

Consideraciones sobre la morfometría de *Acetabularia acetabulum*

JORDI CATALÁN
JOSEP MARÍ
XAVIER MILLET

Departamento de Ecología. Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.
Gran Via de les Corts Catalanes, 585. Barcelona, 7. España.

INTRODUCCIÓN

La presente comunicación forma parte de un trabajo más extenso sobre *Acetabularia acetabulum* (L.) Silva (= *A. mediterranea* Lamouroux). Los cálculos se han hecho sobre individuos recogidos en una campaña de verano (1980) en la zona litoral del archipiélago balear y del norte de la Costa Brava catalana.

Interesaba conocer las relaciones entre las medidas morfométricas en vista a la importancia y utilidad que pudieran tener para contribuir a los estudios de la autoecología del alga en cuestión que más tarde se pretendían realizar.

GENERALIDADES MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS

Acetabularia acetabulum, aunque permanece unicelular durante toda su vida, presenta un alto grado de diferenciación morfológica. Sobre un pedicelo indiviso lleva un sombrero o disco formado por utrículos o cámaras dispuestos de forma radial. En la base del pedicelo se encuentran unas prolongaciones, a modo de rizoides, que le sirven para

sujetarse al sustrato. En uno de estos rizoides se sitúa el único núcleo (fig. 1). Referente a la morfología pueden consultarse SCHULZE (1939), FRITSCH

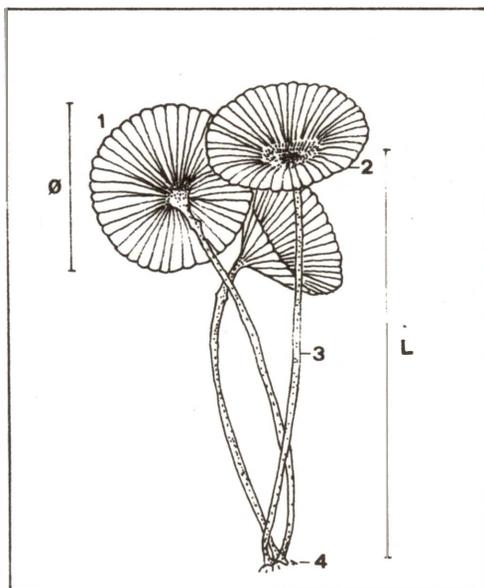


Fig. 1. *Acetabularia acetabulum*. a, Disco; 2, utrículo; 3, pedicelo; 4, rizoides; Ø, diámetro del disco; L, longitud del pedicelo.

Fig. 1. *Acetabularia acetabulum*. 1, cap; 2, utricle; 3, stalk; 4, rhizoid; Ø, disc diameter; L, stalk length.

(1945), CHAPMAN (1962), BRACHET & BONOTTO (1970) y LATEUR (1973).

La capacidad de regeneración que presenta este alga y la posibilidad de cultivarla en el laboratorio sin que se calcifique (LATEUR, 1973) ha permitido realizar gran cantidad de estudios fisiológicos, citológicos y de morfogénesis con ella. Consúltese al efecto: HAMMERLING (1963), CLAUSS (1968), BETH, TERBORGH & THIMANN (1969), JANOWSKI & BONOTTO (1970), BONOTTO & KIRCHMAN (1979), LATOUR & BONOTTO (1973), etc.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización geográfica.— El área estudiada (ver fig. 2) abarca la totalidad de las islas Baleares y parte de la Costa Brava (NE de la península Ibérica). De las estaciones estudiadas se han obtenido un total de 95 muestras, cada una con 33 individuos como máximo.

Muestreo.— Se han utilizado distintos métodos, técnicas y enfoques operativos de uso común en estudios de bionomía bentónica y oceanografía; véase la bibliografía citada por ROS et al. (1976).

Se muestreó desde superficie hasta 40 m de profundidad. Las algas recolectadas eran depositadas, in situ en botellas herméticas de plástico de 150 ml junto con las demás especies de algas características de la comunidad. Al mismo tiempo eran anotados, en una pizarra preparada a tal efecto, datos de profundidad, intensidad lumínica, tipo de sustrato, inclinación y orientación del mismo, densidad o recubrimiento y comunidad general.

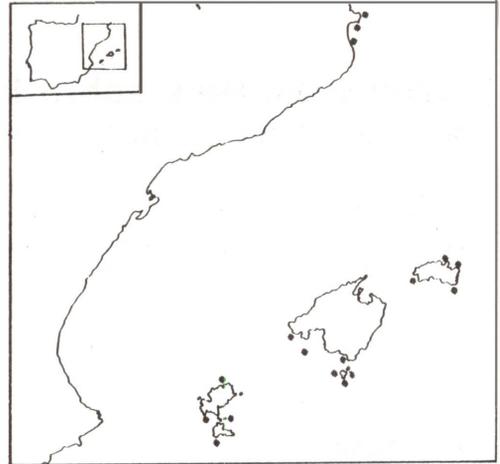


Fig. 2. Mapa con indicación (*) de las estaciones donde han sido obtenidas las muestras.

Fig. 2. Map showing the situation of the sampling points (*).

Tratamiento y almacenamiento de las muestras.— Una vez finalizado el muestreo, eran separados algunos individuos e introducidos en frascos de vidrio llenados previamente con metanol puro y envueltos con papel de aluminio, para la extracción de pigmentos. Estos frascos, rotulados con el número de estación y muestra, se guardaban en la nevera. El resto de la muestra era fijada con formol neutro al 6 % y era almacenada a temperatura ambiente hasta el momento de realizar las mediciones.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO

Se midieron: diámetro del disco (\emptyset), longitud del pedicelo (L) y número de utrículos del disco (N).

El diámetro del disco se midió sobre papel milimetrado, con ayuda de una lupa de cinco aumentos, estimándose un

error de $\pm 0,25$ mm. Esta era una medida, en general, bastante homogénea, cuya media puede situarse hacia los 10 mm.

La longitud del pedicelo también era tomada sobre papel milimetrado, es-tirando aquél con ayuda de pinzas debido a lo cual el error aquí estimado era algo superior a ± 1 mm. Se estableció previamente el criterio de tomar como extremos las dos prominencias, la del disco y la del extremo del pedicelo (donde se encuentran los rizoides y el núcleo primario antes de dividirse). La medida aquí es más difícil de generalizar, ya que la varianza en la longitud del pedicelo, incluso en una misma muestra de 33 individuos, podía ser superior a la media.

El número de utrículos de cada disco, dado que se presentan en gran número -más de cien por disco-, fue medido contando una cuarta parte con ayuda de una lupa más potente. Se estimó el error, al hacer series de medidas repetidas, en ± 1 utrículo.

Cuando se realizaron las primeras medidas se hizo una comprobación previa sobre el posible efecto de la fijación de las muestras con formol, no encontrándose variaciones significativas.

Del total de las 95 muestras se medía como máximo un total de 33 individuos, aunque la muestra estuviera compuesta por más. En el caso de que el número fuera inferior se medían todos los individuos de la muestra que estuvieran en buen estado, excepto cuando eran extremadamente jóvenes y presentaban diámetros del disco inferiores a 4 mm. Si la muestra era mayor de 33 individuos, los 33 a medir se escogían al azar.

Posteriormente se calculó, a partir de estas medidas, la longitud de la circunferencia del disco (C) y el tamaño medio de un utrículo (U), en cada individuo. Se han empleado logaritmos para normalizar en lo posible estos parámetros.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Datos de laboratorio (BONOTTO, 1970) indicaban que el crecimiento del pedicelo y el diámetro del disco se veían afectados por la luz y la calidad de ésta. Esta respuesta a factores físicos hizo suponer que este tipo de parámetros podía ser de utilidad para diferenciar las muestras, si resultaba que la variabilidad entre muestras era mayor que la variabilidad dentro de ellas. Una primera indicación de esto lo ofrecía la relación entre cociente \emptyset/L (diámetro/longitud pedicelo) con la profundidad (fig. 3); puede observarse una uniformidad elevada en muestras de superficie, donde las condiciones son, en general, más homogéneas, y un aumento en la varianza del cociente con la profundidad, correspondiendo con un aumento de la probabilidad de microhábitats distintos.

Análisis de la varianza.- La correlación entre C (longitud de la circunferencia del disco) y U (tamaño medio de un utrículo) era elevada, mientras que C y L (longitud del pedicelo) no estaban correlacionados.

La significación de las correlaciones se comprobó con el siguiente test:

$$\text{si } \rho = 0, \quad \text{el estadístico} \\ t = \sqrt{n-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}$$

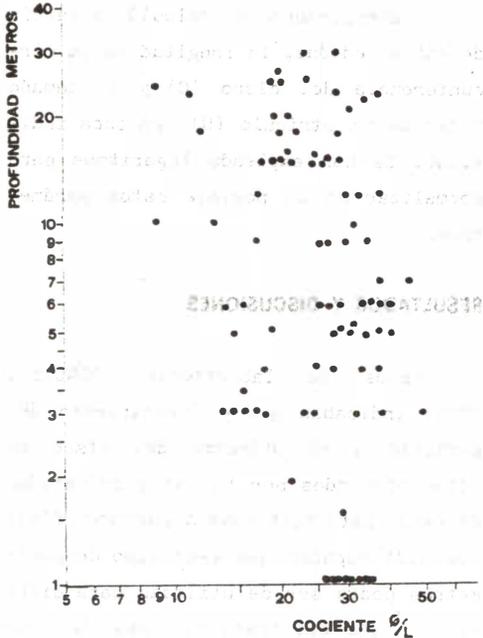


Fig. 3. Variabilidad del alga expresada por el cociente Ø/L en relación con la profundidad. Escala logarítmica. Obsérvense los valores agrupados de las muestras en superficie.

Fig. 3. *Acetabularia* variability, expressed by the Ø/L cocient, according to the depth. Notice the grouped values of the samples in the surface.

sigue una distribución t de Student, con n-2 g.l. y un nivel de significación de 0,01, siendo n= número de individuos comparados y r= coeficiente de correlación.

Dadas las correlaciones citadas, de cara a diferenciar poblaciones, solamente poseían importancia aquellos parámetros no correlacionados.

En un paso posterior se estudió si la varianza dentro de las poblaciones para los parámetros C y L era mayor o menor que entre poblaciones. Para ello se empleó un análisis de la varianza de un factor a k niveles. El factor, en un caso, era la circunferencia del

Tabla I: Tabla de análisis de la varianza para el perímetro del disco (C) entre y dentro de grupos, respectivamente.

Table I - Variance analysis table for the disc perimeter (C), between and in the groups.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Valor F
Entre grupos	$Q_e=37,686537$	92	F=80,0970943
Dentro de grupos	$Q_d=11,946878$	2336	

disco y en el otro el tamaño medio de un utrículo. Los k niveles correspondían a las 93 poblaciones muestreadas.

Los resultados se indican en las tablas I y II, donde la suma de cuadrados entre grupos responde a

$$Q_e = \sum n_i (y_i - y_{..})^2$$

siendo n = número de individuos en una muestra de la población; y = media para el parámetro dentro de una población; y_{..} = media general para el parámetro considerando todas las poblaciones en conjunto.

La suma de cuadrados dentro de grupos responde a

$$Q_d = \sum (y_{ih} - y_i)^2$$

siendo y_{ih} el valor del parámetro para un individuo concreto (i se refiere a la población a la que pertenece y h al número de individuos dentro de la población).

Los grados de libertad son k-1 entre grupos y n-k dentro de los grupos (n=2,429, que es el número total de individuos medidos).

Utilizando un nivel de significación de 0,01, la F resulta ampliamente significativa para ambos parámetros,

factor define el ambiente físico en general, teniendo, además, en cuenta que factores como el tipo de sustrato y la orientación incluyen otros factores relacionados con el ambiente físico y sus peculiaridades. En otras palabras, todas las características del fondo marino que condicionan la distribución de Acetabularia y los factores físicos asociados, como la turbulencia del agua, la salinidad y la temperatura. A nivel de observación directa, este factor de ambiente físico se entiende como aquellas propiedades del biótomo que definen el nicho tipo de Acetabularia.

El segundo factor justifica el 15 % de la varianza total y viene forzado por variables como el diámetro del disco, el índice D430/D665 de pigmentos y la densidad poblacional. Estas variables están integradas en el concepto de estabilidad de la población en el tiempo.

Finalmente, el tercer factor, que justifica el 12 % de la varianza total, viene forzado por variables como la longitud del pedicelo, la profundidad y la inclinación del sustrato. No es difícil asociar este factor con la intensidad de la luz. Se sabe, por un lado, que la longitud del pedicelo depende de la intensidad lumínica (BONOTTO, 1970). Por otro lado, la luz es un factor dependiente de la profundidad e, indirectamente, de la inclinación del sustrato. El análisis asocia las mayores inclinaciones a los lugares de mayor intensidad de luz. Los sustratos inclinados son mayoritarios a escasa profundidad y, por otro lado, tan sólo en sustratos horizontales aparece el alga cuando la intensidad de la luz es baja.

En resumen, parece razonable justificar la distribución encontrada de Acetabularia en base a estos tres factores.

Alometría.— Al mismo tiempo, se ha estudiado la relación de alometría entre el tamaño de un utrículo y el perímetro del disco. Es decir, ver de qué forma varía el tamaño medio de un utrículo al aumentar o disminuir el perímetro del disco y, además, ver si esta relación es del tipo $U = a C^{0,7}$ ya encontrada en otros organismos (MARGALEF, 1974).

Para ello se han escogido diez poblaciones al azar y, después de comprobar la correlación entre los parámetros y si era significativa, con la prueba ya indicada en otro punto, se ha mirado si existe una relación lineal del tipo $\log U = \log a + b \log C$, donde según nuestro supuesto, el coeficiente de regresión (b) debe acercarse a 0,7 (tabla III).

La significación de la regresión se comprobó en cada caso mediante un test de la misma índole que para el coeficiente de correlación, siendo en este caso r el coeficiente de regresión.

El valor medio encontrado para b, en las diez poblaciones estudiadas, es de $0,75736 \pm 0,0995$.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

A modo de resumen puede concluirse que:

- la presencia de Acetabularia acetabulum es general en todo el mar Catalán, no existiendo en ninguna de las zonas muestreadas una ausencia total de la misma, si bien su abundancia varía

según las localidades y la profundidad.

- en la figura 3 se observa que los únicos puntos en que los valores de la relación \emptyset/L con la profundidad presentan una mayor uniformidad es en las muestras de superficie (efecto, por otro lado, ya observado al realizar el muestreo). La causa puede estar, en parte, en la turbulencia del agua y la luminosidad. La primera limitaría el crecimiento general, pero sobre todo del pedicelo. La segunda, la luz, al ser máxima, favorecería el crecimiento del disco frente al del pedicelo (BONOTTO, 1970). Esto puede ser una explicación de la mayor uniformidad encontrada en individuos de superficie, dado que sólo pueden vivir y desarrollarse los que posean unas características morfológicas determinadas para resistir la turbulencia del agua.

- de los resultados obtenidos mediante el análisis de la varianza se ha observado que algunas medidas morfológicas (perímetro del disco y longitud

del pedicelo) pueden ser utilizadas, junto con otros parámetros, en un análisis de componentes principales, para justificar la distribución encontrada en Acetabularia.

- a partir del análisis de componentes principales aparecen tres factores como determinantes de la distribución general del alga. El primero sería el medio físico y sus peculiaridades. El segundo, la estabilidad de la población, y el tercer factor, la luz. En la práctica podemos justificar muy bien la distribución de Acetabularia acetabulum en función de estos tres factores.

- finalmente, el sentido que puede tener el valor 0,7 del coeficiente de regresión en el desarrollo de estructuras formadas por fragmentos o compartimentos en relación con la longitud total de la estructura en los organismos, resulta oscuro todavía, pero parece ser que es un fenómeno que se da con cierta frecuencia, siendo este caso un ejemplo más que aportar al conjunto.

Tabla III - Tabla de regresión.

Table III - Regression table

Nº muestra	nº indiv./muestra	Coficiente correlación	Significación correlación	Coficiente regresión	Significación regresión
11	12	0,9551	+	0,8597	+
27	33	0,5507	+	0,8403	+
28	19	0,7918	+	0,7836	+
44	33	0,9233	+	0,8202	+
52	33	0,9605	+	0,7257	+
53	33	0,4590	+	0,5864	+
68	33	0,5845	+	0,6299	+
70	33	0,8766	+	0,7115	+
74	20	0,8684	+	0,8202	+
87	32	0,8174	+	0,7961	+

SUMMARY
ON *Acetabularia acetabulum* MORPHOMETRY

Based on more than 2.500 individuals of *Acetabularia acetabulum* (L.) Silva, picked up in different places of the Balearic archipelago and the northern Costa Brava (NE Spain), some relations among different morphometric measures (disc perimeter, utricle medial size and stalk length) were analyzed.

A variance analysis was made to see if

those parameters were useful to show poblational differences; the results in this sense were affirmative.

The allometric ratios between the utricle medial size and the disc perimeter were also obtained. These fit with the one already established in other organisms.

BIBLIOGRAFÍA

- ABEL, E., 1963. Probleme der Okologischen Forschung im Litoral des Mittelmeeres. Rapp. Proc. Verb. Réunions CIESM, 17(2):79-83.
- ALVAREZ, J., 1960. Una campaña biológica a bordo del "Cruz del Sur" por aguas de Baleares. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Biol.), 57:151-168.
- BALLESTER, A., ARIAS, E., CRUZADO, A., BLASCO, D. & CAMPS, S., 1963. Estudio hidrográfico de la costa catalana de junio de 1965 a mayo de 1967. Inv. Pesq., 31:621-662.
- BETH, K., 1953. Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung des Lichtes auf die Formbildung von kernhaltigen und kernlosen *Acetabularia* Zellen. Z. Naturforsch., 8b.
- BONOTTO, S. & BONNIJNS-VAN GELDER, E., 1969. A simple method to obtain high frequency of stalk division in *Acetabularia mediterranea*. Plant Physiol., 44:1738-1741.
- BONOTTO, S., FELUGA, B. & AKSIYOTE, J., 1969. Quelques observations sur la morphologie des cytes d'*Acetabularia mediterranea*. Protoplasma, 67:407-412.
- BONOTTO, S. & JANOWSKI, M., 1969. Quelques observations sur la forme du chapeau d'*Acetabularia mediterranea*. Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique, 102:257-265.
- BRACHET, J. & BONOTTO, S., 1970. Biology of *Acetabularia*. In: Proceedings of the first International Symposium on Acetabularia. Academic Press. New York.
- DAO, S., 1954. Comportement de l'*Acetabularia mediterranea* Lam. en culture. Etude de sa croissance. Rev. Gén. Bot., 61.
- DIZERBO, A.H., 1955. Observations sur les algues de la Côte du Massif de Torroella de Montgrí, près l'Estartit (Catalogne). Collect. Bot., 4(3):249-252.
- EQUIPO DE BENTOS, 1972-73. Estudio de las comunidades bentónicas de sustratos duros de la zona superior de la plataforma continental mediterránea española. I y II. Fundación Juan March.
- F.A.O., 1970. Bibliography on methods of studying the marine benthos. A.D. Mc Intyre. Ed. First/T, 98. Roma.
- KECK, K., 1964. Culturing and experimental manipulation of *Acetabularia*. In: Methods in Cell Physiology, 1:189-213. Ed. by Prescott, D.M. Academic Press. New York and London.
- MOLINIER, R., 1954. Première contribution à l'étude des peuplements marins superficiels des Iles Pithyuses (Balears). Vie Milieu, 226-242.
- PERES, J.M. & PICARD, J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Rec. Trav. St. Mar. Endoume, 31(47): 5-137.
- POLO, L. & SEOANE-CAMBA, J.A., 1976. Comunidades bentónicas de sustrato duro del litoral NE español. XIII. Vegetación, Diversidad y Sociabilidad. Collect. Bot.
- PUISEUX-DAO, S., 1962. Recherches biologiques et physiologiques sur quelques Dasycladacées, en particulier, le *Bathophora oersvedii* J. Ag. et l'*Acetabularia mediterranea* Lam. Rev. Gén. Bot., 69:409-503.

- PUISEUX-DAO, S., 1963. Les Acétabulaires, matériel de laboratoire. Les résultats obtenus avec ces chlorophycées. Anné Biol., 2:99-154.
- PUISEUX-DAO, S., 1970. Acetabularia and cell biology. London. Logos.
- ROS, J.D., 1971. La inmersión con escafandra autónoma y la investigación biológica en España. Inm. y Ciencia, 2:11-17.
- ROS, J.D., CAMP, J., OLIVELLA, I. & ZABALA, M., 1976. Comunidades bentónicas de sustrato duro del litoral NE español. I. Introducción. Metodología. Estaciones de muestreo. Inm. y Ciencia, 10-11:13-46.
- VALLESPINOS, F., CAMPAS, L.I., JUAN, E. & POLO, L., 1976. Comunidades bentónicas del sustrato duro del litoral NE español. II. Tipos de costa. Hidrografía Bionomía. Inm. y Ciencia, 10-11:47-70.
- SHEPHARD, D., 1970. Axenic culture of Acetabularia in a synthetic medium In.: Methods in Cell Physiology, 4:49-69. Ed. by Prescott, D.M. Academic Press. New York and London.
- WOODS, J.D. & LYTHGOE, J.N., 1971. Underwater Science. An introduction to experiments by divers. Oxford University Press. London.

