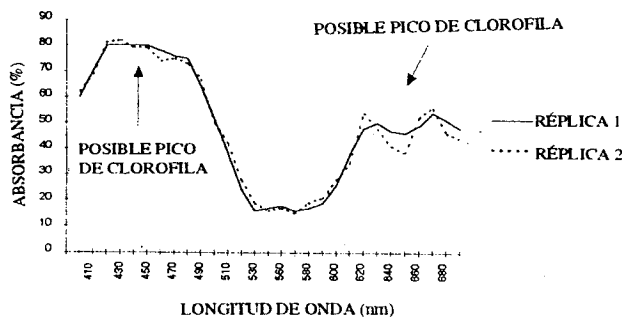


Fig. 8. Espectro de absorbancia para los pigmentos extraídos de algas presentes dentro de tumores de *Plexaura flexuosa*.

mar. d) La luz no tiene que atravesar todo el octocoral para llegar hasta donde se encuentran los filamentos algales. e) La cantidad de luz que logra llegar hasta la parte más interna del octocoral no es registrada por este montaje con los equipos utilizados y la misma puede ser modificada por la penetración de la vaina axial en muchas de sus regiones por parte de grupos de escleritas provenientes de capas más cercanas al exterior, a través de las cuales podría transmitirse luz.

Por otro lado, si se logró determinar el paso de la luz hacia la parte interna de las oquedades dejadas en las capas más internas del tejido del octocoral por las proyecciones del eje dentro de los tumores de *P. flexuosa*. La presencia de esta luz en una zona que podría contener escasa tirosina debido a que se encuentra alejada del ambiente que rodea la zona central del eje, rico en tirosina, podría inducir a los filamentos que allí se encuentran en estado vegetativo, a transformarse en filamentos reproductivos. Hay evidencias dentro de estos tumores de la existencia de filamentos en estado vegetativo creciendo cerca del eje y en la punta de proyecciones de menor tamaño que no han penetrado la vaina axial.

Como llega la luz hasta estos filamentos, es materia de especulación, sin embargo, la posibilidad de que ésta sea conducida por reflexión y refracción a través de las múltiples escleritas que se encuentran en el camino desde la capa más externa hasta el interior de las oquedades

es una opción válida. Esta vía es apoyada por varios hechos. Primero, se logró determinar que un grupo de escleritas empaquetadas son capaces de transmitir la luz visible a través de un tubo capilar a lo largo de 1.5 cm. En segundo lugar, el hecho de observar pequeños focos de color rojizo-amarillento desde dentro de las oquedades, al ser dirigido una emisión de luz visible sobre la parte externa del tumor, podría interpretarse como una difracción debida al paso de esta a través de cristales, los cuales podrían ser las escleritas. En tercer lugar, la disposición de las escleritas en la capa externa observada mediante microscopía óptica y confirmada a través de microscopía electrónica de barrido (Fig. 9 a y b), permite especular sobre la posibilidad de que este arreglo, entre otras cosas, permita captar la luz y transmitirla en forma unidireccional a regiones más profundas.

Dado los siguientes hechos: a) La presencia de filamentos algales del tipo II (o reproductivo) únicamente en las puntas de las proyecciones que penetraban dentro de los tejidos internos del octocoral. b) La ausencia de filamentos tipo II y presencia únicamente de filamentos tipo I en zonas del tumor donde aparentemente no penetra la luz o que están muy cercanas al núcleo del eje del octocoral rico en tirosina. c) Las evidencias que demuestran el paso de luz desde fuera de la colonia hacia dentro de las oquedades donde penetran dichas proyecciones. d) Las evidencias acerca del efecto que la luz o la escasez de tirosina pueden causar sobre los filamentos tipo I, promoviendo su transformación en tipo II. Se propone un cuerpo hipotético sobre el proceso de desarrollo de estas algas y de los tumores en *P. flexuosa*. Una vez que algún filamento algal haya alcanzado la superficie del eje del octocoral, estas pueden desarrollarse y crecer conservando el tipo I. El octocoral podría iniciar una respuesta frente a esta invasión produciendo un crecimiento de proyecciones laterales perpendiculares al eje las cuales alejarían los filamentos algales del mismo hasta penetrar dentro de las capas internas del cenénquima del octocoral, atravesando, la vaina axial la cual es bastante opaca, llegando a zonas donde la luz puede penetrar median-

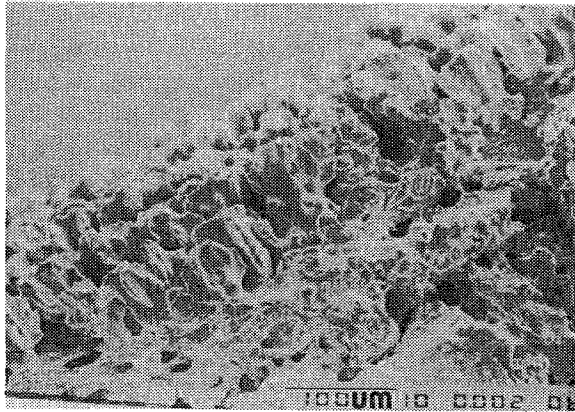


Fig. 9a. Fotografías de Microscopio Electrónico de Barrido donde se muestran las capas de escleritas en *Plexaura flexuosa*. (Barra de escala: 100 μ m).

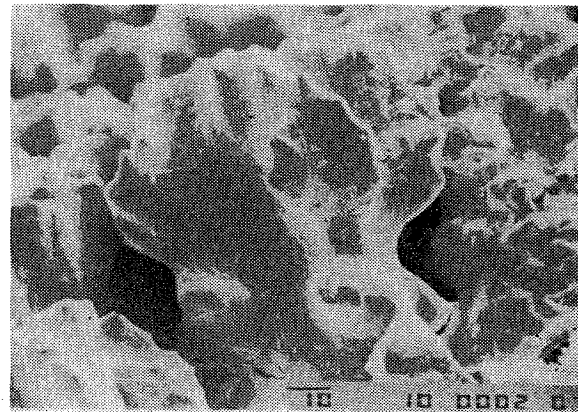


Fig. 9b. Fotografías de Microscopio Electrónico de Barrido de una espícula de *Plexaura flexuosa*. (Barra de escala: 10 μ m).

te la reflexión y refracción a través de las escleritas. Al encontrarse en un medio relativamente alejado del eje del octocoral (rico en tirosina), alojadas en oquedades cercanas al medio ambiente exterior y en contacto con la luz que logra penetrar hasta allí, los filamentos algales vegetativos podrían transformarse en filamentos reproductivos los cuales tienden a producir zoosporas móviles de dimensiones suficientemente pequeñas, como para salir al exterior, ya sea a través de los canales, poros y espacios entre las escleritas de mayor tamaño de las capas del octocoral o cuando las proyecciones atraviesan la superficie externa del tumor.

Este proceso podría llevar a la eliminación o a controlar el crecimiento de los filamentos algales que logran llegar a la superficie del eje del octocoral, siempre y cuando muy pocas zoosporas producidas por los filamentos reproductivos logren regresar hacia el eje e iniciar el desarrollo de un nuevo filamento vegetativo. El grado de reinfección no fue directamente comprobada en este trabajo, ni ha sido señalado en la bibliografía; sin embargo, sí fue posible observar material similar a filamentos algales que parecían estar muertos cubriendo algunas proyecciones que penetraban dentro de las capas internas del tumor. Las zoosporas de algunas algas tales como *Ectocarpus* presentan fototacismo positivo, lo que hace que una vez liberadas al medio migren hacia la superficie o en di-

rección de la fuente principal de luz. Las zoosporas de *Fucus*, por ejemplo, son capaces de orientarse o moverse a lo largo del plano de polarización de la luz; esto ocurre presumiblemente por que contienen un mecanismo probablemente relacionado con la estructura semicristalina de los polisacáridos, capaz de percibir y reaccionar ante la luz polarizada (Raven y Curtis, 1985).

Por otra parte, el mecanismo mediante el cual el octocoral detecta los filamentos algales y desarrollan las proyecciones es hasta el momento desconocido; sin embargo no es difícil concebir esta parte del proceso dado que se observan crecimientos anómalos de los ejes de diferentes especies de gorgonidos cuando son invadidos por diversos invertebrados y algas (Van Alstyne y Paul, 1992). Es posible discutir cual es el valor que tendría para el octocoral la existencia de este mecanismo, fuese cual fuese su origen. Si los filamentos vegetativos de *E. endozoica* continúan creciendo indetenidamente, como de hecho lo hacen en ciertos tumores, estos terminarían por causar daños considerables en la estructura interna del eje del octocoral y podrían fracturar la rama donde se encuentra el mismo. En el mejor de los casos, el crecimiento de estos filamentos produce una disminución en la capacidad de flexión y elasticidad de las ramas a nivel donde se encuentran los tumores. El material esquelético (las fibras

protéicas de gorgonina) en su estado normal puede resistir una fuerza de tensión 60% mayor a la que presenta el material infectado por *E. endozoica*, perdiendo este último tipo de estructura esquelética hasta un 90% de su flexibilidad (Goldberg *et al.* 1984).

La pérdida de flexibilidad de las ramas de una colonia de octocoral, podría ejercer efectos perjudiciales sobre la misma al hacer frente a las corrientes, creando mayor resistencia a las mismas (Velimirov 1976, Harvell y La Barbera 1985, Weinbauer y Velimirov 1995) y afectando las ventajas que dicha flexión confiere a la captura de partículas por parte de los pólipos de estas ramas en condiciones de velocidad media de las corrientes (La Barbera 1984, Patterson 1991, Sponnaugle y La Barbera 1991).

De esta manera el eliminar o disminuir aunque sea cíclicamente el crecimiento de los filamento vegetativos (quienes son generalmente, en esta especie, los causantes de los efectos perjudiciales anteriormente señalados) podría representar una ventaja considerable para una colonia dada, sobre todo si se toma en cuenta la cantidad de tumores que pueden haber por colonia y la velocidad que las corrientes pueden alcanzar en el intervalo de profundidad donde estas habitan.

Como se ha podido notar a lo largo de esta discusión, las hipótesis y proposiciones expuestas en el presente estudio, provenientes de la recopilación de observaciones acerca de la relación simbiótica entre *E. endozoica* y *P. flexuosa*, abren múltiples caminos a seguir. Estos caminos no solo se orientan hacia la resolución de preguntas particulares inherentes a dicha relación, sino que además generan una línea de investigación hasta el momento inexplorada sobre las posibles adaptaciones de los octocorales a la captación y transmisión de luz hacia sus zooxantelas, mediante la forma y disposición de sus escleritas. Sin lugar a dudas, esta línea debe ser enfrentada tanto con el uso de tecnologías adecuadas, como con el trabajo interdisciplinario, para poder enfocarse hacia la realidad estructural y física de la relación, sus consecuencias energéticas para ambos simbioses; así como para vislumbrar el origen y evolución de dicha relación.

RESUMEN

El presente estudio describe y analiza una relación inductora de "tumores" o nódulos entre el alga cloroficea *Entocládia endozoica* y el octocoral *Plexaura flexuosa* en el Parque Nacional Morrocoy, Venezuela. Mediante un muestreo aleatorio estratificado se recolectaron todos los nódulos presentes en nueve colonias escogidas al azar y cinco nódulos en cada una de las colonias de *P. flexuosa* restantes en tres bandas de 72 m² cada una, ubicadas en tres profundidades (4.8 y 12 m). Utilizando técnicas de microscopía estereoscópica y electrónica de barrido se estudió la morfología externa e interna de los nódulos y las relaciones espaciales de los filamentos algales y el eje de gorgonina del octocoral. Con el propósito de corroborar la taxonomía del alga e identificar el estadio reproductivo en el cual se hallaban los filamentos, estos fueron preparados para ser estudiados mediante microscopía electrónica de transmisión. Se analizó además, el paso de la luz a través del cenénquima del octocoral mediante un haz láser, lámpara de descarga y sensores de fibra óptica para detectar si la luz alcanzaba los filamentos algales. Los resultados demuestran que los filamentos de *E. endozoica* se encuentran dentro de los nódulos de *P. flexuosa* sobre proyecciones del eje perpendiculares a éste y de tamaño variable. Estas proyecciones pueden penetrar a través de la vaina axial hacia el cenénquima, llegando inclusive a romper la pared externa del nódulo. Los filamentos del alga que se hallaban sobre las proyecciones del eje que penetraban el cenénquima se encontraban siempre en estadio reproductivo. Cuando los filamentos se desarrollaban sobre el eje principal o no penetraban la vaina axial hacia el cenénquima, permanecían en estado vegetativo. El estudio óptico evidenció el paso de luz hacia el interior del tejido del octocoral donde se encontraban los filamentos algales en estadio reproductivo. Se postula que las proyecciones del eje dentro de los nódulos podrían ser parte de un mecanismo mediante el cual el octocoral puede inducir el estado reproductivo en los filamentos, los cuales resultarían menos dañinos para la persistencia de la rama donde se desarrolló el nódulo. Es posible que la luz que atraviesa el cenénquima desde el exterior hacia la punta de las proyecciones del eje, contribuya también con esta transformación.

REFERENCIAS

- Antonius, A. 1977. Coral mortality in reefs: a problem for science and management. Proc. 3rd Int. Coral Reef Symp., Miami. 2: 617-623.
- Antonius, A. 1981. Coral Reef Pathology: A review. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. Manila. 2: 3-6.
- Garret, P. and H. Ducklow. 1975. Coral diseases in Bermuda. Nature. 253: 349-350.

- Goldberg, W. M. and J. C. Makemson. 1981. Description of a tumorous condition in a gorgonian coral associated with a filamentous green algae. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. Manila. 2: 685-697.
- Goldberg, W. M., J. C. Makemson and S. B. Colley. 1984. *Entocladia endozoica* sp. nov., a pathogenic chlorophyte: Structure, life history, physiology, and effect on its coral host. Biol. Bull. 166: 368-383.
- Grimstone, A.V. and R.J. Skaer 1972. A Guide to Microscopical Methods. Cambridge at the University. London. 134 pp.
- Hayat, M. 1972. Basic Electron Microscopy Techniques. Van Nostrand Reinhold. New York. 354p
- Harvell, C.D., and M. La Barbera. 1985. Flexibility: A mechanism for control of local velocities in hydroid colonies. Biol. Bull., 168:312-320.
- La Barbera, M. 1984. Feeding currents and particle capture mechanism in suspension feeding animals. Am. Zool. 24: 71-84.
- Meek, G. 1976. Practical Electron Microscopy for Biologist. Willey Edit. London. 628 p.
- Morse, D. E., A. N. C. Morse, and H. Duncan. 1977. Algal "tumors" in the Caribbean sea-fan, *Gorgonia ventalina*. Proc. 3rd Intl. Coral Reef Symp., Miami. 1: 623-629.
- Morse, D.E., A. Morse, H. Duncan, and R.H. Trench. 1981. Algal tumors in the Caribbean octocorallian, *Gorgonia ventalina*: II. Biochemical characterization of the algae, and first epidemiological observations. Bull. Mar. Sci. 31: 399-409.
- Newbury, D. E. 1986. Advanced scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Plenum; New York. 454 p.
- Patterson, M.R.: 1991. the effects of flow on polip level prey capture in an octocoral, *Alcyonium siderium*. Biol. Bull. 180:93-102.
- Raven, P. y H. Curtis. 1985. Biología Vegetal. Ediciones Omega. Barcelona. España. 716p.
- Sponnaugle, S. and M. La Barbera. 1991. Drag-induced deformation: a functional feeding strategy in two species of gorgonians. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 148: 121-134.
- Van Alstyne, K.L. and V. Paul. 1992. Chemical and structural defenses in the sea fan *Gorgonia ventalina*: Effects against generalist and specialist predators. Coral Reefs, 11: 155-159.
- Velimirov, B. 1976. Variations in growth forms of *Eunicella cavalloni* Koch (Octocorallia) related to intensity of water movement. J. Exp. Biol. Ecol., 21:109-117.
- Weinbauer, M. G. and B. Velimirov. 1995. Morphological variations in the mediterranean sea fan *Eunicella cavalloni*. (Coelenterata: Gorgonacea) in relation to exposure, colony size and colony region. Bull. Mar. Sci. 56(1): 238-295.