

**ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE LA VARIACIÓN MORFOLÓGICA Y
FISIOLÓGICA DE *GELIDIUM CRINALE* Y *GELIDIUM SPATHULATUM*
COLECTADOS EN EL MEDITERRÁNEO CATALÁN**

Juan Echegaray Taborga

y

Juan A. Seoane Camba

Departament de Botànica
Facultat de Farmàcia
Universitat de Barcelona

RESUMEN

Se estudia fenológicamente dos especies de *Gelidium* durante el período comprendido entre abril 1980 y marzo 1981, con especial referencia a variaciones morfológicas, crecimiento, estadios reproductivos y de pigmentos.

SUMMARY

A phenological study of two species of *Gelidium*, with special reference to changes in morphology, growth, sexual behaviour and pigments during the period april 1980 to march 1981, has been performed.

INTRODUCCIÓN

Las algas, al igual que otros organismos, sufren variaciones morfológicas y fisiológicas que tienen su origen en tres tipos fundamentales de variabilidad; la variabilidad genética que contempla la expresión del patrimonio genético, la variabilidad ecológica que se produce básicamente por causas de la influencia fluctuante del medio ambiente, y la variabilidad de los ciclos biológicos en donde se observan una serie de cambios de tipo fenológico derivados de los propios ciclos. Este conjunto de variabilidades y sus consecuencias en las algas conllevan, muchas veces, confusiones realmente importantes para los estudiosos de estos grupos, suscitando incluso problemas de tipo sistemático.

En el presente trabajo se estudia las variaciones fenológicas derivadas del ciclo biológico de dos especies de *Gelidium*, en el período comprendido entre abril 1980 y marzo 1981.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de estudio ha sido recolectado en dos estaciones previamente fijadas en el Mediterráneo catalán. Una de ellas, donde se han efectuado las colectas de Gelidium crinale (Turner) Lamouroux, se encuentra ubicada en el litoral expuesto de los acantilados de Garraf (provincia de Barcelona) y la otra estación, donde se han recolectado las muestras de Gelidium spathulatum (Kützinger) Bornet, se encuentra localizada en grietas del litoral rocoso de la cala Sant Francesc (provincia de Girona).

Para la obtención del material algal nos dirigíamos mensualmente, primero a uno de los puntos de muestreo descritos donde se procedía a raspar una superficie aproximada de 5 x 5 cm que incluyera ejemplares de una misma población. Al día siguiente, se efectuaba lo mismo en la otra estación de muestreo mencionada, siempre y cuando el estado del mar lo permitiera.

El material recolectado era trasladado al laboratorio donde se procedía a separar las distintas especies presentes en la muestra, seleccionando así la especie que nos interesaba y dividiendo la muestra de ésta en dos fracciones. Una de estas fracciones se conservaba para los análisis posteriores de las variaciones morfológicas, dimensiones en longitud, estadios reproductivos como asimismo para la ulterior confección de un herbario representativo de la variabilidad de las especies tratadas. La segunda fracción se utilizaba para los análisis de clorofila.

En los estudios sobre la morfología y sus variaciones se utilizaba el método VISOPAN que nos permite ver con más detalle los distintos aspectos del alga, complementándose luego con observaciones bajo el microscopio. Para la determinación de las dimensiones en longitud se elegían, al azar, 20 ejemplares en fresco los cuales se medían con una regla milimetrada, obteniéndose luego la media mensual de la muestra respectiva. Los estadios reproductivos eran analizados bajo el microscopio utilizándose para ello un número de aproximadamente 30 ejemplares y luego se expresaba porcentualmente la presencia de individuos reproductivos y/o estériles en la muestra correspondiente.

En los análisis de clorofila, una vez que se limpiaba y se quitaba el exceso de humedad con papel de filtro, se pesaba la muestra y se subdividía en dos porciones; una porción de Gelidium, previamente pesada se colocaba en una estufa a 103 °C para la determinación de humedad con el fin de calcular el peso seco utilizado en nuestros análisis, y la otra porción se destinaba a la extracción de pigmentos, procediéndose para ello a triturar el alga en un mortero de porcelana al cual se añadía arena de vidrio neutro y acetona.

El extracto obtenido se sometía a bajas temperaturas durante 24 horas y posteriormente se centrifugaba durante veinte minutos para eliminar el máximo de sustancias ajenas a los pigmentos, a continuación se efectuaba la lectura de un espectrofotómetro SARGENT-WELCH (Model SD) obteniendo un registro continuo de las absorbancias o densidades ópticas (D) medidas a 750, 665, 664, 663, 645, 630, 570, 480 y 430 nm. La densidad óptica a 750 nm se usa para controlar la turbidez de la solución.

Considerando que podemos referir toda la actividad fotosintetizadora a la clorofila a, mensualmente hemos determinado, a partir de las densidades ópticas, la cantidad de clorofila utilizando las ecuaciones descritas por PARSONS & STRICKLAND (1963). También hemos calculado la relación D480/D665, considerando que los carotenoides poseen una fuerte absorción hacia 480 nm y que la clorofila se caracteriza por una gran absorción del rojo hacia 665-670 nm. Con ello se pretende observar en qué medida fluctúa la relación entre carotenoides y clorofila.

RESULTADOS

Los resultados se dan a conocer en la lámina 1, tablas I y II, y en las figuras 1, 2, 3, 4 y 5, en donde puede observarse que los ejemplares considerados como típicos, tanto de Gelidium crinale como de Gelidium spathulatum, sufren una serie de variaciones morfológicas y fisiológicas a través del año, que podrían resumirse como sigue:

1. Variaciones morfológicas.

Las variaciones morfológicas que ocurren en Gelidium crinale pueden observarse en la lámina 1. Los ejemplares a partir de abril-mayo (primavera) se ven como individuos jóvenes y con pocas ramificaciones, pero desde junio a septiembre (verano) se observa que las ramas se estilizan haciéndose cada vez más delgadas y ramificadas. Resulta curioso observar que desde octubre hasta diciembre (otoño) se pierden dichas estilizaciones adquiriendo la muestra la apariencia de los ejemplares tipo de la especie. Durante el mes de enero (comienzos de invierno), aunque todavía se encuentran algunos individuos con las descripciones dadas anteriormente, se pueden observar ejemplares similares a los descritos en primavera. Esta característica señalada continuaría durante todo el invierno hasta ensamblar y concluir en primavera según se ha dicho anteriormente.

Por otra parte, las variaciones observadas en Gelidium spathulatum se encuentran representadas en la figura 1, donde se puede deducir que durante la primavera los ejemplares presentan la tendencia a estilizar algunas o muchas de sus ramas, y a distintos niveles del talo, siendo sus terminaciones más bien atenuadas o levemente espatuladas. Durante la época estival se nota la tendencia a una ramificación pinnada secundaria, los extremos de las ramas se tornan más espatulados aunque aún persisten algunos individuos con ramificaciones muy alargadas. En el otoño se observa la mayoría de las ramas con ramificación pinnada secundaria, asimismo, las terminaciones son enteramente espatuladas. En el transcurso del invierno las plantas poseen sus ápices redondeados y ensanchados en forma de espátula y no se aprecian estilizaciones.

2. Variaciones de tamaño en longitud de la población.

Respecto a las variaciones de tamaño en longitud de las muestras colectadas, podemos observar que aunque los ejemplares de Gelidium crinale no sobrepasan los 4,5 cm ni los ejemplares de Gelidium spathulatum sobrepasan los 2 cm de longitud, podemos decir que ambas especies presentan, a través del año, variaciones similares que podrían resumirse de la siguiente manera (fig. 2):

A partir de los meses de primavera se observa una tendencia clara a aumentar en longitud, hasta alcanzar un tamaño máximo durante el verano. Al iniciarse el otoño la población presenta un tamaño más reducido y que se mantiene hasta mediados del invierno, pero a partir de la segunda mitad de esta estación del año, se iniciaría nuevamente la tendencia a aumentar en longitud.

3. Reproducción.

La época de reproducción de Gelidium crinale se ubica preferentemente en los meses de las estaciones de verano y otoño. Los individuos, en un gran número, presentan tetrasporocistes más bien esféricos, que miden de 25 a 40 μ de diámetro y que se localizan en las râmulas terminales ensancha-

TABLA I. Características de las muestras de *G. crinale*

FECHA	Longitud media mm	Sexual media	Peso seco gr	cc acetona	Clorof. a mg/g p.sec.	D480 D665
19-IV-80	16,6	100%	est.0,373449	78,0	1,396672	0,399334
21-V-80	19,3	100%	est.0,291946	88,5	1,424886	0,436018
21-VI-80	18,3	50%	tet.0,191598	65,0	1,539749	0,529557
12-VII-80	28,5	100%	tet.0,349335	110,0	1,368606	0,524297
20-VIII-80	26,3	100%	tet.0,284236	84,5	1,845934	0,465827
24-IX-80	29,7	100%	tet.0,249540	102,0	1,626432	0,539326
20-X-80	25,8	90%	tet.0,180939	134,0	1,070438	0,643411
15-XI-80	24,1	100%	tet.0,317278	96,0	1,276675	0,656992
13-XII-80	26,5	80%	tet.0,284865	62,0	0,897821	0,816712
10-I-81	25,4	35%	tet.0,211761	94,0	1,225565	0,931452
15-II-81	18,5	100%	est.0,186558	70,0	1,609955	0,668394
14-III-81	21,0	100%	est.0,208113	82,0	0,960449	0,625571

TABLA II. Características de las muestras de *G. spathulatum*

FECHA	Longitud media mm	Sexual media	Peso seco gr	cc acetona	Clorof. a mg/g p.sec.	D480 D665
20-IV-80	11,4	70%	tet.0,292966	72,0	0,684014	0,454183
18-V-80	12,9	40%	tet.0,204814	62,0	1,247121	0,617886
22-VI-80	14,2	40%	tet.0,340908	75,0	0,506385	0,893204
13-VII-80	15,0	50%	tet.0,331942	88,0	0,400374	1,088235
21-VIII-80	13,5	75%	tet.0,337419	88,0	0,762034	0,736641
21-IX-80	15,4	75%	tet.0,156856	84,0	0,516346	0,735632
19-X-80	13,9	80%	tet.0,198889	107,0	0,629245	0,580952
16-XI-80	14,6	95%	tet.0,284978	101,0	0,802609	0,576355
14-XII-80	14,0	90%	tet.0,249312	102,0	1,493790	0,698171
18-I-81	13,6	80%	tet.0,207969	70,0	0,988633	0,549242
22-II-81	13,5	75%	tet.0,235920	118,0	1,331617	0,748954
15-III-81	12,8	50%	tet.0,305753	95,5	1,233937	0,704225

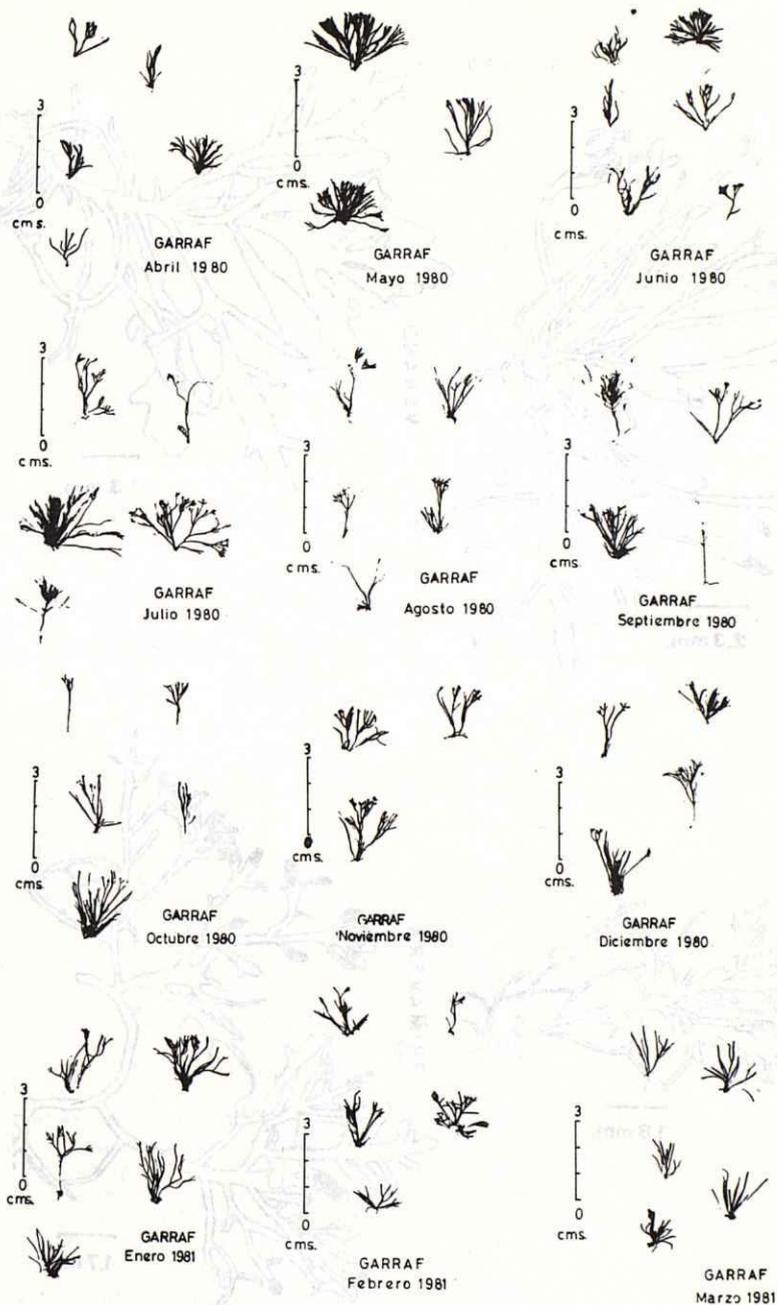


Lámina 1. Variaciones morfológicas de *Gelidium crinale* a través del año.

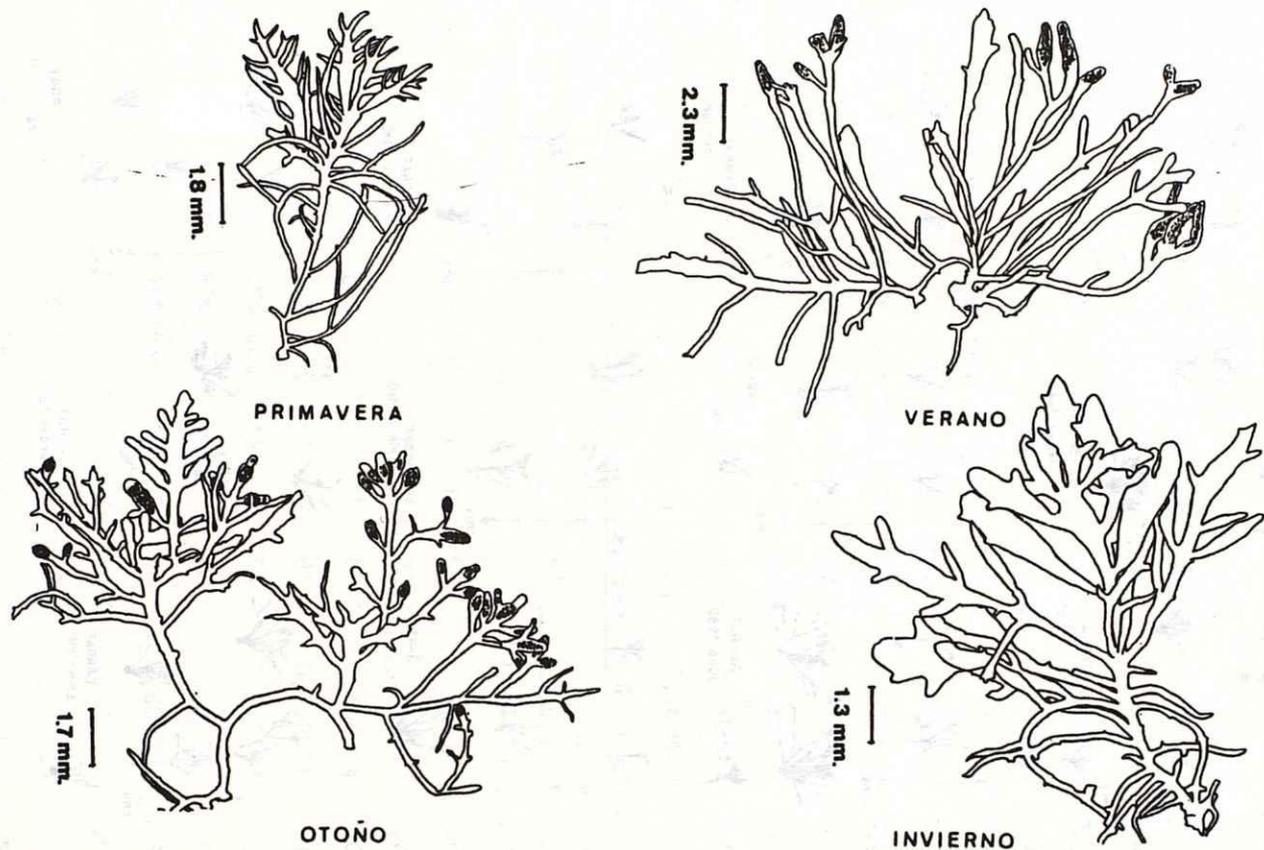


Fig. 1. Esquemas indicativos del porte de las plantas de *Gelidium spathulatum* en las cuatro estaciones del año.

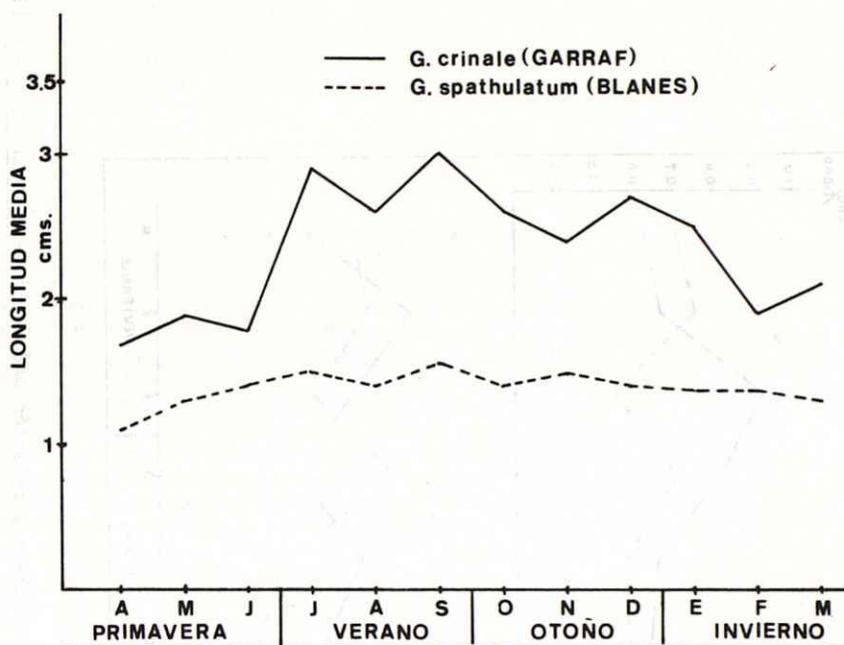


Fig. 2. Variaciones en longitud de las poblaciones de Gelidium crinale y Gelidium spathulatum. (medias de 20 ejemplares por muestras).

das y aplanadas de los mismos. Los cistocarpos, que según la literatura se encontrarían en la base de las râmulas hinchadas y largamente atenuadas, no se han localizado en nuestras muestras. Por otra parte, desde comienzos de invierno y hasta fines de primavera, es característico encontrar sólo individuos estériles constituyendo las muestras.

Respecto a lo que ocurre en Gelidium spathulatum, es notable señalar que se encuentra reproducido durante todo el año, observándose un máximo en otoño-invierno y lógicamente con presencia, en mayor o menor medida, de individuos estériles. Durante nuestras observaciones sólo hemos encontrado plantas tetraspóricas.

En ambas especies de Gelidium cabe hacer resaltar que, a partir de los ápices ensanchados y aplanados que contenían las estructuras reproductivas y una vez que éstas han alcanzado su época de madurez, se puede iniciar la formación de nuevos brotes de ramas vegetativas o bien los ejemplares pueden perder dichos ápices y sobre estas ramas truncadas llegar a producir nuevas ramificaciones.

4. Variaciones en la relación D480/D665 y clorofila a

Las gráficas de la relación D480/D665, que nos proporcionan un índice del estado de senectud de la población, presentan una tendencia a ser inversas a las gráficas de la concentración de clorofila (fig. 3).

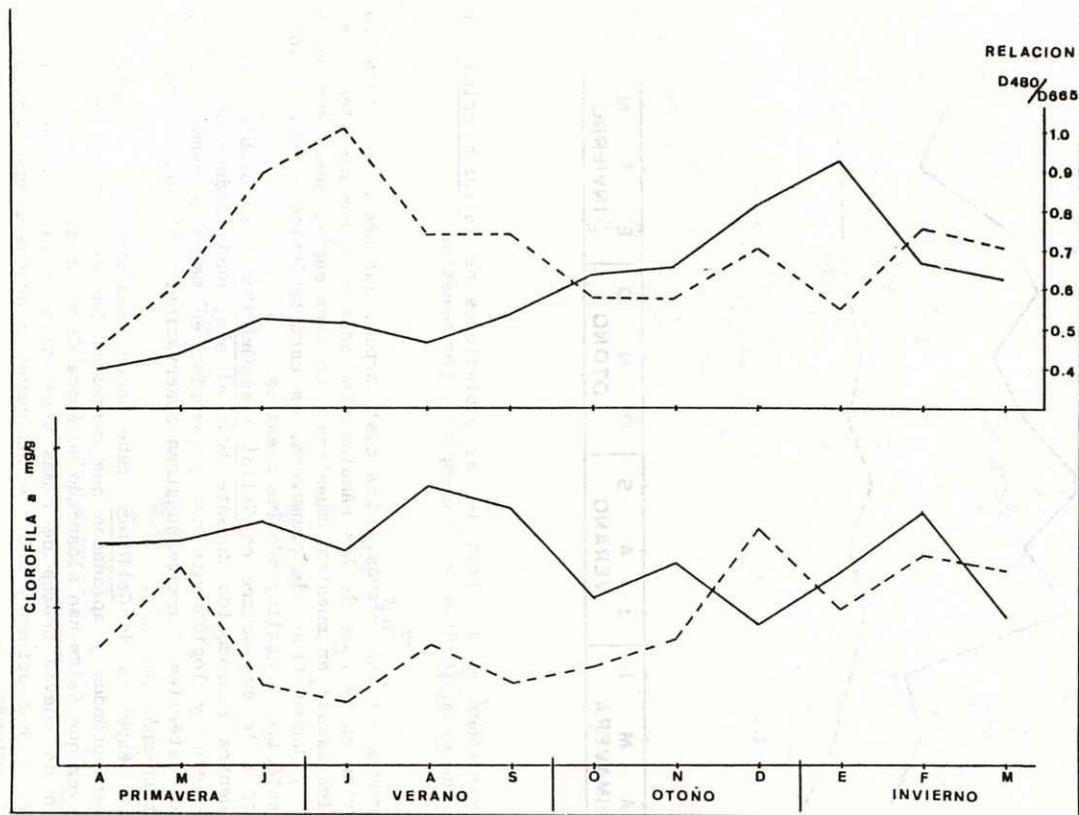


Fig. 3. Comparación entre las curvas de concentración de clorofila a y relación D480/D665 de Gelidium crinale (línea continua) y Gelidium spathulatum (línea a trazos).

Respecto a la cantidad de clorofila a se observan curvas aserradas difíciles de interpretar, mientras que las gráficas que representan las variaciones de la relación D480/D665 son menos fluctuantes y ponen de relieve unas tendencias más nítidas, que a nuestro juicio son consecuencia de que representan caracteres cualitativos de las muestras y sometidos, por tanto, a menor error.

DISCUSIÓN

En Gelidium crinale, la llegada otoño-invierno implicaría el comienzo de una renovación de la población, y entre dos ciclos consecutivos se producirían dos fenómenos que destacan. Por una parte, las estilizaciones de las ramas y por otra la reproducción, que hace al vegetal perder las estilizaciones antedichas y ensanchar sus ápices y ramas en general. Aunque en Gelidium spathulatum no se observa exactamente el mismo comportamiento anterior, se observa, en menor escala, el fenómeno de estilización de sus ramas y posteriormente el ensanchamiento de las mismas.

A pesar de no haber calculado, para nuestros efectos, los incrementos mensuales de crecimiento, se podría indicar, a priori, que las poblaciones de Gelidium tienden a renovarse durante otoño-invierno, obtienen su máximo incremento de crecimiento durante la primavera y se estabilizarían durante el verano, donde alcanzarían su máxima expresión en longitud y por ende su menor incremento de crecimiento. Esto estaría de acuerdo con la expresión que indica "las magnitudes medias individuales, son magnitudes susceptibles de aumentar gradualmente, cada vez con más lentitud, hasta aproximarse a un máximo o a una asíntota" (MARGALEF, 1974), por lo que nuestras gráficas corresponderían más bien a una suma de sigmoides y no a una curva normal.

Durante el estudio de los estadios reproductivos en las dos especies de Gelidium, se ha visto que sus comportamientos no parecen coincidentes; Gelidium crinale se presentaría reproductivo durante verano-otoño, donde alcanza hasta un 100 % de los individuos tetraspóricos y presentando individuos estériles en el resto del año, mientras que Gelidium spathulatum se encontraría reproducido durante todo el año, con un máximo en otoño-invierno, donde puede apreciarse hasta un 80-90 % de los individuos tetraspóricos.

Por otra parte, la determinación continuada, tanto de la clorofila a como de la relación D480/D665 para las dos especies de Gelidium, nos ha proporcionado resultados muy distintos a los esperados. Las dos especies en estudio, como se ha observado en la figura 3, se comportan de una manera casi totalmente inversa.

Considerando que un incremento en la relación carotenoides/clorofila significa una disminución de la actividad fisiológica de la población de estas algas y considerando además, que su cálculo es mucho más directo y por lo tanto menos manipulado que el usado para alcanzar los valores de la clorofila, hemos basado gran parte de nuestros análisis en los resultados obtenidos de esta relación.

Es así que, la curva resultante para Gelidium crinale denota en primavera una gran actividad fisiológica que tiende a disminuir hasta alcanzar un mínimo (punto máximo de la curva) en los meses de diciembre-enero. También parece observarse una inflexión en el sentido de aumento de actividad en los meses de junio-agosto, que coincidiría con la época de estilización de las ramas, mencionada anteriormente al hablar de variación morfológica.

Sin embargo, la curva resultante para Gelidium spathulatum, a partir de primavera tiende a una disminución de la actividad alcanzando un mínimo en los meses de junio-julio. Esta menor actividad coincidiría con los menores incrementos de tamaño de la población. Pero, con la llegada del verano comenzaría a desarrollar una gran actividad que continuaría durante el otoño

y que disminuiría con la llegada del invierno.

Se debe dejar establecido que estas apreciaciones no revisten el carácter de absoluto por las razones siguientes:

1º) porque se observan muchas oscilaciones de las curvas, incluso dentro de una misma estación del año;

2º) porque el hecho de estar continuando, por un segundo período, estos análisis de pigmentos, nos muestra que los valores obtenidos no serían totalmente coincidentes de un año para otro, por lo que creemos necesitaríamos un plazo mucho mayor, tal vez unos diez años, para precisar valores reales en este tipo de análisis.

De todos modos, los datos aquí presentados reflejarían un índice de la tendencia manifestada en dos especies de Gelidium durante un ciclo anual. Al mismo tiempo creemos que las variaciones en las curvas observadas en una misma estación del año obedecerían, en gran medida, a influencias energéticas locales que afectan a las sensibles poblaciones de Gelidium y preferentemente a las poblaciones de Gelidium crinale cuyo comportamiento parece responder más directamente a la evolución de la temperatura.

Por lo expuesto, tanto la reproducción como la producción de pigmentos, parecen obedecer fundamentalmente a la variabilidad del ciclo biológico de Gelidium y en este caso, el hecho de que al analizar esas variables nos hayamos encontrado con resultados más bien opuestos o inversos entre las dos poblaciones en estudio, confirma el razonamiento de encontrarnos ante dos especies de Gelidium que lógicamente, en su comportamiento, obedecerían a genotipos distintos. En estos aspectos de la fenología, derivados de los ciclos biológicos, se observa una influencia de la variabilidad genética de estas algas.

Al tenor de los datos hasta aquí obtenidos, pensamos que Gelidium crinale presenta un comportamiento muy peculiar y en el que pueden llegar a distinguirse las siguientes fases fenológicas (fig. 4):

1ª) Fase vegetativa.— Esta fase se iniciaría en enero y duraría hasta junio; es decir, se encuentra ubicada entre invierno y primavera. Está representada por individuos jóvenes sin mayores ramificaciones. En esta fase se observa el mayor incremento en longitud de los ejemplares de la muestra. Los ejemplares no presentan estructuras reproductivas aparentes y, en relación al coeficiente D480/D665 podemos apreciar que coincide con la tendencia a una mayor actividad fisiológica.

2ª) Fase pre-reproductiva.— Esta fase comprendería los meses de junio a septiembre, vale decir, desde fines de primavera hasta fines de verano. Se caracteriza por la profusión de ramificaciones y sobre todo por los alargamientos y adelgazamientos o estilización de las mismas. Coincidiría con el máximo de tamaño en longitud de las muestras y por ende con el menor incremento de crecimiento. Sin embargo, se aprecia también una superposición con los inicios de la época reproductiva que comenzaría con la llegada de la época estival. Nos da la impresión que los ejemplares sufren un alargamiento y su ramifican profusamente como etapa preparatoria para la reproducción y madurez de los individuos. Respecto al coeficiente D480/D665 se puede indicar que coincide igualmente con una fuerte actividad fisiológica.

3ª) Fase reproductiva propiamente tal.— Aunque la época reproductiva, como se ha indicado anteriormente, comenzaría en verano, se ha estimado diferenciarla en esta nueva fase por las características propias que ella encierra. El período comprendería desde octubre hasta enero, es decir, comprendería otoño y comienzos de invierno. Se caracteriza porque los individuos no presentan ningún tipo de estilización, y el final de este período coincidiría con el inicio de la renovación de la población, observándose una disminución en la longitud de los ejemplares componentes de la muestra. Además, la mayor parte de los individuos se encuentran en estadio reproduc-

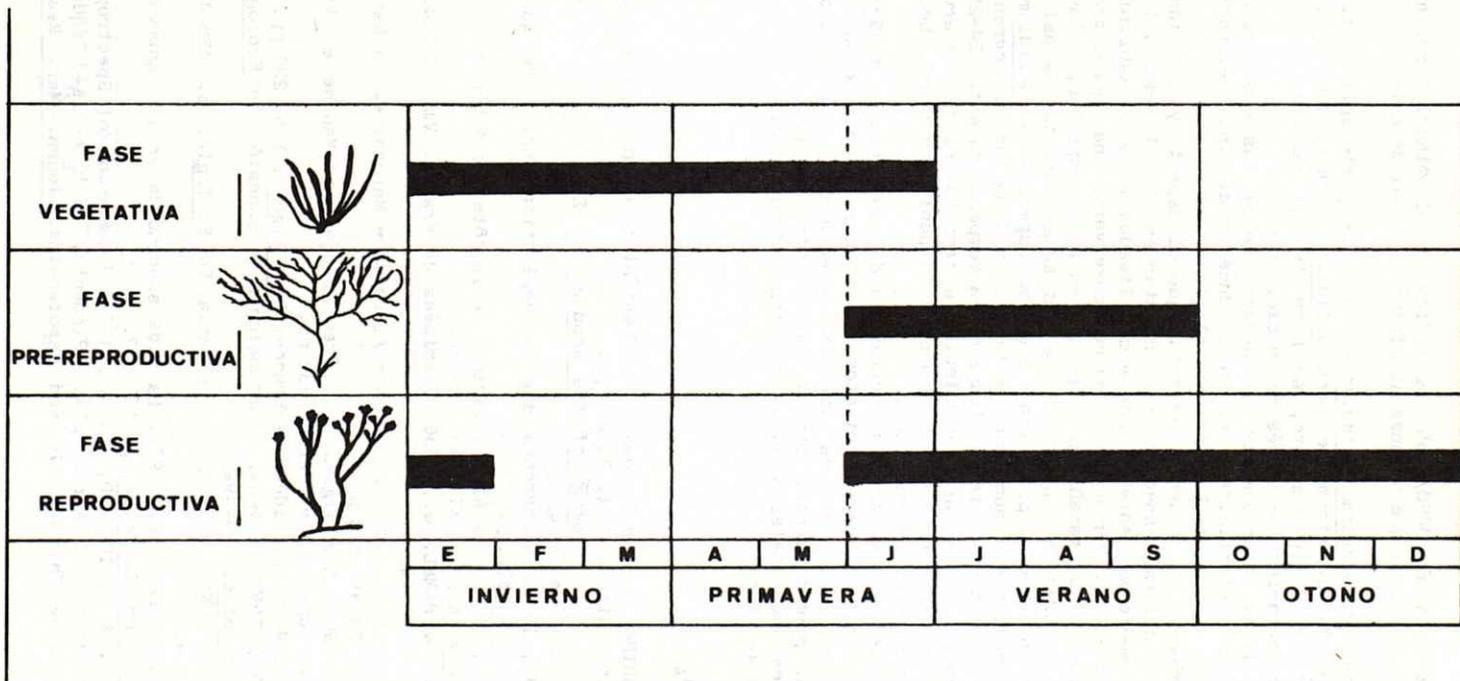


Fig. 4. Distribución a través del año de las distintas fases observadas en Gelidium crinale.

tivo, y la relación D480/D665 nos indica una disminución paulatina de la actividad fisiológica que alcanza su mínimo al final de este período.

En cuanto a Gelidium spathulatum, no se le puede aplicar el mismo criterio reseñado anteriormente para Gelidium crinale, puesto que, al ser su comportamiento muy distinto, se hace difícil resumir su actividad en fases de comportamiento a través de un ciclo biológico.

De lo dicho anteriormente se deduce que en las especies de Gelidium existe una gran plasticidad, que se traduce en distintas expresiones fenológicas y que derivan de los ciclos biológicos.

Sin embargo, no podemos descartar que el aspecto y actividad que presentan las distintas especies pueden estar en algo ligados a las fluctuaciones del medio ambiente, y por ende, ligados a la variabilidad de tipo ecológico (fig. 5). Por ejemplo, parece observarse una correlación positiva entre el aumento de tamaño en longitud, en ambas especies, y las variaciones de la temperatura superficial de las aguas marinas. Es así que, desde finales de invierno y primavera, las dos especies de Gelidium presentan una clara tendencia a aumentar de tamaño en longitud, y logran su máximo cuando las aguas superficiales alcanzan una temperatura entre 24-25 °C durante el verano. Al comenzar a disminuir la temperatura de las aguas (otoño-invierno), se aprecia un menor tamaño en la población algal, hecho que parece confirmar estas suposiciones.

El complejo comportamiento fenológico de las especies de Gelidium descrito hasta aquí, produce distintos aspectos en la población algal en el transcurso del año; y la variabilidad relacionada con el ciclo biológico se combina, probablemente, con la variabilidad ecológica relacionada con los factores ambientales y éstos podrían influir, más o menos, según la especie que se trate.

BIBLIOGRAFÍA

- CORDEIRO-MARINO, M., 1978. Rodoficeas bentônicas marinhas do estado de Santa Catarina. Rickia, vol. 7. 243 pp.
- DIXON, P.S., 1973. Biology of the Rhodophyta. Ed. Oliver and Boyd. Edinburgh. 285 pp.
- FELDMANN, J., 1937. Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. Rev. Algol., 10:73-254.
- FELDMANN, J., 1939. Les Algues marines de la côte des Albères. IV. Rhodophycées. Rev. Algol., XI(3-4):247-330.
- FELDMANN, J. & HAMEL, G., 1936. Floridées de France. VII. Gelidiales. Rev. Algol., 9:85-140.
- GAYRAL, P., 1958. Algues de la Côte Atlantique Marocaine. La Nature en Maroc. II. Rabat. 523 pp.
- GAYRAL, P., 1966. Les algues des Côtes Françaises (Manche et Atlantique). Ed. Doin-Deren & Cie. Paris. 632 pp.
- HAMEL, G., 1924-30. Floridées de France. Rev. Algol., 1-5. 226 pp.
- MARGALEF, R., 1972. Ritmos, fluctuaciones y sucesión. En: Ecología marina. Fund. La Salle, 454-492.
- MARGALEF, R., 1974. Producción primaria. En: Ecología. p. 435-472. Omega. Barcelona.
- MARGALEF, R. & VIVES, F., 1972. La vida suspendida en las aguas En: Ecología marina. Fund. La Salle, p. 493-562.
- PARSONS, T.R. & STRICKLAND, J.D.H., 1963. Discussion of Spectrophotometric Determination of Marine-plant Pigments, with revised equations for ascertaining Chlorophylls and Carotenoids. Journ. Mar. Res., 21:155-163.

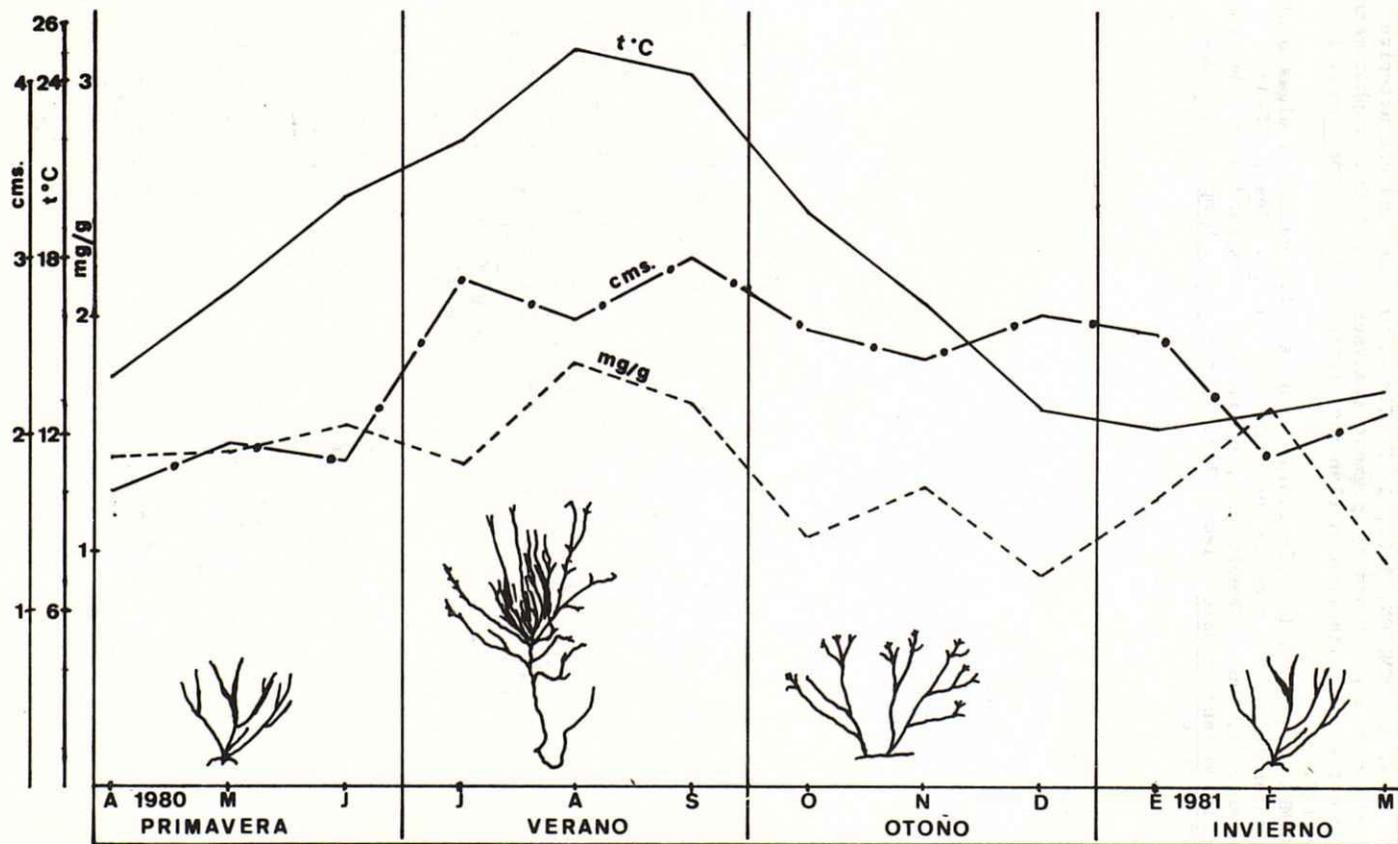


Fig. 5. Relación entre la etapa reproductiva, la concentración de clorofila y el tamaño de la población en *Geli-dium crinale* y la temperatura superficial de las aguas marinas en Garraf.

RICHARDS, F.A. & THOMPSON, T.G., 1952. The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses. II. A Spectrophotometric Method for the estimation of Plankton Pigments. Journ. Mar. Res., 11(2): 156-172.

SEOANE-CAMBA, J., 1965. Energía luminosa en Estudios sobre las algas bentónicas en la costa sur de la Península Ibérica. Inv. Pesq., 32-48.

SEOANE-CAMBA, J., 1969. Crecimiento, producción y desprendimiento de biomasa en Gelidium sesquipedale (Clem.) Thuret. Proc. Intl. Symp., 6:365-374.

