

EFFECTS OF SALINITY ON THE GROWTH RATE, MORPHOLOGY AND WATER CONTENT OF SOME BRAZILIAN RED ALGAE OF ECONOMIC IMPORTANCE

EFEITOS DE LA SALINIDAD EN LA TASA DE CRECIMIENTO, MORFOLOGIA Y CONTENIDO DE AGUA DE ALGUNAS ROJAS BRASILEÑAS DE IMPORTANCIA ECONOMICA

Nair S. Yokoya¹
Eurico C. de Oliveira²

¹ Instituto de Botânica
Secretaria de Meio Ambiente
C. Postal 4005, 01051, São Paulo, Brasil

² Instituto de Biociências e Centro de Biologia Marinha
Universidade de São Paulo
C. Postal 11.461, 01000, São Paulo, Brasil

Recibido en mayo de 1991; aceptado en octubre de 1991

ABSTRACT

The growth rate, morphology and water content of six species of Brazilian red algae of economic importance were studied under various salinities. The study comprises three agarophytic (*Gracilaria* aff. *verrucosa*, *Gracilaria* sp. and *Pterocladia capillacea*), and three carrageenophytic algae (*Meristiella echinocarpa*, *Hypnea cornuta* and *H. musciformis*), subjected to salinities from 5 to 60‰. All species tolerated, for the period and conditions described, a much broader range of salinities than they usually face in their habitats. All species were more tolerant to salinities above 30‰ than below this value, with maximum growth occurring between 25-40‰. Water content at the end of the experiments varied with the species, with an inverse relation in salinities above 40‰. Highest salinity values reduced branching, and lowest salinities lead to thalli bleaching. The results offer guidelines for the selection of potential areas with more adequate salinity regimes for the cultivation of the species studied.

RESUMEN

Se realizaron experimentos a diferentes salinidades para estudiar la tasa de crecimiento, morfología y contenido de agua en algas rojas brasileñas de importancia económica. El estudio comprende tres algas agarofíticas (*Gracilaria* aff. *verrucosa*, *Gracilaria* sp. y *Pterocladia capillacea*), y tres algas carragenofíticas (*Meristiella echinocarpa*, *Hypnea cornuta* y *H. musciformis*), las cuales fueron sometidas a salinidades desde 5 hasta 60‰. Todas las especies toleraron un intervalo mucho más amplio de salinidades para el período y condiciones descritas, al que generalmente tienen en sus respectivos habitats. Las especies resultaron ser más tolerantes a salinidades por encima de 30‰ que por debajo de este valor, presentando un crecimiento máximo entre 25-40‰. El contenido de agua en las especies varió al final de los experimentos, con una relación inversa en salinidades por encima de 40‰. Los valores más altos de salinidad redujeron la bifurcación de éstas, y los valores de salinidad más bajos produjeron decoloración del talo. Los resultados de este estudio permiten elegir zonas de potencial para el cultivo de las especies estudiadas bajo regímenes de salinidad adecuados.

INTRODUCTION

Affecting osmoregulation and ion concentration, salinity interferes with biological systems and processes in many ways. It is considered an important environmental factor controlling various aspects of the biology and ecology of benthic marine algae.

Although most species of "marine algae" have broad toleration to salinity (e.g. Biebl, 1937; Gessner and Schramm, 1971), this parameter certainly has a key role in the distribution of algae along gradients such as in estuaries, mangals and coastal lagoons (e.g. Conover, 1964; Oliveira, 1984; King and Wheeler, 1985).

The effects of salinity on the benthic algae distribution have been documented by several authors (e.g. Sundene, 1953; Druehl, 1967; Munda, 1978; Khfaji and Norton, 1979), as well as its effect on growth (e.g. Nygren, 1970; Ogata and Schramm, 1971; Bird *et al.*, 1979; Bird and McLachlan, 1986) and morphology (Burns and Mathieson, 1972; Mathieson and Burns, 1975; Reed and Russel, 1978; Zablackis, 1987). Most of these studies, however, deal with cold water species rather than with tropical ones.

Considering the large interest on commercial red algae in Brazil, we are studying the biology of several species to provide basic knowledge for the selection of places and species suitable for cultivation. In this paper we report on some effects of salinity on six species of red algae from Brazil.

MATERIALS AND METHODS

We selected three species of agaro-phytic and three carrageenophytic algae from different places in Brazil, isolated in unialgal cultures from spores or apical segments (Table 1). Conditions for incubation of stock cultures were: temperature $23(\pm 3)^{\circ}\text{C}$, $35\text{-}40\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ photon flux density, provided by cool-white fluorescent lamps (Phillips) on a light/dark cycle of 16/8 hours, and salinity of $32(\pm 2)^{\circ}/\text{oo}$. These conditions were chosen after some previous experiments, and they proved to be adequate to keep most of the species growing well *in vitro*. The cultures were kept in half-strength Provasoli's enriched seawater (PES) as specified by McLachlan (1973), and air bubbled every

INTRODUCCION

La salinidad es un factor que interviene en los sistemas y procesos biológicos en diversas formas, afectando la osmoregulación y la concentración de iones. Esta es considerada un factor ambiental muy importante por controlar varios aspectos de la biología y ecología de las algas marinas.

Aun cuando la mayoría de las algas marinas tienen alta tolerancia a la salinidad (e.g. Biebl, 1937; Gessner and Schramm, 1971), este parámetro juega un papel determinante en la distribución de las algas en diversos ambientes tales como estuarios, manglares y lagunas costeras (e.g. Conover, 1964; Oliveira, 1984; King y Wheeler, 1985).

Los efectos de la salinidad en la distribución de las algas bentónicas han sido documentados por varios autores (e.g. Sundene, 1953; Druehl, 1967; Munda, 1978; Khfaji y Norton, 1979), así como los efectos de ésta sobre el crecimiento (e.g. Nygren, 1970; Ogata y Schramm, 1971; Bird *et al.*, 1979; Bird y McLachlan, 1986) y la morfología (Burns y Mathieson, 1972; Mathieson y Burns, 1975; Reed y Russel, 1978; Zablackis, 1987). Sin embargo, la mayoría de estos estudios están relacionados más bien con especies de aguas frías que con especies tropicales.

Debido a que existe un gran interés comercial por las algas rojas en Brasil, este estudio provee un conocimiento básico sobre la biología de varias especies, con el fin de poder elegir sitios que sean aptos para el cultivo de éstas. En este estudio se reportan algunos efectos de la salinidad en seis especies de algas rojas de Brasil.

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron tres especies de algas agarofíticas y tres de algas carragenofíticas provenientes de diferentes sitios en Brasil. De cada una de éstas, fueron aislados esporas o segmentos apicales para cultivo (Tabla 1). Las condiciones para incubación de estos cultivos fueron bajo temperatura de $23(\pm 3)^{\circ}\text{C}$, con una densidad de flujo de fotones de $35\text{-}40\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ el cual fue provisto por lámparas fluorescentes (Phillips) en un ciclo de luz/obscuridad de 16/8 horas, y bajo una salinidad de $32(\pm 2)^{\circ}/\text{oo}$. Estas condiciones se eligieron con base en experimentos previos, y

Table 1. Location and collecting dates of the studied species.
Tabla 1. Lugar y fecha de colecta de las especies estudiadas.

Species	Locality	Date	Cultures initiated from
<i>Gracilaria</i> aff. <i>verrucosa</i> (Huds.) Papenf.	Ubatuba, SP	Aug. 86	Spores
<i>Gracilaria</i> sp.	Lagoa de Araruama, RJ	Nov. 87	Spores
<i>Hypnea comuta</i> (Lam.) J. Ag.	Lagoa de Araruama, RJ	Oct. 85	Apical segments
<i>Hypnea musciformis</i> (Wulf.) Lam.	Recife, PE	Mar. 86	Apical segments
<i>Meristiella echinocarpa</i> (Aresch.) Cheney	Lucena, PB	Nov. 84	Spores
<i>Pterocladia capillacea</i> (Gmelin) Born. et Thur.	Ubatuba, SP	Dec. 85	Apical segments

three hours, for three hours. Germanium dioxide (1 mg.l^{-1}) was used to suppress diatom growth when necessary.

The salinities tested ranged from 5 to 60‰ (up to 80‰ for *Gracilaria* sp.) with intervals of 5‰. Seawater $32(\pm 2)$ ‰, was filtered ($0.45 \mu\text{m}$), sterilized and concentrated by freezing. Gradual melting and mixtures provided all the desired salinities. The final salinity was checked with a calibrated refractometer (American Optical).

Equal size apical segments were cut from vegetative tetrasporophytes from the stock cultures. Initial inoculum for each replicate with four 10 mm length apical segments were inoculated into 250 ml conical flasks containing 200 ml of full-strength PES, and kept at the described conditions. Three replicates were observed for each treatment.

Media renewal, weighing, and general observations were made weekly. Before weighing, segments were blotted with bibulous paper to remove excess water. Growth was determined by fresh weight variations. Growth rate (k) was calculated as:

$$k = \frac{\log_2 (W_f \cdot W_o^{-1})}{t}$$

se comprobó que son las adecuadas para que la mayoría de las especies crezcan bien *in vitro*. Los cultivos se mantuvieron en agua de mar enriquecida de fuerza media de Provasoli (PES), según lo especificado por McLachlan (1973), y fueron bombeados por aire cada tres horas, por un periodo de tres horas. Se utilizó dióxido de germanio (1 mg.l^{-1}) para evitar el crecimiento de diatomeas.

Se probaron diferentes salinidades en un intervalo de 5 a 60‰ (hasta 80‰ para *Gracilaria* sp.) con intervalos de 5‰. El procedimiento para el agua de mar con salinidad de $32(\pm 2)$ ‰, fue filtración ($0.45 \mu\text{m}$), esterilización y concentración por congelación. Se llevó a cabo un mezclado gradual para poder proveer todas las salinidades deseadas, y la salinidad final fue checada con un refractómetro calibrado (American Optical).

Los segmentos de éstas fueron cortados al mismo tamaño, provenientes de tetrasporofitas vegetativas de las reservas en cultivo. Se inocularon en matraces cónicos (conteniendo 200 ml de PES de fuerza total) para cada réplica cuatro segmentos apicales de 10 mm de longitud, y se guardaron bajo las condiciones descritas. Para cada uno de los tratamientos se observaron tres réplicas.

where: W_0 = initial fresh weight; W_f = final fresh weight; t = time in days.

For dry weight determinations the algae were placed in an oven at 60°C for 48 hours, and cooled in a desiccator for two hours before weighing.

Analysis of variance with repeated measures was conducted on the data of growth rate (k) and percentage of water content.

RESULTS

Most species tolerated a broad range of salinities, being less sensitive to the higher salinities than to the lower ones, if we consider 35‰ as normal value. Maximum growth, for all species, occurred in salinities between 25 and 40‰ (Figs. 1 to 7; Tables 2 and 3).

Pterocladia capillacea was the most tolerant species, although we did not test it in salinities above 50‰ (Figs. 6 and 7), while *Hypnea musciformis* was the most sensitive one (Figs. 4 and 7). With the exception of *H. musciformis*, that died in salinities above 55‰, the higher salinities tested were not lethal to the other species, despite a significant reduction of the growth rate (Fig. 7; Table 2). On the other hand, most species were very sensitive to lower salinities (below 15‰), bleaching and dying within a few days. The lethal salinities varied with the species. *Hypnea comuta* and *H. musciformis* did not withstand salinities below 20‰ (Figs. 3 and 4). Salinities below 15‰ were lethal to *Meristiella echinocarpa* (Fig. 5). *Gracilaria* aff. *verrucosa* and *Gracilaria* sp. tolerated salinities down to 10‰ (Figs. 1 and 2), but showed bleaching and necrotic zones at the end of the experiments (Figs. 8 and 9). Those two species behaved similarly, tolerating salinities from 10 to 60‰. However, *Gracilaria* sp. showed a higher growth rate (k) in the higher salinities, i.e. above 35‰, while *G. aff. verrucosa* had higher k below that value (Table 2).

A comparison of the growth rates of all the species shows that *Pterocladia capillacea* has the lowest k . On the other hand, *Hypnea comuta* showed the highest k (0.389), equal to a doubling time of 2.6 days, although very variable (Fig. 7).

Semanalmente, se llevaron a cabo observaciones generales, se pesaron y hubo renovación del medio. Antes de pesar los ejemplares, éstos fueron secados con papel absorbente para remover el exceso de agua. El crecimiento que se dio en éstos fue determinado por las variaciones que se dieron en el peso fresco. La tasa de crecimiento (k) se calculó de la siguiente forma:

$$k = \frac{\log_2(W_f \cdot W_0^{-1})}{t}$$

donde: W_0 = peso fresco inicial; W_f = peso fresco final; t = tiempo en días.

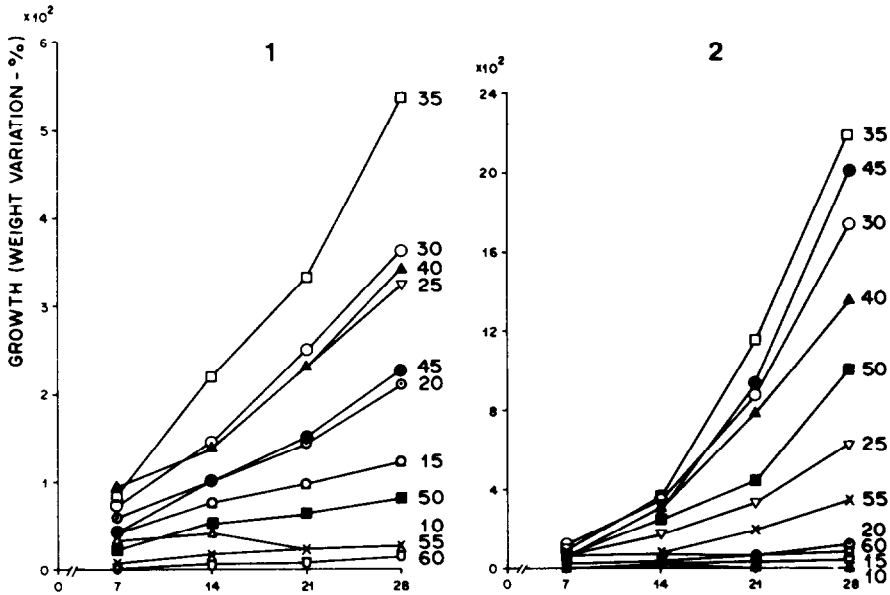
Para la determinación del peso seco de las algas, éstas fueron colocadas en un horno a 60°C durante 48 horas, y fueron enfriadas en un desecador por dos horas antes de ser pesadas.

Se hicieron varias mediciones sobre lo anterior para poder llevar a cabo el análisis de varianza de los datos de la tasa de crecimiento (k) y el porcentaje de contenido de agua.

RESULTADOS

La mayoría de las especies toleraron un amplio intervalo de salinidades, siendo menos sensibles a las altas salinidades que a las más bajas, considerando 35‰ como el valor normal. El máximo crecimiento, para todas las especies bajo estudio, ocurrió bajo salinidades entre 25 y 40‰ (Figs. 1 a 7; Tablas 2 y 3).

La más resistente de las especies resultó ser *Pterocladia capillacea*, aun cuando ésta no fue sometida a salinidades por encima de 50‰ (Figs. 6 y 7), mientras que *Hypnea musciformis* fue la más sensible de todas (Figs. 4 y 7). Con excepción de *H. musciformis*, que murió en salinidades superiores a 55‰, las salinidades mayores no fueron letales para las otras especies, a pesar de que existió una reducción significativa en la tasa de crecimiento (Fig. 7; Tabla 2). Por otro lado, la mayoría de las especies fueron muy sensibles a salinidades bajas (menos de 15‰), decolorándose y muriendo unos cuantos días después. Las salinidades letales variaron para cada especie. *Hypnea comuta* y *H. musciformis* no toleraron salinidades por debajo de 20‰ (Figs. 3 y 4). Para *Meristiella echinocarpa*, la salinidad letal



Figures 1-2. Growth curves based on weight variation ($\% = (W_f - W_o) \cdot W_o^{-1} \cdot 100$) of plants incubated in different salinities. W_f = final fresh weight, W_o = initial fresh weight. (1) *Gracilaria* aff. *verucosa*, (2) *Gracilaria* sp.

Figuras 1-2. Curvas de crecimiento basadas en la variación del peso ($\% = (W_f - W_o) \cdot W_o^{-1} \cdot 100$) de plantas incubadas en diferentes salinidades. W_f = peso fresco final, W_o = peso fresco inicial. (1) *Gracilaria* aff. *verucosa*, (2) *Gracilaria* sp.

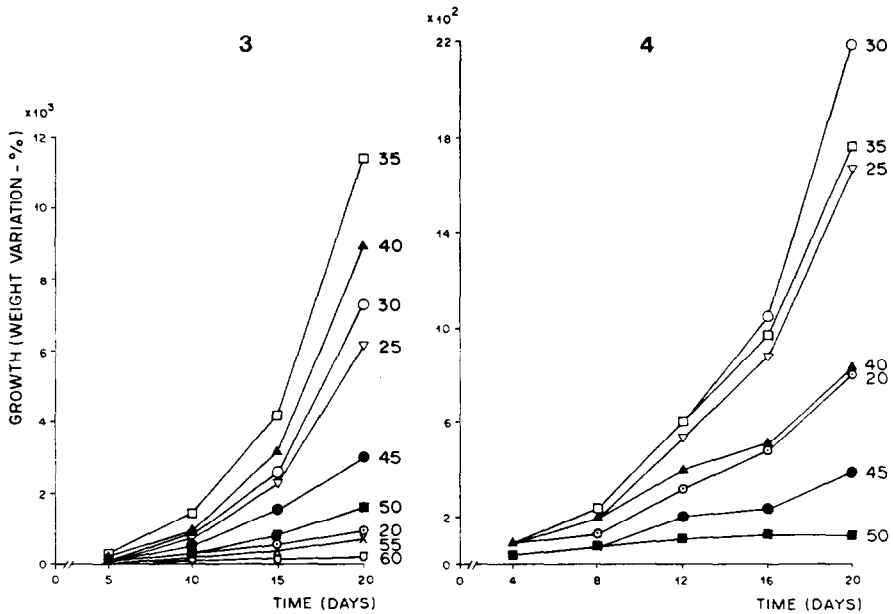
The percentage of water content in the thalli, incubated in different salinities, is shown for four of the species studied (Table 3). The water content in the salinity of 35‰ varied from 85.7 to 90.0% of the fresh weight. The relative proportion of water decreases significantly in salinities higher than 40‰, and increases in salinities between 20 to 40‰. However, significant differences in water content were not observed on plants incubated in 30‰ to *G. aff. verucosa*, 30-40‰ to *Gracilaria* sp. and *M. echinocarpa*, and 30-50‰ to *H. comuta*, when compared with the value obtained at 35‰ (Table 3).

Salinity not only affected growth rate and water content, but also plant morphology, as shown in Figures 8 and 9. Higher salinities reduced branch length but pigmentation was not affected, while lower salinities did not affect branching, except in the extreme values, and caused bleaching.

se dio por debajo de 15‰ (Fig. 5), y *Gracilaria* aff. *verucosa* y *Gracilaria* sp. toleraron salinidades hasta de 10‰ (Figs. 1 y 2), pero al final del experimento éstas mostraron decoloración y presencia de zonas necróticas (Figs. 8 y 9). Estas dos especies tuvieron un comportamiento muy similar, tolerando salinidades entre 10 y 60‰. Sin embargo, *Gracilaria* sp. mostró una tasa de crecimiento (k) más alta bajo salinidades mayores, i.e. por encima de 35‰, mientras que *G. aff. verucosa* tuvo una k más alta por debajo de ese valor (Tabla 2).

Pterocladia capillacea mostró ser la especie con más bajo valor de k , e *Hypnea comuta* mostró tener los más altos valores (0.389), lo que equivale a un período de duplicación de 2.6 días, aunque éste puede ser variable (Fig. 7).

La Tabla 3 muestra el porcentaje de contenido de agua en el talo, incubado bajo diferentes salinidades, para cuatro de las



Figures 3-4. Growth curves based on weight variation ($\% = (W_f - W_o) \cdot W_o^{-1} \cdot 100$) of plants incubated in different salinities. W_f = final fresh weight, W_o = initial fresh weight. (3) *Hypnea comuta*, (4) *Hypnea musciformis*.

Figuras 3-4. Curvas de crecimiento basadas en la variación del peso ($\% = (W_f - W_o) \cdot W_o^{-1} \cdot 100$) de plantas incubadas en diferentes salinidades. W_f = peso fresco final, W_o = peso fresco inicial. (3) *Hypnea comuta*, (4) *Hypnea musciformis*.

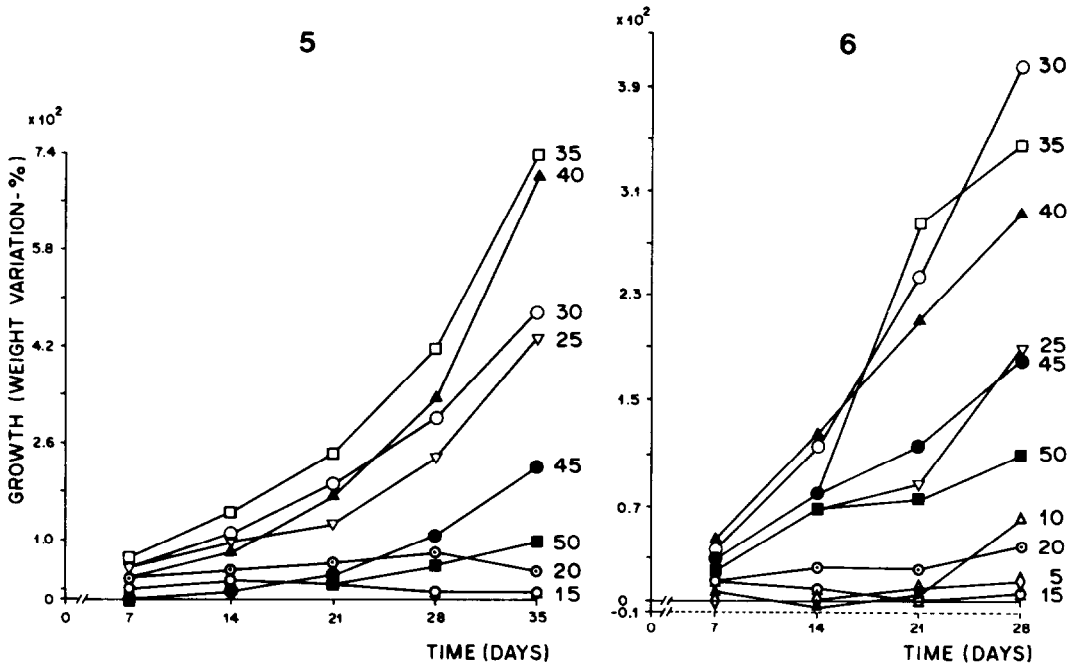
DISCUSSION

The species studied presented a broad tolerance to salinity variations under laboratory conditions. Nevertheless, salinity variation interferes significantly with the growth rates as shown in Table 3. These results certainly reflect their natural distribution. All the species studied, with the exception of *Meristiella echinocarpa*, can be found in the intertidal zone, therefore, subject to variable periods of emersion and consequently to broader variation of environmental factors. Similar conclusions were already reached by others, since Biebl (1937).

The euryhalinity of *Gracilaria* species was well documented by Causey *et al.* (1946), Stokke (1957), Simonetti *et al.* (1970), Muñoz *et al.* (1984) and Bird and McLachlan (1986). Causey *et al.* (1946) determined maximum growth of *G. verrucosa* in salinities from 25 to 35‰ and Bird and McLachlan (1986) ob-

especies estudiadas. El contenido de agua en salinidades de 35‰ varió desde 85.7 a 90.0% del peso fresco. La proporción relativa de agua decreció significativamente en salinidades superiores a 40‰, y se incrementó en salinidades entre 20 y 40‰. Sin embargo, no se pudieron observar diferencias significativas en cuanto al contenido de agua en los ejemplares incubados a 30‰ para *G. aff. verrucosa*, 30-40‰ para *Gracilaria* sp. y *M. echinocarpa*, y 30-50‰ para *H. comuta*, cuando éstos fueron comparados con el valor obtenido a 35‰ (Tabla 3).

La salinidad no solo afectó la tasa de crecimiento y el contenido de agua de los ejemplares, sino también la morfología de éstos, como se puede observar en las Figuras 8 y 9. La longitud de las hojas se vio afectada por altas salinidades pero no fue afectada la pigmentación, mientras que las salinidades bajas no afectaron la bifurcación, excepto en los valores extremos, pero si causaron decoloración.



Figures 5-6. Growth curves based on weight variation ($\% = (W_f - W_o) \cdot W_o^{-1} \cdot 100$) of plants incubated in different salinities. W_f = final fresh weight, W_o = initial fresh weight. (5) *Meristiella echinocarpa*, (6) *Pterocladia capillacea*.

Figuras 5-6. Curvas de crecimiento basadas en la variación del peso ($\% = (W_f - W_o) \cdot W_o^{-1} \cdot 100$) de plantas incubadas en diferentes salinidades. W_f = peso fresco final, W_o = peso fresco inicial. (5) *Meristiella echinocarpa*, (6) *Pterocladia capillacea*.

served that 15 to 38‰ was the usual maximum growth range for several species of *Gracilaria*. These results agree with ours for *G. aff. verucosa*, presenting maximum growth in salinities from 25 to 40‰. *Gracilaria* sp. showed relatively higher growth rates in salinities above 35‰, while in *G. aff. verucosa* growth rates were higher in salinities below 35‰. The behaviour of both species suggests that they are adapted to the salinity regimes of their habitats, for *G. aff. verucosa* was collected from a place with salinities ranging from 30 to 33‰, and *Gracilaria* sp. in a lagoon with average salinity of 46‰. Salinities in the Araruama lagoon (RJ) can reach 80‰. However, *Gracilaria* sp. died in salinities above 70‰ after one week under our experimental conditions (not shown in our figures). Probably, under natural conditions, exposure to higher salinities occurs only for short periods of time and is not

DISCUSION

Las especies que fueron estudiadas mostraron tener una amplia tolerancia a variaciones de salinidad bajo condiciones de laboratorio; sin embargo, como puede apreciarse en la Tabla 3, la salinidad interviene significativamente en las tasas de crecimiento de las algas. Los resultados reflejan la distribución natural de las algas. Todas las especies estudiadas, con excepción de *Meristiella echinocarpa*, pueden ser encontradas en la zona intermareal, por lo tanto éstas están sujetas a periodos variables de emersión y consecuentemente a una variación más amplia de los factores ambientales. Otros autores ya habían llegado a conclusiones similares, desde Biebl (1937).

La eurihalinidad de las especies de *Gracilaria* ha sido bien documentada por Causey *et al.* (1946), Stokke (1957), Simonetti

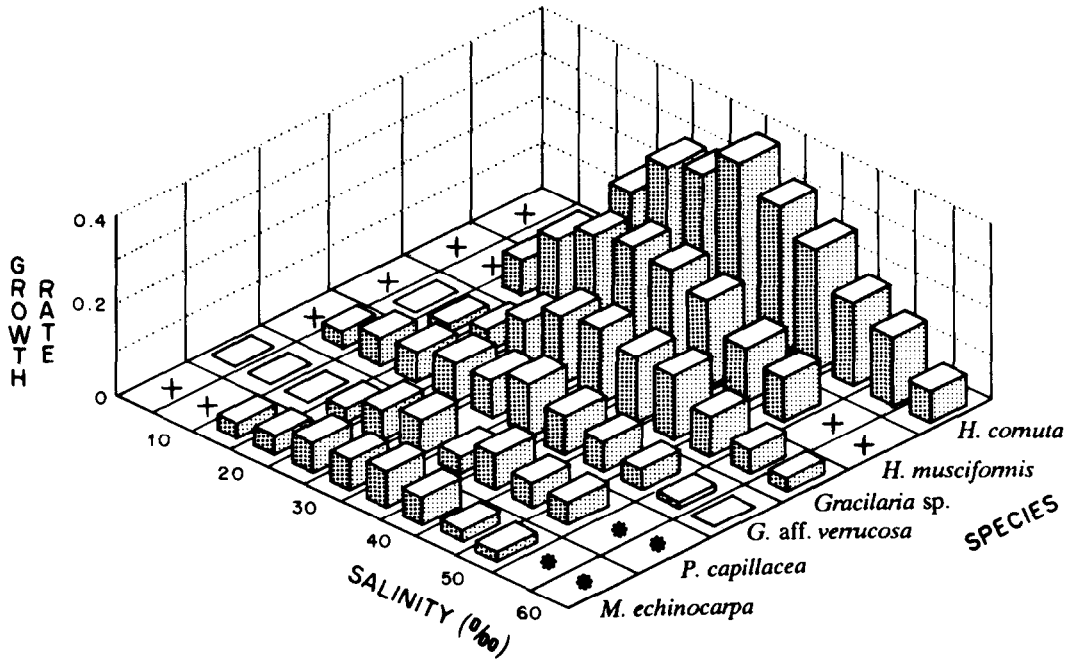


Figure 7. Growth rate ($k = \log_2 (W_f.W_o^{-1}).t^{-1}$), where W_f = final fresh weight, W_o = initial fresh weight, t = time in days, of the species incubated in different salinities; * not tested, + dead plants.

Figura 7. Tasa de crecimiento ($k = \log_2 (W_f.W_o^{-1}).t^{-1}$), donde W_f = peso fresco final, W_o = peso fresco inicial, t = tiempo en días, de las especies incubadas en diferentes salinidades; * no probado, + plantas muertas.

enough to eliminate the complete populations. Besides, the natural conditions are not the same as in our experiments. The highest values of growth rate of *G. aff. verrucosa* and *Gracilaria* sp. (0.120 and 0.162 respectively) are similar to the ones found for *G. verrucosa* by Rueness and Tananger (1984) and Ren *et al.* (1984). However, Saunders and Lindsay (1979) and Bird (1984) found values lower than ours.

Hypnea species are considered euryhaline. However, in our experiments, *Hypnea* spp. were the least tolerant to salinity variations. *H. musciformis* and *H. cornuta* tolerated salinity variations from 20 to 50‰ and from 20 to 60‰, respectively. Dawes *et al.* (1976), studying plants of *H. musciformis* collected on an exposed shore and a protected estuary in Florida, determined tolerance limits from 15 to 45‰. Estuarine plants showed the highest photosynthetic rates in salinities

et al. (1970), Muñoz *et al.* (1984) y Bird y McLachlan (1986). Causey *et al.* (1946) determinaron el máximo crecimiento de *G. verrucosa* en salinidades de 25 a 35‰, y Bird y McLachlan (1986) observaron que el máximo crecimiento para varias especies de *Gracilaria* se da entre 15 y 38‰. Estos resultados están de acuerdo con lo propuesto en este estudio para *G. aff. verrucosa*, la cual presenta su máximo crecimiento en salinidades de 25 a 40‰. *Gracilaria* sp. mostró tasas de crecimiento relativamente más altas en salinidades mayores a 35‰, mientras que para *G. aff. verrucosa* las tasas de crecimiento fueron más altas en salinidades por debajo de 35‰. El comportamiento de ambas especies sugiere que éstas se adaptan a los regímenes de salinidad de sus habitats, ya que *G. aff. verrucosa* fue colectada en un sitio cuya salinidad varía entre 30 y 33‰, y *Gracilaria* sp. se colectó en una laguna cuya salinidad

Table 2. Exponential growth rate ($k = \log_2 (W_f.W_0^{-1}).t^{-1}$), where W_f = final fresh weight, W_0 = initial fresh weight, t = time in days; mean \pm standard error (n = 3), of the species submitted to different salinities.

Tabla 2. Tasa de crecimiento exponencial ($k = \log_2 (W_f.W_0^{-1}).t^{-1}$), donde W_f = peso fresco final, W_0 = peso fresco inicial, t = tiempo en días; media \pm error estándar (n = 3), de las especies sometidas a diferentes salinidades.

S (‰)	Species					
	<i>G. aff. verrucosa</i>	<i>Gracilaria</i> sp.	<i>H. comuta</i>	<i>H. musciformis</i>	<i>M. echinocarpa</i>	<i>P. capillacea</i>
60	0.006 \pm 0.001 *	0.024 \pm 0.001 *	0.069 \pm 0.090 *	+	-	-
55	0.017 \pm 0.002 *	0.057 \pm 0.007 *	0.150 \pm 0.010 *	+	-	-
50	0.045 \pm 0.004 *	0.096 \pm 0.012 *	0.187 \pm 0.014 *	0.097 \pm 0.013 *	0.019 \pm 0.002 *	0.053 \pm 0.013 *
45	0.072 \pm 0.002 *	0.140 \pm 0.007 ns	0.271 \pm 0.013 *	0.125 \pm 0.013 *	0.027 \pm 0.008 *	0.057 \pm 0.006 *
40	0.093 \pm 0.001 *	0.141 \pm 0.029 ns	0.331 \pm 0.026 *	0.190 \pm 0.008 *	0.061 \pm 0.006 ns	0.085 \pm 0.006 ns
35	0.120 \pm 0.004	0.162 \pm 0.008	0.389 \pm 0.011	0.220 \pm 0.005	0.081 \pm 0.014	0.080 \pm 0.024
30	0.094 \pm 0.003 *	0.154 \pm 0.011 ns	0.323 \pm 0.032 *	0.232 \pm 0.004 ns	0.071 \pm 0.011 ns	0.075 \pm 0.016 ns
25	0.093 \pm 0.004 *	0.106 \pm 0.004 *	0.301 \pm 0.033 *	0.218 \pm 0.002 ns	0.068 \pm 0.007 ns	0.060 \pm 0.005 ns
20	0.072 \pm 0.002 *	0.044 \pm 0.010 *	0.200 \pm 0.013 *	0.170 \pm 0.002 *	0.045 \pm 0.003 *	0.024 \pm 0.004 *
15	0.059 \pm 0.009 *	0.023 \pm 0.009 *	+	+	0.030 \pm 0.013 *	0.009 \pm 0.006 *
10	0.037 \pm 0.006 *	0.009 \pm 0.005 *	+	+	+	-0.004 \pm 0.004 *
05	+	+	+	+	+	-0.004 \pm 0.006 *

- = not tested; + = lethal salinities; * or ns = significant or not significant difference at 5% level between each mean compared with the one obtained on salinity of 35‰, respectively.

Table 3. Percentage of water content ($\% = (FW-DW) \cdot FW^{-1} \times 100\%$), mean \pm standard error ($n = 3$), of plants on different salinities at the end of the experiments (20, 28 and 35 days to *H. comuta*, *Gracilaria* spp. and *M. echinocarpa* respectively). *FW* = fresh weight, *DW* = dry weight.

Tabla 3. Porcentaje del contenido de agua ($\% = (FW-DW) \cdot FW^{-1} \times 100\%$), medio \pm error estándar ($n = 3$), de plantas en diferentes salinidades al final de los experimentos (20, 28 y 35 días para *H. comuta*, *Gracilaria* spp. y *M. echinocarpa* respectivamente). *FW* = peso fresco, *DW* = peso seco.

S (‰)	Species			
	<i>G. aff. verrucosa</i>	<i>Gracilaria</i> sp.	<i>H. comuta</i>	<i>M. echinocarpa</i>
60	72.9 \pm 3.5 *	80.6 \pm 0.4 *	82.5 \pm 6.4 *	-
55	66.7 \pm 0.1 *	84.1 \pm 0.6 *	82.4 \pm 1.4 *	-
50	73.7 \pm 2.7 *	87.2 \pm 0.1 *	86.0 \pm 0.1 ns	82.6 \pm 0.7 *
45	80.0 \pm 1.8 *	87.4 \pm 0.1 *	89.0 \pm 1.4 ns	87.0 \pm 1.2 *
40	81.9 \pm 1.3 *	85.8 \pm 1.3 ns	92.5 \pm 0.7 ns	90.2 \pm 0.2 ns
35	87.1 \pm 0.8	85.7 \pm 0.2	90.0 \pm 0.1	89.6 \pm 0.8
30	83.3 \pm 2.3 ns	84.9 \pm 0.6 ns	92.5 \pm 0.7 ns	89.0 \pm 1.3 ns
25	81.7 \pm 0.5 *	79.9 \pm 1.1 *	91.0 \pm 1.4 *	89.3 \pm 0.4 *
20	80.0 \pm 0.1 *	79.2 \pm 1.2 *	83.0 \pm 1.4 *	87.7 \pm 0.5 *
15	80.5 \pm 0.8 *	79.0 \pm 1.2 *	+	88.0 \pm 0.5 *
10	86.1 \pm 0.8	83.2 \pm 0.1 *	+	+

- = not tested; + = lethal salinities; * or ns = significant or not significant difference at 5% level between each mean compared with the one obtained on salinity of 35‰, respectively.

from 10 to 40‰; on the other hand, for rocky shore plants the optimum salinity was 20‰. The higher growth rates of *H. comuta* occurred in higher salinities, suggesting adaptation to the regimes of the lagoon. Comparing the growth rates of all the species studied, *H. comuta* and *H. musciformis* presented the highest growth rates (0.389 and 0.269 respectively), values higher than the ones observed by Friedlander and Zelikovitch (1984) for the same species.

Meristiella echinocarpa did not grow well in salinities below 25 and above 40‰, which is in accordance with its infralittoral distribution, being a species that is exposed for brief periods only in exceptionally low tides.

The results we obtained for *Pterocladia capillacea* confirm the observations of Santelices (1978), in Hawaii, for the same species. *P. capillacea* presented the lowest growth rates observed among the species studied. The values obtained are higher than the ones found by Santelices (1976, 1978) and Oliveira and Yoneshigue (1986).

promedio es de 46‰. Las salinidades en la laguna Araruama (RJ) pueden llegar a 80‰. Sin embargo, *Gracilaria* sp. murió en salinidades por arriba de 70‰ después de estar sometida a condiciones experimentales por una semana (no se muestra en las figuras). Es probable que bajo condiciones naturales la exposición a salinidades mayores ocurra sólo por períodos cortos de tiempo, los cuales no son lo suficientemente drásticos para eliminar por completo a las poblaciones. Además, las condiciones naturales no son las mismas que en nuestros experimentos. Los valores más altos en la tasa de crecimiento de *G. aff. verrucosa* y *Gracilaria* sp. (0.120 y 0.162 respectivamente) son similares a los encontrados por Rueness y Tananger (1984) y Ren *et al.* (1984) para *G. verrucosa*; sin embargo, Saunders y Lindsay (1979) y Bird (1984) encontraron valores más bajos que los que se presentan en este estudio.

Las especies de *Hypnea* son consideradas eurihalinas. Sin embargo, en nuestros experimentos, éstas fueron menos tolerantes a las variaciones de salinidad. *H. musciformis* y

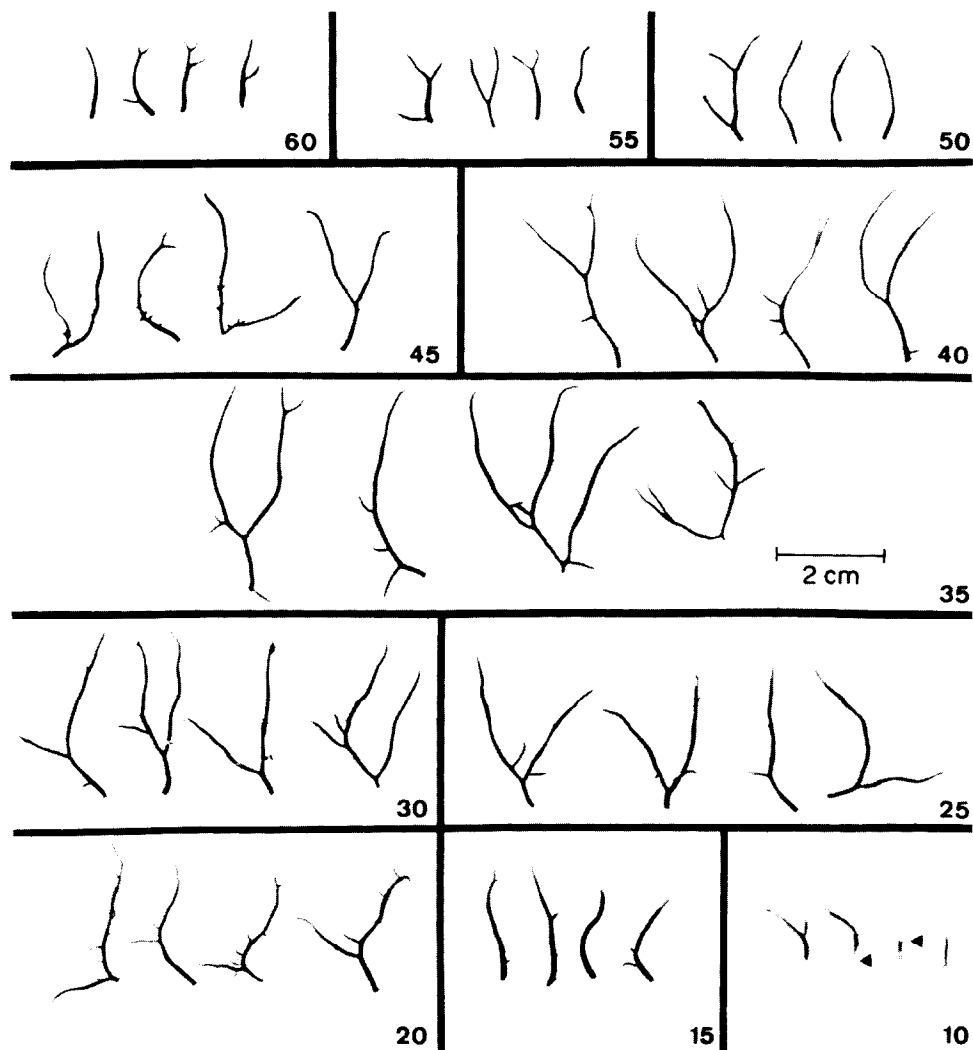


Figure 8. *Gracilaria* aff. *venucosa*. Plants incubated in different salinities after 28 days. Necrotic zones are indicated by arrowheads. The numbers on the right indicate the salinity tested.

Figura 8. *Gracilaria* aff. *venucosa*. Plantas incubadas en diferentes salinidades después de 28 días. Las flechas indican las zonas necróticas. Los números a la derecha indican la salinidad usada.

The relation between percentage of water content and salinity is not clear, except for an inverse relation observed in salinities above 40‰ for *Gracilaria* aff. *venucosa*,

H. comuta toleraron variaciones de salinidad de 20 a 50‰ y de 20 a 60‰, respectivamente. En un trabajo presentado por Dawes et al. (1976) se estudiaron plantas de *H.*

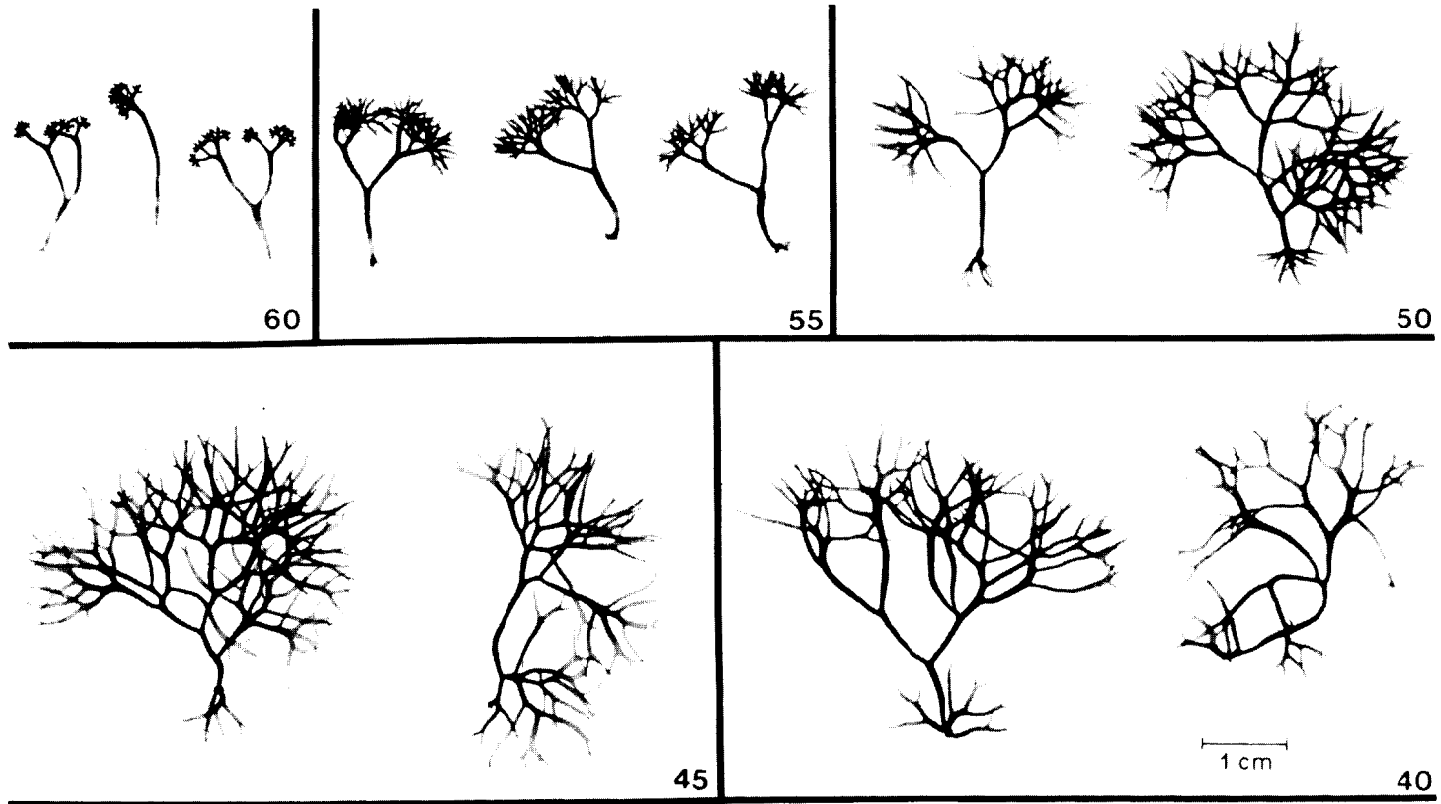


Figure 9. *Gracilaria* sp. Plants incubated in different salinities after 28 days. Necrotic zones are indicated by arrowheads. The numbers on the right indicate the salinities tested.

Figura 9. *Gracilaria* sp. Plantas incubadas en diferentes salinidades después de 28 días. Las flechas indican las zonas necróticas. Los números a la derecha indican la salinidad usada.

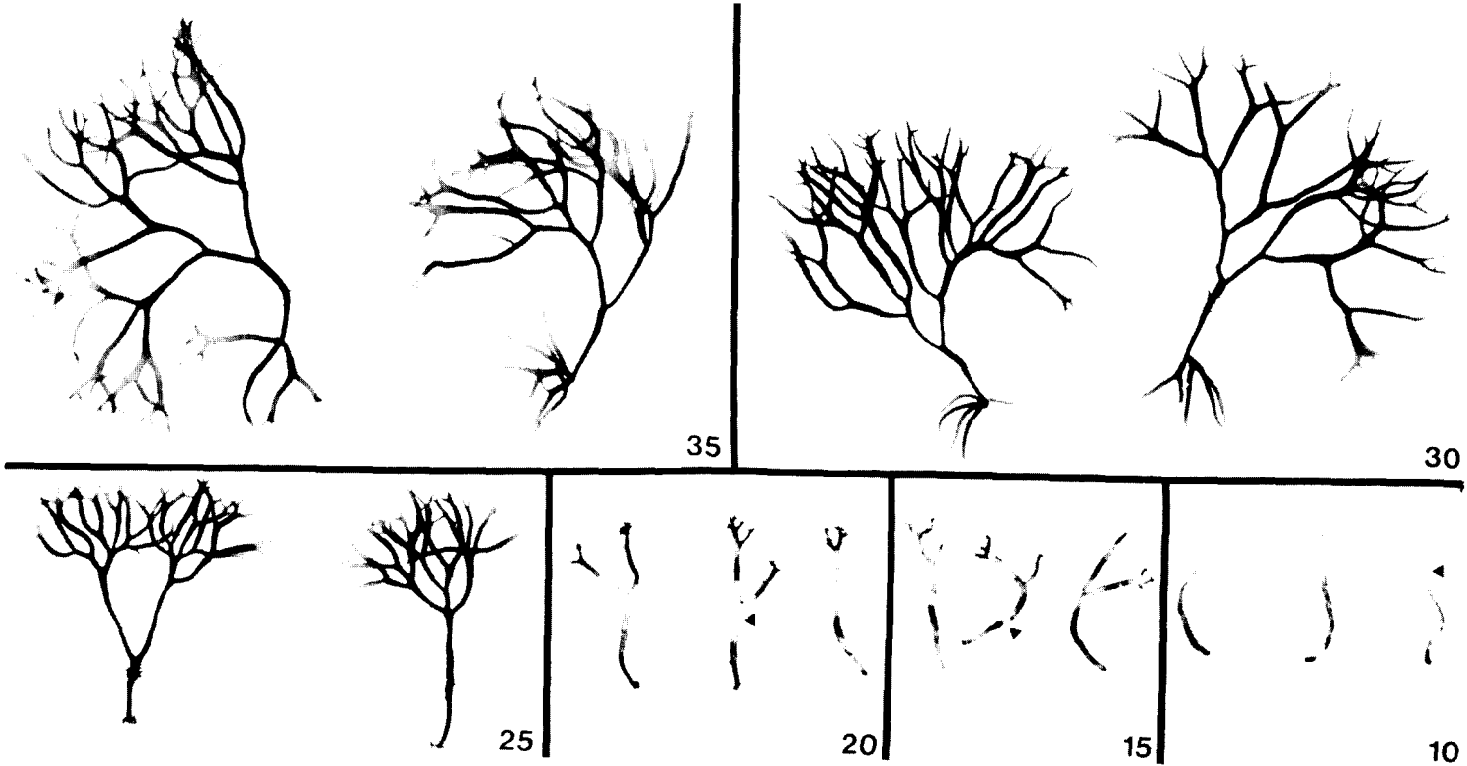


Fig. 9 (Cont.)

Hypnea comuta and *Meristiella echinocarpa*, and above 50‰ for *Gracilaria* sp. (Table 3).

We conclude that the species studied have a rapid osmotic adaptation, being able to withstand the salinity variation in their habitats. None of them, however, can thrive in the lower salinities found in estuaries and mangals, places often considered for mariculture. Our results show that the six species can be cultivated in localities with salinities ranging from 25 to 40‰, and up to 60‰ for *Hypnea comuta* from Araruama lagoon, which is the case in some ponds utilized for shrimp growth in the northeast of Brazil.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank John A. West, Edison J. de Paula and Julio A. Vásquez for a critical reading of the manuscript. This work was supported partially by a Master grant from FAPESP to N.S.Y. (Proc. No. 85/1313-0).

LITERATURE CITED

- Biebl, R. (1937). Zur protoplasmatischen anatomie der rotalgen. *Protoplasma*, 28: 562-581.
- Bird, K.T. (1984). Seasonal variation in protein: carbohydrate ratios in a subtropical estuarine alga, *Gracilaria verrucosa*, and the determination of nitrogen limitation status using these ratios. *Bot. Mar.*, 27: 111-115.
- Bird, C.J. and McLachlan, J. (1986). The effect of salinity on distribution of species of *Gracilaria* Grev. (Rhodophyta, Gigartinales): an experimental assessment. *Bot. Mar.*, 29: 231-238.
- Bird, N.L., Chen, L.C.M. and McLachlan, J. (1979). Effects of temperature, light and salinity on growth in culture of *Chondrus crispus*, *Fucellaria lumbricalis*, *Gracilaria tikvahiae* (Gigartinales, Rhodophyta) and *Fucus serratus* (Fuciales, Phaeophyta). *Bot. Mar.*, 22: 521-527.
- Burns, R.L. and Mathieson, C. (1972). Ecological studies of economic red algae. II. Culture studies of *Chondrus crispus* Stackhouse and *Gigartina stellata* (Stackhouse) Batters. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 8: 1-6.
- Causey, N.J., Prythetch, J., McLaskill, H.H. and Wolf, F. (1946). Influence of environment on growth of *Gracilaria musciformis* las cuales fueron colectadas en una playa expuesta y en un estuario protegido de Florida (EUA), en donde los límites de tolerancia variaron de 15 a 45‰. Los ejemplares estuarinos mostraron las más altas tasas fotosintéticas en salinidades que van de 10 a 40‰; por otro lado, para los ejemplares de la playa rocosa la salinidad óptima fue de 20‰. Las más altas tasas de crecimiento para *H. comuta* ocurrieron en altas salinidades, sugiriendo así una adaptación a los diferentes regímenes de la laguna. Comparando las tasas de crecimiento de todas las especies estudiadas, *H. comuta* y *H. musciformis* presentaron las más altas tasas de crecimiento (0.389 y 0.269 respectivamente). Estos valores son mayores a los reportados por Friedlander y Zelikovitch (1984) para las mismas especies.
- En el caso de *Meristiella echinocarpa*, ésta no se desarrolló bien en salinidades por debajo de 25‰ y por arriba de 40‰, lo cual va de acuerdo a su distribución en el infralitoral, puesto que son especies que están expuestas por breves períodos y sólo durante mareas excepcionalmente bajas.
- Los resultados obtenidos en este estudio para *Pterocladia capillacea* confirman las observaciones hechas por Santelices (1978), en Hawaii, para las mismas especies. *P. capillacea* presentó las más bajas tasas de crecimiento observadas en todas las especies estudiadas. Los valores obtenidos son mayores que los encontrados por Santelices (1976, 1978) y Oliveira y Yoneshigue (1986).
- La relación que existe entre los porcentajes de contenido de agua y la salinidad no es clara, con excepción de una relación inversa observada en salinidades por encima de 40‰ para *Gracilaria* aff. *verrucosa*, *Hypnea comuta* y *Meristiella echinocarpa*, y por encima de 50‰ para *Gracilaria* sp. (Tabla 3).
- Se concluye que las especies estudiadas tienen una rápida adaptación osmótica, que les permite tolerar variación de la salinidad en sus habitats. Ninguna de éstas, sin embargo, puede crecer en las salinidades más bajas encontradas en estuarios y manglares, lugares que actualmente son considerados para la maricultura. Nuestros resultados muestran que las seis especies pueden ser cultivadas en localidades con salinidades entre 25 y 40‰, y hasta 60‰ para *Hypnea comuta*, proveniente de la laguna Araruama, como es el caso

- ronmental factors upon the growth of *Gracilaria confervoides*. Bull. Duke Univ. Mar. Stn., 3: 19-24.
- Conover, J.T. (1964). The ecology, seasonal periodicity and distribution of benthic plants in some Texas lagoons. Bot. Mar., 7: 5-41.
- Dawes, C.J., Moon, R. and La Claire, J. (1976). Photosynthetic responses of the red alga, *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Gigartinales). Bull. Mar. Sci., 26: 467-473.
- Druehl, L.D. (1967). Vertical distribution of some benthic marine algae in a British Columbia inlet, as related to some environmental factors. J. Fish. Res. Bd. Canada, 24: 33-46.
- Friedlander, M. and Zelikovitch, N. (1984). Growth rates, phycocolloid yield and quality of the red seaweeds *Gracilaria tenuifrons*, *Pterocladia capillacea*, *Hypnea musciformis*, and *Hypnea cornuta* in field studies in Israel. Aquaculture, 40: 57-66.
- Gessner, F. and Schramm, W. (1971). Salinity. Plants. In: O. Kinne (ed.), Marine Ecology. London, Wiley - Interscience, Vol. 1, pt. 2, pp. 705-820.
- Khfaji, A.K. and Norton, T.A. (1979). The effects of salinity on the distribution of *Fucus ceranoides*. Estuarine Coastal Mar. Sci., 8: 433-439.
- King, R.J. and Wheeler, M.D. (1985). Composition and geographic distribution of mangrove macroalgal communities in New South Wales. Proc. Linn. Soc. N.S.W., 108: 97-117.
- Mathieson, A.C. and Burns, R.L. (1975). Ecological studies of economic algae. V. Growth and reproduction of natural and harvested populations of *Chondrus crispus* (Stackhouse) in New Hampshire. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 17: 137-156.
- McLachlan, J. (1973). Growth media - marine. In: J.R. Stein (ed.), Handbook of Physiological Methods. Culture Methods and Growth Measurements. Cambridge Univ. Press, pp. 25-51.
- Munda, I.M. (1978). Salinity dependent distribution of benthic algae in estuarine areas of Icelandic fjords. Bot. Mar., 21: 451-468.
- en algunas lagunas que han sido utilizadas para el crecimiento de camarón en el noreste de Brasil.
- ### AGRADECIMIENTOS
- Agradecemos a John A. West, Edison J. de Paula y Julio A. Vásquez sus comentarios al manuscrito. Este trabajo fue apoyado en parte por un "Master grant" de FAPESP a N.S.Y. (Proc. No. 85/1313-0).
- Traducido al español por Ana Luz Quintanilla M.
-
- Muñoz, M.A., Romo, H. y Alveal, K. (1984). Efecto de la salinidad en el crecimiento de tetrasporofitos juveniles de *Gracilaria venucosa* (Hudson) Papenfuss (Rhodophyta, Gigartinales). Gayana, 41: 119-125.
- Nygren, A. (1970). Effect of salinity on the growth of *Dasya pedicellata*. Helgolander Meeresunters, 20: 126-129.
- Ogata, E. and Schramm, W. (1971). Some observations on the influence of salinity on growth and photosynthesis in *Porphyra umbilicalis*. Mar. Biol., 10: 70-76.
- Oliveira, E.C. (1984). Brazilian mangal vegetation with special emphasis on the seaweeds. In: F.D. Por and I. Dor (eds.), Hydrobiology of Mangal. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, pp. 55-65.
- Oliveira, E.C. and Yoneshigue, Y. (1986). Cultivation of the red alga *Pterocladia capillacea* in tanks. Proc. Int. Seaweed Symp., 12: 81.
- Reed, R.H. and Russel, G. (1978). Salinity fluctuations and their influence on "bottle brush" morphogenesis in *Enteromorpha intestinales*. Br. Phycol. J., 13: 149-153.
- Ren, G-Z, Wang, J.C. and Chen, M.Q. (1984). Cultivation of *Gracilaria* by means of low rafts. Proc. Int. Seaweed Symp., 11: 72-76.
- Ruiness, J. and Tananger, T. (1984). Growth in culture of four red algae from Norway with potential for mariculture. Proc. Int. Seaweed Symp., 11: 303-307.

- Santelices, B. (1976). Nota sobre cultivo masivo de algunas especies de Gelidiales (Rhodophyta). *Rev. Biol. Mar.*, 16: 27-33.
- Santelices, B. (1978). Multiple interaction of factors in the distribution of some Hawaiian Gelidiales (Rhodophyta). *Pacif. Sci.*, Honolulu, 32: 110-147.
- Saunders, R.G. and Lindsay, J.G. (1979). Growth and enhancement of the agarophyte *Gracilaria* (Florideophyceae). *Proc. Int. Seaweed Symp.*, 9: 249-255.
- Simonetti, G., Giaccone, G. and Pignatti, S. (1970). The seaweed *Gracilaria confervoides*, an important object for autoecologic and cultivation research in the northern Adriatic Sea. *Helgolander Meeresunters*, 20: 89-96.
- Stokke, K. (1957). The red alga *Gracilaria verrucosa* in Norway. *Nytt Magasin for Bot. Oslo*, 5: 101-111.
- Sundene, O. (1953). The algal vegetation of Oslofjord; *Norske Vidensk Akad. Oslo, Mat. - Naturv. Klasse* 1953, No. 2. Apud: L.D. Druehl, 1981. Geographical distribution. In: C.S. Lobban and M.J. Wynne (eds.), *The Biology of Seaweeds*. Blackwell Scientific Publ., pp. 680-725.
- Zablackis, E. (1987). The effect of salinity on growth rate and branch morphology in tank cultivated *Grateloupia filicina* (Rhodophyta) in Hawaii. *Aquat. Bot.*, 27: 187-193.