

Nuevas adiciones al conocimiento de la actividad antibiótica de macroalgas marinas mexicanas

Graciela De Lara-Isassi, Sergio Álvarez-Hernández,
Cruz Lozano-Ramírez y Norma Hernández-Soto.

Lab. de Ficología Aplicada. Departamento de Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Apdo. Postal 55-535. México, D.F. 09340.

De Lara-Isassi G., S. Álvarez-Hernández, C. Lozano-Ramírez y N. Hernández-Soto, 1999. Nuevas adiciones al conocimiento de la actividad antibiótica de macroalgas marinas mexicanas. *Hidrobiológica* 9 (2): 159-169.

RESUMEN

Se estudió la actividad bactericida de 57 especies de macroalgas colectadas en la zona rocosa intermareal y arrecifal de 19 localidades costeras del Golfo de México y Caribe Mexicano. De las cuales se obtuvieron tres tipos de extractos crudos, usando etanol, acetona y agua como solventes, probándolos contra cuatro cepas puras de bacterias: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Shygella sonnei* y *Streptococcus pyogenes*. Presentaron actividad antibacteriana en algunos de sus extractos 31 especies (54 %), de las cuales 16 tuvieron máxima actividad, observándose halos de inhibición mayores a 10 mm; 15 presentaron actividad moderada con halos menores a 10 mm. De las 31 especies activas, el 29 % (9), eran de la División Chlorophyta; el 19 % (6) Phaeophyta y el 52 % (16) Rhodophyta. La variación del poder antibiótico de los extractos debido a la localidad o a la época de colecta se comprobó en: *Digenea simplex*, *Gracilaria cornea*, *Laurencia intricata*, *L. obtusa* y *L. papillosa*. Los extractos de *Liagora farinosa*, *Dasycladus vermicularis* y *Lobophora variegata* produjeron los mayores halos de inhibición y un amplio espectro de acción bactericida. Se reporta por primera vez actividad antibacteriana en: *Cladophora sericea* (Chlorophyta), *Padina boergesenii* (Phaeophyta), *Gracilaria cornea*, *G. venezuelensis*, *Laurencia intricata*, *Prionitis pterocladina* y *Pterocladia pinnata* (Rhodophyta). Se corroboró que el grado de polaridad del solvente facilita la extracción de sustancias antibacterianas, siendo la acetona el más recomendable.

Palabras clave: Macroalgas marinas, actividad antibacteriana, México, arrecife.

ABSTRACT

It was studied the antibacterial activity of 57 seaweed species collected in the intertidal and reef zones of 19 coastal localities of the Gulf of Mexico and Mexican Caribbean sea. Crude extracts were obtained using, ethanol, acetone and water as solvents, they were tested against four pure bacterial strains: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Shygella sonnei* and *Streptococcus pyogenes*. The extracts of 31 species (54 %) showed some degree of antibacterial activity, from them 16 were highly active showing inhibition zones higher than 10 mm; 15 had moderate activity with inhibition zones lower than 10 mm. From the 31 active species 29 % (9), were Chlorophyta, the 19 % (6) were Phaeophyta and the 52 % (16) Rhodophyta. The variation of antibacterial activity related to the locality or time of collection was observed in: *Digenea simplex*, *Gracilaria cornea*, *Laurencia intricata*, *L. obtusa* and *L. papillosa*. The extracts of *Liagora farinosa*, *Dasycladus vermicularis* and *Lobophora variegata* presented the highest inhibition zones and a wide spectrum of antibacterial activity. This is the first report of antibiotic activity on *Cladophora sericea* (Chlorophyta), *Padina boergesenii* (Phaeophyta), *Gracilaria cornea*, *G. venezuelensis*, *Laurencia intricata*, *Prionitis pterocladina* and *Pterocladia pinnata* (Rhodophyta). It was verified that the solvent polarity makes easy the extraction of antibacterial substances, we recommend acetone as a suitable solvent for this kind of extractions.

Key words: Marine algae, antibacterial activity, Mexico, reef.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades antibióticas de diferentes tipos de extractos de algas marinas han sido bien documentadas (Pesando, 1990); en la actualidad, el estudio de la antibiosis algal suele enmarcarse en cuatro perfiles estrechamente relacionados: la búsqueda de especies con actividad antimicrobiana (Rao y Parekh, 1981; Jing-Wen y Wei-Ci, 1984; Reichelt y Borowitzka, 1984), la separación, purificación y elucidación de la estructura química de los compuestos responsables de la misma (Caccamese *et al.*, 1985; Rossel y Srivastava, 1987; Rao *et al.*, 1988; Sastry y Rao, 1994), los efectos ocasionados por las variaciones estacionales, la ubicación geográfica y las características del medio sobre su expresión (Vidyavathi y Sridhar, 1991; Robles *et al.*, 1996) y el significado de las implicaciones de

carácter adaptativo, ecofisiológico y evolutivo para la planta portadora de estos metabolitos (Paul, 1992; Schmitt *et al.*, 1995).

En algunas zonas del Atlántico del norte la búsqueda de especies con actividad antimicrobiana ha sido reiterada. Numerosas prospecciones efectuadas durante las últimas cuatro décadas en el litoral del Mar del Norte, (Glombitza y Klapperich, 1985), las Islas Británicas (Hornsey y Hide, 1976 a y b) y el Mediterráneo (Biard *et al.*, 1980; Pesando y Caram, 1984; Ballesteros *et al.*, 1992), permiten discernir con bastante aproximación el potencial antibiótico que posee este recurso natural en las mismas. Sin embargo, en el Atlántico occidental tropical, las evaluaciones de antibiosis algal son todavía escasas, a pesar de haberse iniciado en la región desde los primeros años de la década del sesenta (Burkholder *et al.*, 1960; Martínez-Nadal, 1961).

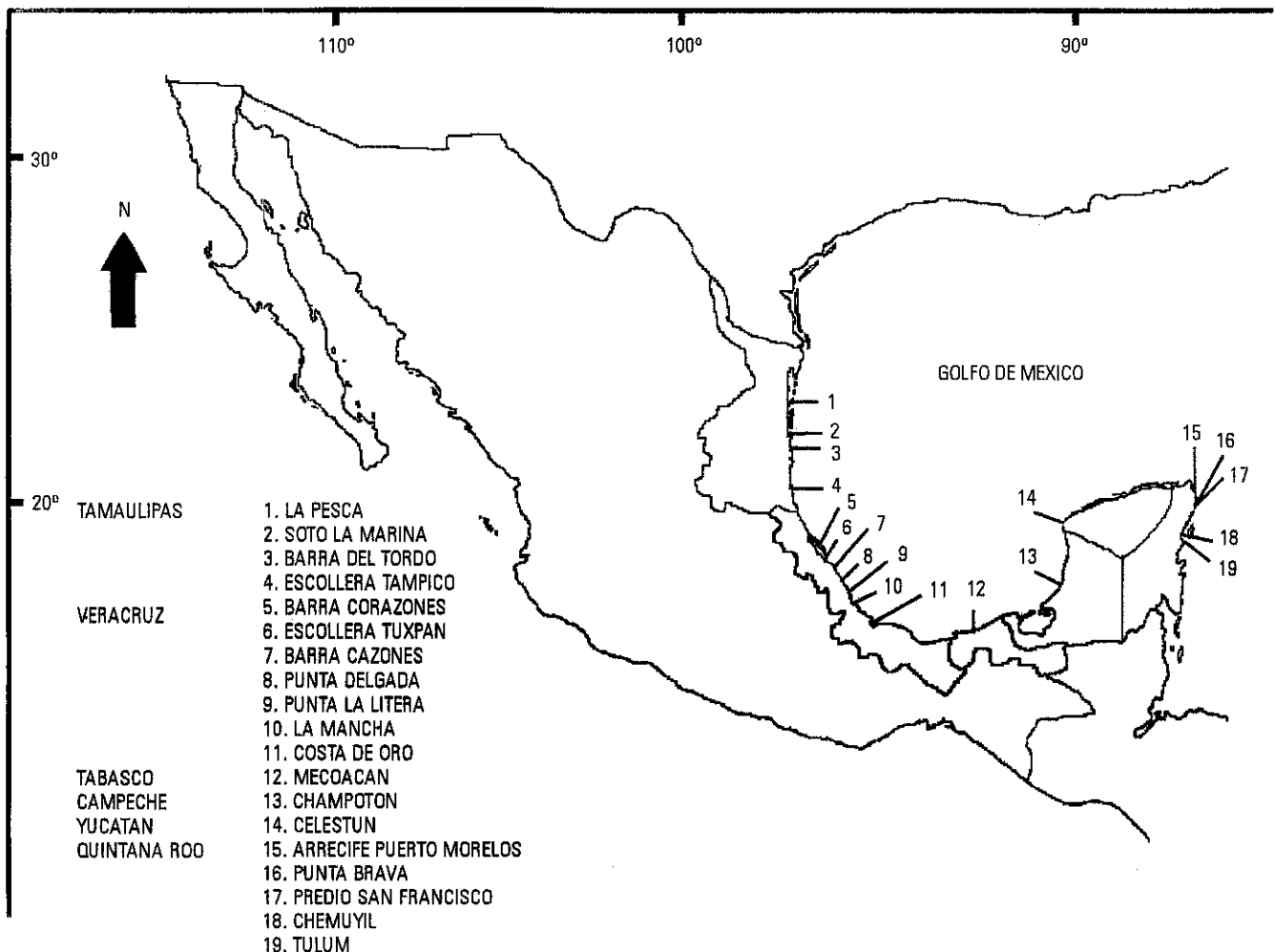


Figura 1. Localización de los sitios de colecta en el Golfo de México y Mar Caribe.

El primer registro de actividad antibiótica inducida por extractos de algas mexicanas fue emitido por Allen y Dawson (1960). En los años posteriores las investigaciones ficológicas en México se ciñeron, por lo general, a inventarios florísticos o descripciones taxonómicas y ecológicas, y no es hasta fecha reciente que se sistematiza la búsqueda de algas con propiedades antibióticas (De Lara-Isassi *et al.*, 1989; De Lara-Isassi, 1991; De Lara-Isassi y Ponce-Márquez, 1991, De Lara-Isassi y Alvarez-Hernández, 1994; De Lara-Isassi *et al.*, 1996).

El presente trabajo le confiere continuidad a esta línea de investigación, resume los resultados no publicados hasta la fecha y aporta datos adicionales acerca de la actividad antibiótica de tres tipos de extractos de macroalgas colectadas en varias localidades de la costa mexicana.

MATERIAL Y MÉTODO

Se colectaron 57 especies de macroalgas (tabla 1). Todos los ejemplares fueron separados del substrato con la ayuda de una espátula o extraídos manualmente del piso intermareal rocoso y de las zonas arrecifales de 19 localidades costeras distribuidas en los siguientes seis estados de la República Mexicana: Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán, ubicadas en aguas del Golfo de México y en el estado de Quintana Roo, Caribe Mexicano (figura 1). Para la colecta de las algas se efectuaron 11 campañas de muestreo comprendidas entre enero de 1993 y junio de 1997. De ellas, ocho se efectuaron en primavera o verano y tres de ellas en los meses de otoño e invierno o en meses de tránsito a esta etapa climática.

Una vez efectuada la colecta, las algas se enjuagaron con agua de mar con el fin de eliminar la arena, los residuos sólidos y la fauna asociada. Inmediatamente después de ser preclasificadas y separadas en bolsas de plástico, las muestras de congelaron con CO₂ sólido, para evitar la descomposición o pérdida de actividad de sus metabolitos. En el laboratorio se lavaron con agua corriente con el fin de eliminar la arena y otros residuos inorgánicos y se limpiaron de epibiontes bajo el microscopio de disección.

Parte del material se preservó, como duplicados, en formalina al 4 % glicerizada para la posterior identificación taxonómica de los ejemplares y su incorporación a herbario. El resto se colocó sobre papel absorbente con el fin de eliminar el exceso de agua (Pesando y Caram, 1984), procediéndose acto seguido a la obtención de los extractos algales, usando tres solventes con diferente grado de polaridad. La preparación de los mismos se efectuó con 30 gramos de biomasa algal, macerados en un homogenizador

Waring, empleando 30 ml del solvente de extracción: agua, alcohol o acetona según el caso. El homogenado se centrifugó a 1 000 *g* durante 20 minutos. El sobrenadante se evaporó a temperatura ambiente. Los cristales obtenidos fueron resuspendidos con 5 ml del solvente de extracción y guardados a -6 °C hasta su utilización.

Para evaluar la actividad antibiótica de los extractos se usaron discos estériles de papel de filtro Whatman No. 42 de 6 mm de diámetro, los cuales se cargaron asépticamente con 0.1 ml de extracto algal a probar. Una vez secos, estos se colocaron por triplicado en cajas Petri de polipropileno con 15 ml de agar soya-tripticaseína previamente inoculado con la cepa bacteriana a inhibir. Un cuarto disco, solo con el solvente empleado para la obtención del extracto, se adicionó como testigo en cada caja Petri, estos pasos se realizaron en una campana de flujo laminar VECO®. Los extractos fueron probados contra cuatro cepas puras, dos de bacterias gram positivas: *Streptococcus pyogenes* y *Staphylococcus aureus* y dos de bacterias gram negativas, *Escherichia coli* y *Shygella sonnei*. La incubación se efectuó a 37 °C y los cultivos se observaron a las 24, 36 y 48 horas. Los diámetros de la zona de inhibición producida por cada disco se midieron a las 24 horas. Se consideraron extractos con actividad antibiótica moderada, aquellos que produjeron zonas de inhibición menores a 10 mm y con máxima actividad los que dieron zonas mayores a 10 mm.

RESULTADOS

Se colectaron 57 especies de macroalgas, 12 de ellas miembros de la División Chlorophyta, 13 integrantes de la División Phaeophyta y 32 pertenecientes a la División Rhodophyta (tabla 1). La tabla 2 muestra la respuesta antibiótica de los extractos acetónicos, etanólicos y acuosos provenientes de las especies evaluadas sobre las cepas de *Staphylococcus aureus*, *Shygella sonnei* y *Streptococcus pyogenes*, ninguno de estos extractos inhibió el crecimiento de *Escherichia coli*.

Del total de especies recolectadas (57), el 54 % de ellas (31) presentaron actividad antibiótica en alguno de sus extractos contra alguna de las cepas bacterianas usadas. Los extractos de 15 especies presentaron actividad moderada en la inhibición del crecimiento de alguna de las cepas bacterianas probadas, pudiendo ser activos los extractos acetónicos o etanólicos o, en algunos casos ambos. Un total de 16 especies (6 clorofitas, 3 feofitas y 7 rodofitas) se consideraron como especies con máxima actividad o muy activas ya que sus extractos acetónicos o

Tabla 1. Especies recolectadas en las costas del Golfo de México y Mar Caribe.

| | Fecha | Localidad | Estado |
|--|-------|------------------|--------------|
| División Chlorophyta | | | |
| <i>Avrainvillea longicaulis</i> (Kützinger) G. Murray et Boodle | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 6/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Caulerpa cupressoides</i> (West in Vahl) C. Agardh | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 6/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Caulerpa paspaloides</i> (Bory de Saint-Vincent) Greville | 6/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Chaetomorpha antennina</i> (Bory) Kützinger | 6/94 | Soto la Marina | Tamaulipas |
| <i>Cladophora sericea</i> (Hudson) Kützinger | 7/93 | Costa de Oro | Veracruz |
| <i>Cymopolia barbata</i> (Linnaeus) Lamouroux | 7/93 | La Mancha | Veracruz |
| <i>Dasycladus vermicularis</i> (Scopoli) Krasser | 6/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Enteromorpha intestinalis</i> (Linnaeus) Link | 6/94 | Barra Cazones | Veracruz |
| <i>Penicillus capitatus</i> Lamarck | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 6/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Udotea flabellum</i> (Ellis & Solander) Lamouroux | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Ulva fasciata</i> Delile | 6/94 | Soto la Marina | Tamaulipas |
| <i>Ulva lactuca</i> Linnaeus | 7/93 | Costa de Oro | Veracruz |
| División Phaeophyta | | | |
| <i>Chnoospora minima</i> (Hering) Papenfuss | 7/93 | Punta La Litera | Veracruz |
| <i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès et Solier | 7/93 | Punta Delgada | Veracruz |
| <i>Dictyota bartayresiana</i> (Lamouroux) Papenfuss | 11/94 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Dictyota cervicornis</i> Kützinger | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>D. linearis</i> (C. Agardh) Greville | 5/97 | Celestún | Yucatán |
| <i>Hincksia breviariculata</i> (J. Agardh) Silva | 7/93 | Punta La Litera | Veracruz |
| <i>Lobophora variegata</i> (Lamouroux) Womersley | 11/94 | Punta Brava | Quintana Roo |
| | 4/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 6/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Padina boergesenii</i> Allender & Kraft | 7/93 | Punta Delgada | Veracruz |
| <i>Sargassum cymosum</i> C. Agardh | 6/94 | Barra del Tordo | Tamaulipas |
| <i>Sargassum filipendula</i> C. Agardh | 3/92 | La Pesca | Tamaulipas |
| <i>Sargassum vulgare</i> C. Agardh | 6/94 | Barra corazones | Veracruz |
| <i>Spatoglossum schroederi</i> (C. Agardh) Kützinger | 6/94 | Soto La Marina | Tamaulipas |
| <i>Turbinaria tricostrata</i> Barton | 11/94 | Tulum | Quintana Roo |
| División Rhodophyta | | | |
| <i>Acanthophora spicifera</i> (Vahl) Borgesen | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Bryocladia cuspidata</i> (J. Agardh) De Toni | 6/94 | Escollera Tuxpan | Veracruz |
| <i>Bryocladia thyrsegera</i> (J. Agardh) Achmitz in Falkenberg | 7/93 | Costa de Oro | Veracruz |
| <i>Bryothamnion triquetrum</i> (Gimelin) Howe | 11/94 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh in Kunth) Montagne in Durieu de Maisonneuve | 7/93 | Punta Delgada | Veracruz |

Tabla 1. Continuación.

| | Fecha | Localidad | Estado |
|---|-------|-------------------|--------------|
| División Rhodophyta (Continuación) | | | |
| <i>Dasya crouaniana</i> J. Agardh | 6/94 | Soto la Marina | Tamaulipas |
| <i>Digenea simplex</i> (Wulfen) C. Agardh | 7/93 | Punta el Morro | Veracruz |
| | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskal) Feldman & Hamel | 6/94 | Barra corazones | Veracruz |
| <i>Gelidium crinale</i> Turner Gaillon | 6/94 | Soto la Marina | Tamaulipas |
| <i>Gracilaria blodgettii</i> Harvey | 6/94 | Soto la Marina | Tamaulipas |
| <i>G. bursa-pastoris</i> (Gmelin) Silva | 1/93 | Mecoacán | Tabasco |
| <i>G. cervicornis</i> (Turner) J. Agardh | 6/94 | Barra corazones | Veracruz |
| <i>G. cornea</i> J. Agardh | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>G. mammillaris</i> (Montagne) Howe | 6/94 | Barra corazones | Veracruz |
| <i>G. venezuelensis</i> Taylor | 7/93 | Costa de Oro | Veracruz |
| <i>Gracilariopsis lemaneiformis</i> (Bory) Dawson, Acleto & Foldvik | 7/93 | Costa de Oro | Veracruz |
| <i>Grateloupia doryphora</i> (Montagne) Howe | 6/94 | Barra de cazones | Veracruz |
| <i>Grateloupia filicina</i> (Lamouroux) C. Agardh | 6/94 | Escollera Tampico | Tamaulipas |
| <i>Haliptilon cubense</i> (Montagne ex Kützing) Garbay & Johansen | 6/94 | Escollera Tuxpan | Veracruz |
| <i>Halymenia agardhii</i> De Toni | 6/94 | Soto la Marina | Tamaulipas |
| <i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen en Jacquin) Lamouroux | 7/93 | Escollera Tuxpan | Veracruz |
| <i>H. spinella</i> (C. Agardh) Kützing | 7/93 | Costa de Oro | Veracruz |
| <i>Laurencia gemmifera</i> Harvey | 4/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 7/97 | Champotón | Campeche |
| <i>L. intricata</i> Lamouroux | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>L. obtusa</i> (Hudson) Lamouroux | 11/94 | Chemuyil | Quintana Roo |
| | 6/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>L. papillosa</i> (C. Agardh) Greville | 11/94 | Predio San Fco. | Quintana Roo |
| | 5/96 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>L. poiteaui</i> (Lamouroux) Howe | 7/92 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Liagora farinosa</i> Lamouroux | 6/97 | Puerto Morelos | Quintana Roo |
| <i>Prionitis pterocladina</i> Wynne | 6/94 | Barrade Cazones | Veracruz |
| <i>Pterocladia capillaceae</i> (S. G. Gmelin) Bornet & Thuret | 6/94 | Escollera Tuxpan | Veracruz |
| <i>P. pinnata</i> (Hudson) Papenfuss | 6/94 | Soto la Marina | Tamaulipas |
| <i>Spyridia filamentosa</i> (Wulfen) Harvey | 8/95 | Puerto Morelos | Quintana Roo |

etanólicos produjeron halos de inhibición iguales o mayores a 10 mm. La distribución porcentual de las 31 especies que manifestaron actividad antibacteriana por División fue: Chlorophyta el 29 % (9), Phaeophyta el 19 % (6) y Rhodophyta el 52 % (16).

En la División Chlorophyta destaca la actividad bactericida de los extractos de *Dasycladus vermicularis*, los cuales presentaron los mayores halos de inhibición contra *Staphylococcus aureus* y *Shygela sonnei*. Se observó

variación estacional en la presencia de metabolitos antibióticos en tres especies de esta división: *Avrainvillea longicaulis*, *Caulerpa cupressoides* y *Penicillus capitatus*. Las dos especies de *Ulva* estudiadas no presentaron actividad.

En las algas de la división Phaeophyta, destaca que los extractos acetónico y etanólico de *Padina boergesenii* fueron activos contra *Streptococcus pyogenes*, al igual que el extracto acuoso de *Lobophora variegata*, solamente estas

Tabla 2. Resultados de las pruebas de actividad antibiótica**

| División | Fecha | Localidad | <i>Staphylococcus aureus</i> | | | <i>Shygella sonnei</i> | | | <i>Streptococcus pyogenes</i> | | |
|----------------------------------|-------|------------------|------------------------------|-----|------|------------------------|-----|-----|-------------------------------|-----|-----|
| | | | CE. | ET. | AC. | CE. | ET. | AC. | CE. | ET. | AC. |
| Chlorophyta | | | | | | | | | | | |
| <i>Avrainvillea longicaulis</i> | 5/96 | Puerto Morelos | - | 10* | - | - | - | - | - | - | - |
| | 6/97 | Puerto Morelos | - | - | - | 11 | 15 | - | - | - | - |
| <i>Caulerpa cupressoides</i> | 8/95 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 6/97 | Puerto Morelos | - | - | - | 13 | 11 | - | - | - | - |
| <i>C. paspaloides</i> | 6/97 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Chaetomorpha antennina</i> | 6/94 | Soto la Marina | 7 | 7 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Cladophora sericea</i> | 7/93 | Costa de Oro | 11 | 8 | 8 | - | - | - | - | - | - |
| <i>Cymopolia barbata</i> | 7/93 | La Mancha | 8 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Dasycladus vermicularis</i> | 6/97 | Puerto Morelos | 13 | 15 | - | 15 | 16 | - | - | - | - |
| <i>Enteromorpha intestinalis</i> | 6/94 | Barra Cazones | - | 9 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Penicillus capitatus</i> | 8/95 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 6/97 | Puerto Morelos | - | - | - | 11 | 8 | - | - | - | - |
| <i>Udotea flabellum</i> | 8/95 | Puerto Morelos | 12.5 | 11 | 9 | - | - | - | - | - | - |
| <i>Ulva fasciata</i> | 6/94 | Soto la Marina | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Ulva lactuca</i> | 7/93 | Costa de Oro | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Phaeophyta | | | | | | | | | | | |
| <i>Chnoospora minima</i> | 7/93 | Punta La Litera | 9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Colpomenia sinuosa</i> | 7/93 | Punta Delgada | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Dictyota bartayresiana</i> | 11/94 | Puerto Morelos | - | 8.6 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Dictyota cervicornis</i> | 8/95 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | 9 | 11 | - | - | - | - |
| <i>D. linearis</i> | 5/97 | Celestún | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Hinckia breviarticulata</i> | 7/93 | Punta La Litera | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Lobophora variegata</i> | 11/94 | Punta Brava | 9.8 | 8.9 | 12.3 | - | - | - | - | - | 9.3 |
| | 4/95 | Puerto Morelos | - | - | 16 | 13 | 12 | - | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | 10 | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | 11 | 11 | 10 | - | - | - |
| | 6/97 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Padina boergesenii</i> | 7/93 | Punta Delgada | 7 | - | - | - | - | - | 13 | 11 | - |
| <i>Sargassum cymosum</i> | 6/94 | Barra del Tordo | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Sargassum filipendula</i> | 3/92 | La Pesca | 9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Sargassum vulgare</i> | 6/94 | Barra corazones | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Spatoglossum schroederi</i> | 6/94 | Soto La Marina | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Turbinaria tricostata</i> | 11/94 | Tulum | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rhodophyta | | | | | | | | | | | |
| <i>Acanthophora spicifera</i> | 8/95 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Bryocladia cuspidata</i> | 6/94 | Escollera Tuxpan | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Bryocladia thyrsegera</i> | 7/93 | Costa de Oro | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Bryothamnium triquetrum</i> | 11/94 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5/97 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tabla 2. Continuación.

| División | Fecha | Localidad | <i>Staphylococcus aureus</i> | | | <i>Shygella sonnei</i> | | | <i>Streptococcus pyogenes</i> | | |
|-------------------------------------|-------|-------------------|------------------------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|-------------------------------|-----|-----|
| | | | CE. | ET. | AC. | CE. | ET. | AC. | CE. | ET. | AC. |
| Rhodophyta (continuación) | | | | | | | | | | | |
| <i>Centroceras clavulatum</i> | 7/93 | Punta Delgada | 9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Dasya crouaniana</i> | 6/94 | Soto la Marina | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Digenea simplex</i> | 7/93 | Punta el Morro | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 8/95 | Puerto Morelos | 9 | 9 | 9 | - | - | - | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Gelidiella acerosa</i> | 6/94 | Barra corazones | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Gelidium crinale</i> | 6/94 | Soto la Marina | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Gracilaria blodgettii</i> | 6/94 | Soto la Marina | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>G. bursa-pastoris</i> | 1/93 | Mecoacán | 9 | - | - | - | - | - | 11 | - | - |
| <i>G. cervicornis</i> | 6/94 | Barra corazones | 8 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>G. cornea</i> | 8/95 | Puerto Morelos | 7 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | 10 | 10 | - | - | - | - |
| | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | 10 | - | - | - | - | - |
| <i>G. mamillaris</i> | 6/94 | Barra corazones | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>G. venezuelensis</i> | 7/93 | Costa de Oro | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Gracilariopsis lemaneiformis</i> | 7/93 | Costa de Oro | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Grateloupia doryphora</i> | 6/94 | Barra de cazones | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Grateloupia filicina</i> | 6/94 | Escollera Tampico | 7 | 7 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Haliptilon cubense</i> | 6/94 | Escollera Tuxpan | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Halymenia agardhii</i> | 6/94 | Soto la Marina | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Hypnea musciformis</i> | 7/93 | Escollera Tuxpan | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>H. spinella</i> | 7/93 | Costa de Oro | 14 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Laurencia gemmifera</i> | 4/96 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 7/97 | Chapotón | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 8/95 | Puerto Morelos | 8 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>L. intricata</i> | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 11/94 | Chemuyil | 8.3 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>L. obtusa</i> | 6/97 | Puerto Morelos | - | - | - | 14 | 12 | - | - | - | - |
| | 11/94 | Predio San Fco. | 10 | 9.4 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>L. papillosa</i> | 5/96 | Puerto Morelos | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 7/92 | Puerto Morelos | 11 | 11 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Liagora farinosa</i> | 6/97 | Puerto Morelos | 14 | - | 17 | 22 | 15 | 27 | - | - | - |
| <i>Prionitis pterocladina</i> | 6/94 | Barra de Cazones | 8 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Pterocladia capillacea</i> | 6/94 | Escollera Tuxpan | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>P. pinnata</i> | 6/94 | Soto la Marina | 8 | 8 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Spyridia filamentosa</i> | 8/95 | Puerto Morelos | 7 | 7 | - | - | - | - | - | - | - |

* Diámetro del halo de inhibición del crecimiento bacteriano en mm.

- Prueba negativa

CE Extracto acetónico ET Extracto etanólico AC Extracto acuoso

**En la tabla no se reportan los resultados contra *Escherichia coli*, por que ninguno de los extractos probados, inhibió su crecimiento.

dos especies fueron capaces de inhibir el crecimiento de esta cepa. Cabe mencionar que *Lobophora variegata* fue recolectada en varias campañas de muestreo y que su

actividad antibacteriana se modificó inhibiendo el crecimiento de las cepas bacterianas selectivamente; las muestras de la época de lluvias fueron activas contra *Sta-*

phylococcus aureus, mientras que las obtenidas en la temporada de secas fueron activas preferentemente contra *Shygella sonnei*. También se presentó esta característica en *Dictyota cervicornis*.

En la División Rhodophyta los extractos de *Liagora farinosa* presentaron los mayores halos de inhibición y el mayor espectro de acción bactericida. También se observó variación de la actividad dependiendo de la época de colecta para los extractos de *Gracilaria cornea*, *Laurencia obtusa*, estas especies fueron activas en tiempo de lluvias contra *Staphylococcus aureus* mientras que en época de secas inhibieron a *Shygella sonnei*, hasta la desaparición de la actividad en *Digenea simplex*, *L. intricata* y *L. papillosa* durante la colecta de 1996. Destaca la actividad de *Gracilaria bursa-pastoris* de Mecoaacán, Tabasco, que también inhibió el crecimiento de *Streptococcus pyogenes*, como lo hicieron *Padina boergesenii* y *Lobophora variegata* (Phaeophyta).

Los solventes de extracción que permitieron obtener en mayor medida los metabolitos con actividad antibacteriana, en orden decreciente fueron: acetona, etanol y agua con 39, 30 y 10 extractos activos respectivamente. La cepa bacteriana más sensible a la acción de los extractos fue *Staphylococcus aureus*, seguida de *Shygella sonnei* y finalmente *Streptococcus pyogenes*.

En la tabla 3 se observan los dos ambientes en los que se colectaron las algas, se muestran los totales de algas recolectadas en ellos y las especies que fueron activas. Cabe destacar que las algas de ambiente arrecifal mostraron mayor actividad antibiótica en cuanto a la inhibición del crecimiento bacteriano y mayor constancia de la presencia de esta característica que las recolectadas en la zona intermareal rocosa.

DISCUSIÓN

Desde un punto de vista cuantitativo, el número de especies evaluadas en el presente estudio supera con amplitud cualquier prospección efectuada con anterioridad en México. Asimismo, el número de algas que presentaron poder antibacteriano rebasa las anteriormente reportadas para las costas mexicanas por Allen y Dawson (1960), De Lara-Isassi et al. (1989, 1993, 1996), De Lara-Isassi (1991), De Lara-Isassi y Ponce-Márquez (1991) y De Lara-Isassi y Álvarez-Hernández (1994).

Las algas de la división Phaeophyta, y en particular las del orden Dictyotales, han sido consideradas entre las de mejores perspectivas en este campo por su contenido en terpenoides con actividad antimicrobiana (Fenical, 1978; Pesando y Caram, 1984; Moreau et al., 1984). En correspondencia con este hecho, algunas de las feofíceas probadas, específicamente, *Chnoospora minima*, *Dictyota bartayresiana*, *Dictyota cervicornis*, *Lobophora variegata*, *Padina boergesenii* y *Sargassum filipendula* presentaron esta actividad. Es notable el comportamiento de *L. variegata*, la cuál presentó el más amplio espectro de acción y su característica antibacteriana permaneció durante varios periodos de muestreo.

De las 57 especies analizadas en este estudio, 39 habían sido estudiadas con anterioridad, 12 en otras localidades de las costas mexicanas y 36 en otras partes del mundo. Algunas, como *Colpomenia sinuosa*, *Centroceras clavulatum*, *Enteromorpha intestinalis*, *Laurencia obtusa* y *Ulva lactuca* han sido estudiadas de modo exhaustivo (Henriquez et al., 1979; Caccamese et al., 1980; Pesando y Caram, 1984; entre otros). En el caso de *L. obtusa* se ha observado un amplio espectro de acción en el poder antibiótico de la especie ya que ha inhibido el crecimiento

Tabla 3. Algas totales recolectadas y especies activas en los dos ambientes principales.

| Tipo de ambiente | Número de algas recolectadas por División | | | |
|--------------------|---|------------|------------|---------|
| | Chlorophyta | Phaeophyta | Rhodophyta | Totales |
| Arrecifal | 6 | 4 | 12 | 22* |
| Rocoso Intermareal | 6 | 11 | 22 | 39* |
| | Número de especies activas | | | |
| Arrecifal | 5 | 3 | 8 | 16 |
| Rocoso Intermareal | 4 | 3 | 9 | 16 |

* 4 especies fueron colectadas en los dos ambientes por lo que el número total se incrementa.

bacteriano de cepas Gram positivas y negativas. Almodovar en 1964 reportó una variación estacional en el poder bactericida de la especie, durante un año de muestreo, esta variación o desaparición de la actividad antibacteriana ha sido observada también para *Centroceras clavulatum*, *E. intestinalis* y *Colpomenia sinuosa* (Jing-Wen y Wei-Ci, 1984 y Pesando y Caram, 1984). Los resultados reportados por estos autores son coincidentes a los obtenidos en esta investigación.

Los factores que pueden influir de manera importante en la ausencia, presencia e intensidad de la actividad de los metabolitos responsables del poder bactericida de las algas, han sido estudiados por diversos autores (Vidyavathi y Sridhar, 1991; Padmakumar y Ayyakkannu, 1997), entre los más importantes están: la variación estacional (Pratt *et al.*, 1951; Hornsey y Hide, 1976 a y b; Caccamese y Azolina, 1979; Coumbat *et al.*, 1981; Pesando y Caram, 1984; Rao *et al.*, 1986; Ballantine *et al.*, 1987), la variación geográfica (Almodovar, 1964; Moreau *et al.*, 1984; y Vidyavathi y Sridhar, 1991) e incluso el estado reproductivo del alga (Moreau *et al.*, 1984).

Fue comprobada la sensibilidad de *Staphylococcus aureus* a los metabolitos de origen algal, fenómeno ya observado por numerosos autores (Naqvi *et al.*, 1980; Padma *et al.*, 1984; Ballantine *et al.*, 1987).

Asimismo y en correspondencia con resultados previos (Hodgson, 1984; De Lara-Isassi y Alvarez-Hernández, 1994; De Lara-Isassi *et al.*, 1996), se constató la carencia de actividad de los mismos sobre *Shygella sonnei*, cepa Gram negativa ampliamente utilizada en modelos experimentales para constatar presencia de antibiosis.

Corroborando nuestros resultados con relación a la acción de los extractos sobre las bacterias utilizadas, lo observado por Caccamese y Azzolina (1979); Rao y Parekh (1981); Pesando y Caram (1984) y Reichelt y Borowitzka (1984) referente a que la acción de los extractos crudos es mayor contra las bacterias Gram (+), ellos también observaron que cuando se trabaja con las fracciones de los mismos, éstos son activos contra cepas Gram (+) y Gram (-), argumentándose que esto es debido al enmascaramiento de los principios activos debido a los factores inhibitorios presentes en los extractos crudos (Rao y Parekh, 1981).

También se corroboró que el grado de polaridad del solvente influye de modo significativo en la actividad del extracto, presentando mayor actividad los extractos obtenidos con el solvente menos polar, a semejanza de lo referido por diversos autores (Rao y Parekh, 1981; Rossel y Srivastasa, 1987; Vidyavathi y Sridhar, 1991) y comprobado

en estudios anteriores (De Lara-Isassi *et al.*, 1993, 1996 y De Lara-Isassi y Alvarez Hernández, 1994) por lo que los extractos acetónicos presentaron mayor actividad que los extractos etanólicos o acuosos, lo que nos lleva una vez más a recomendar este solvente para la obtención de extractos crudos.

Debido a la actividad presentada por *Laurencia variegata*, consideramos que esta especie, debe ser estudiada más exhaustivamente, realizando la extracción, purificación y elucidación de los compuestos activos. Esto se facilitaría debido a la elevada biomasa que puede alcanzar esta especie en determinados lugares de la biocenosis arrecifal.

La actividad antibiótica mostrada por *Dasycladus vermicularis* fue notable y solamente superada por la acción de *Liagora farinosa*. Este hecho no puede soslayarse dándole a estas especies al igual que a *Lobophora variegata* gran importancia como fuente potencial de metabolitos antibacterianos.

En este trabajo se reporta por primera vez la actividad antibacteriana de: *Cladophora sericea* (Chlorophyta), *Padina boergesenii* (Phaeophyta), *Gracilaria cornea*, *G. venezuelensis*, *Laurencia intricata*, *Prionitis pterocladina* y *Pterocladia pinnata* (Rhodophyta).

LITERATURA CITADA

- ALLEN, M. B. y E. Y. DAWSON, 1960. Production of antibacterial substances by benthic tropical marine algae. *Journal of Bacteriology* 79: 454-460.
- ALMODOVAR, L. R., 1964. Ecological aspects of some antibiotic algae in Puerto Rico. *Botanica Marina* 6 (1/2): 143-146.
- BALLANTINE, D., W. H. GERWICK, S. M. VELEZ, E. ALEXANDER y P. GUEVARA, 1987. Antibiotic activity of lipid-soluble extracts from Caribbean marine algae. *Hydrobiologia* 150/152: 463-469.
- BALLESTEROS, E., D. MARTIN y M. J. URIZ, 1992. Biological activity of extracts from some Mediterranean macrophytes. *Botanica Marina* 35: 481-485.
- BIARD, J. F., J. F. VERBIST, J. LE BOTERFF, G. RAGAS y M. M. LECOCQ, 1980. Algues fixées de la cote Atlantique Francaise contenant des substances antibactériennes et antifongiques. *Planta Medica Supplement* 1980: 136-151.
- BURKHOLDER, P. R., L. M. BURKHOLDER y L. R. ALMODOVAR, 1960. Antibiotic activity of some marine algae of Puerto Rico. *Botanica Marina* 2: 149-156.
- CACCAMESE, S. y R. AZOLINA, 1979. Screening for antimicrobial activities in marine algae from eastern Sicily. *Planta Medica* 37: 333-339.

- CACCAMESE, S., R. AZOLINA, G. FURNARI, M. CORMACI y S. GRASSO, 1980. Antimicrobial and antiviral activities of extracts from Mediterranean algae. *Botanica Marina* 23: 285-288.
- CACCAMESE, S., M. TOSCANO, G. FURNARI y M. CORMACI, 1985. Antimicrobial activities of red and brown algae from southern Italy coast. *Botanica Marina* 28: 505-507.
- COMBAUT, G., L. CODOMIER y J. TESTE, 1981. Seasonal chemical evolution of the alga *Cystoseria elegans*. *Phytochemistry* 20: 2036-2037.
- DE LARA-ISASSI, G., 1991. Propiedades antibióticas de algunas especies de algas marinas bentónicas. *Hidrobiológica* 1: 21-28.
- DE LARA ISASSI, G., A. SOBRINO-FIGUEROA, C. LOZANO-RAMIREZ, M. E. PONCE-MARQUEZ y K. DRECKMANN-ESTAY, 1989. Evaluación de la actividad antibiótica de las macroalgas de las costas de Michoacán, México. *Boletín del Instituto de Oceanografía de Venezuela, Universidad de Oriente* 28: 99-104.
- DE LARA-ISASSI, G., M. E. PONCE, N. HERNÁNDEZ y A. AGUILAR, 1993. Actividad antibiótica de las algas marinas de las costas de Nayarit, Jalisco y Colima, México. *Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile, Serie Ocasional* 2: 43-46.
- DE LARA-ISASSI, G., S. ALVAREZ-HERNANDEZ y C. LOZANO-RAMIREZ, 1996. Actividad antibacteriana de algas marinas de Oaxaca, Pacífico Tropical Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 44(2): 895-898.
- DE LARA-ISASSI, G. y M. E. PONCE-MARQUEZ, 1991. Detección de la actividad antibacteriana de algunas algas de Playa Paraíso, Veracruz, México. *BIOTAM* 3: 20-26.
- DE LARA ISASSI, G. y S. ALVAREZ-HERNÁNDEZ, 1994. Actividad biológica de las macroalgas marinas mexicanas. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 45: 51-60.
- FENICAL, W., 1978. Diterpenoids, pp. 174-245. En: P. J. SCHEUER (Comps). *Marine Natural Products-Chemical and Biological Perspectives* 2. Academic Press, Nueva York.
- GLOMBITZA, K. W. y K. KLAPPERICH, 1985. Antibiotics from algae. *Botanica Marina* 28: 139-144.
- HENRIQUEZ, A. P., R. CANDIA, M. SILVA y R. ZEMELMAN, 1979. Antibiotic properties of marine algae II. Screening of Chilean marine algae for antimicrobial activity. *Botanica Marina* 22: 451-453.
- HODGSON, L. M., 1984. Antimicrobial and antineoplastic activity in some South Florida Seaweeds. *Botanica Marina* 28: 387-390.
- HORNSEY, I. S. y D. HIDE, 1976a. The production of antimicrobial compounds by British marine algae. I. Antibiotic-producing marine algae. *British Phycology Journal* 11: 63-67.
- HORNSEY, I. S. y D. HIDE, 1976b. The production of antimicrobial compounds by British marine algae. III. Distribution of antimicrobial activity within the algal thallus. *British Phycology Journal* 11: 175-181.
- JING-WEN, M. y T. WEI-CI, 1984. Screening for antimicrobial activities in marine algae from Qingdao coast, China. *Hydrobiologia* 116/117: 517-520.
- MARTINEZ NADAL, N. G., 1961. Antibiotic properties of *Sargassum natans* from Puerto Rico. *Journal of the American Pharmaceutical Association of Scientific Editions* 50: 356.
- MOREAU, J., D. PESANDO y B. CARAM, 1984. Antifungal and antibacterial screening of Dictyotales from the French Mediterranean coast. *Hydrobiologia* 116/117: 521-524.
- NAQVI, S. W. A., S. Y. SOLIMABI-KAMAT, L. FERNANDEZ, C. V. G. REDDY, D. S. BHAKUNI y B. N. DHAVAN, 1980. Screening of some marine plants from the Indian coast for biological activity. *Botanica Marina* 24: 51-55.
- PADMA, S. V., V. LAKSHIMI, H. POLASA, V. SANTHOSH, C. H. PRASAD RAO y G. SRIMANNARAYANA, 1984. Biological activity of some marine algal extracts. *Indian Journal of Marine Sciences* 13: 90-91.
- PADMAKUMAR, K. y K. AYYAKANNU, 1997. Seasonal variation of antibacterial and antifungal activities of the extracts of marine algae from southern coast of India. *Botanica Marina* 40: 507-515.
- PAUL, V. J., 1992. *Ecological roles of marine natural products*. Comstock, Ithaca, New York, USA.
- PESANDO, D., 1990. Antibacterial and antifungal activities of marine algae. pp. 3-26. En: I. Akatsuka (Comp.). *Introduction to Applied Phycology*. SPB Acad. Pub., The Hague, Netherlands.
- PESANDO, D. y B. CARAM, 1984. Screening of marine algae from the French mediterranean coast for antibacterial and antifungal activity. *Botanica Marina* 27: 381-386.
- PRATT, R., H. MAUTNER, G. M. GARDNER, Y. SHA y J. DUFRENOY, 1951. Report on antibiotic activity of seaweeds extracts. *Journal of the American Pharmacology Association* 40: 575-579.
- RAO, P. P. S. y K. S. PAREKH, 1981. Antibacterial activity of Indian seaweed extracts. *Botanica Marina* 24: 577-582.
- RAO, P. P. S., P. SREENIVASA-RAO y S. M. KARMARKAR, 1988. Antibacterial activity from Indian species of *Sargassum*. *Botanica Marina* 31: 295-298.
- RAO, P. P. S., P. S. RAO y S. S. KARMARKAR, 1986. Antibacterial substances from brown algae. III. Efficiency of solvents in the evaluation of antibacterial substances from *Sargassum johnstoni* Setchell et Gardner. *Botanica Marina* 29: 503-507.
- REICHEL, J. L. y M. A. BOROWITZKA, 1984. Antimicrobial activity from marine algae: results of a large scale screening program. *Hydrobiologia* 116/117: 29-40.

- ROBLES, P. O., D. BALLANTINE y W. H. GERWICK, 1996. Dynamics of antibacterial activity in three species of Caribbean marine algae as a function of habitat and life history. *Hydrobiologia* 326/327: 457-462.
- ROSSEL, K. y L. M. SRIVASTAVA, 1987. Fatty acids as antimicrobial substances in brown algae. *Hydrobiologia*. 151/152: 471-475.
- SASTRY, V. M. V. y G. R. K. RAO, 1994. Antibacterial substances from marine algae: successive extraction using benzene, chloroform and methanol. *Botanica Marina* 37: 357-360.
- SCHMITT, T. M., M. E. HAY y N. LINDQUIST, 1995. Constraints on chemically mediated coevolution: multiple functions for seaweed secondary metabolites. *Ecology* 76(1): 107-123.
- VIDYAVATHI, N. y K. R. SRIDHAR, 1991. Seasonal and geographical variations in the antimicrobial activity of seaweeds from the Mangalore coast of India. *Botanica Marina* 34: 279-284.

Recibido: 30 de octubre de 1998.

Aceptado: 15 de abril de 1999.