

# CARACTERIZACION LIMNOLOGICA PRELIMINAR DE LA ALBUFERA DE ALCUDIA (MALLORCA). COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA Y DISTRIBUCION DE MACROFITOS

A. Martínez, G. Moya y G. Ramón

Facultad de Ciencias. Universidad de las Islas Baleares

Palabras clave: Aquatic macrophytes. Salinity. Nutrients. Coastal lagoons.

## ABSTRACT

### PRELIMINARY LIMNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE ALBUFERA (ALCUDIA, MAJORCA). DISTRIBUTION OF THE SUBMERSED MACROPHYTES AND CHEMICAL COMPOSITION OF WATER

The distribution of submersed macrophytes in coastal lagoons and artificial channels in the Albufera of Alcudia (Majorca), was studied in relation to chemical characteristics of water during the summer period. From a cluster analysis of these chemical parameters four clusters (I to IV) were found corresponding to a important conductivity gradient ( $1.29 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1} - 46.9 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ).

Another cluster analysis based on occurrence of aquatic macrophytes leads to a general division in three groups.

Group 1 includes *Ricciella fluitans*, *Callitriche stagnalis*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum* and *Zannichellia palustris* and it is coincident with cluster I.

Cluster II coincides with group 2, including *Chara vulgaris*, *Chara connivens*, *Najas marina* and *Potamogeton pectinatus*.

Finally *Ruppia maritima* and *Chaetomorpha linum* are the characteristic species of group 3 present in cluster III and IV.

## INTRODUCCION

La Albufera de Alcudia constituye un típico ejemplo de zona de transición entre los ambientes de agua dulce y marina, presentando por ello algunas de las particularidades más características de tales sistemas, como son la existencia de importantes gradientes entre los extremos sometidos a la influencia directa de uno u otro tipo de agua así como notables fluctuaciones a lo largo del año.

En el presente trabajo se discuten los resultados correspondientes a los análisis de los parámetros químicos determinantes de la mineralización, los nutrientes y la concentración de clorofila y la distribución de los macrófitos acuáticos.

Aunque la distribución de los macrófitos se halla controlada por un amplio número de factores (Scul-

horpe, 1967; Hutchinson, 1975), las características químicas de las aguas han merecido una especial atención por ser consideradas como determinantes de la presencia de las distintas especies de este tipo de vegetación (Iversen & Olsen, 1943; Felzines, 1977; Verhoeven & Van Viersen, 1978a y 1978b) y por tanto de sus relaciones fitosociológicas y de su ecología (Kadono, 1982a).

El trabajo de Margalef Mir (1981) reúne información sobre la distribución de los macrófitos en relación con la composición química del agua de un centenar de sistemas acuáticos repartidos por el E y NE de la Península, en gran parte aguas costeras. Entre otros estudios sobre macrófitos en lagunas costeras del Mediterráneo español se podría citar el de Ferrer & Comin (1979).

Limnética 3: 55–61 (1987)

© Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain

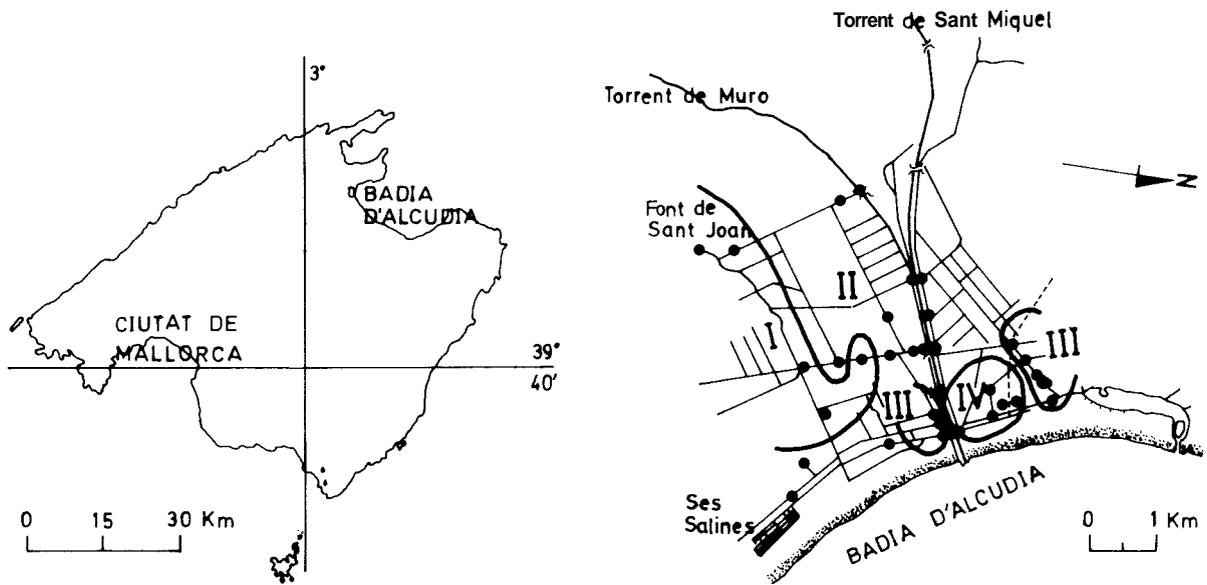


Figura 1.—Localización del área de estudio. Se señalan las estaciones de muestreo y los grupos de estaciones resultantes del análisis cluster.

Location of the study area. Indicating the sampling stations and their grouping from the cluster analysis.

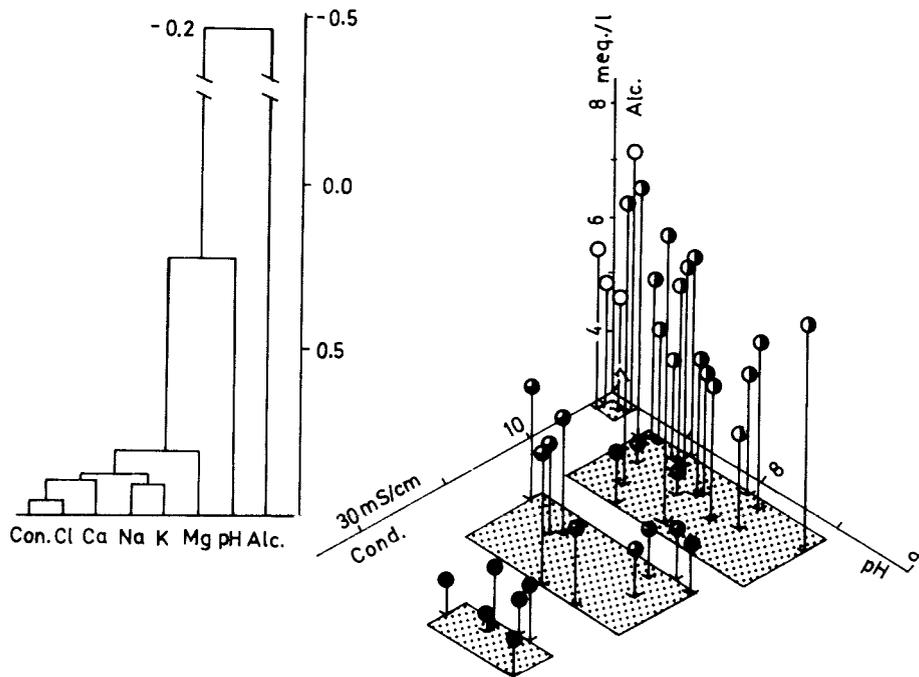


Figura 2.—Dendrograma de las correlaciones existentes entre las variables relacionadas con la mineralización y agrupamiento de las estaciones.

Dendrogram of the correlations between chemical parameters and the grouping stations.

GRUPOS	CONDUCTIV. mS/cm(20°C)	CLORUROS g/l	SODIO g/l	POTASIO ppm	MAGNESIO ppm	CALCIO ppm	ALCALIN. meq/l	pH
I	2,88 1,92-4,50	0,93 0,57-1,28	0,95 0,60-1,39	20,63 16,50-27,75	162 130-200	180 150-220	5,34 3,20-7,45	7,28 7,05-7,63
II	6,71 3,66-12,73	1,98 1,35-4,04	1,74 0,94-2,82	52,96 25,75-122,50	420,77 230-860	224,62 130-360	5,75 4,53-8,75	7,82 7,38-8,56
III	31,42 24,53-38,23	13,77 10,99-17,72	6,36 5,26-7,33	285,83 135,00-420,00	1164,29 900-1300	470 390-600	4,28 3,64-5,10	8,00 7,63-8,43
IV	43,72 41,27-46,90	19,91 19,14-21,27	22,31 21,45-22,95	618,13 517,50-843,75	1541,67 1500-1600	661,67 600-770	3,69 3,18-4,62	8,09 7,77-8,33

Tabla 1.-Valores medios, mínimos y máximos de los parámetros químicos analizados, referidos a los distintos grupos de estaciones delimitados en la Albufera de Alcudia.

Table 1.-Mean, minimum and maximum values of chemical parameters. Grouping of stations determined in the Albufera of Alcudia are indicated.

GRUPOS	NITRITOS µg-at/l	NITRATOS µg-at/l	FOSFATOS µg-at/l	RELACIÓN N:P	CLOROFILA <u>A</u> mg/m <sup>3</sup>
I	4,14 1,91-6,77	82,59 70,27-111,04	0,31 0,15-0,48	317,13 253,30-506,60	7,50 5,36-8,80
II	5,10 0,12-22,15	48,87 0,29-110,39	3,35 0,11-48,65	195,17 0,10-606,16	40,55 2,78-352,13
III	0,54 0,06-2,32	3,47 0,18-9,25	0,51 0,35-0,87	7,13 0,49-23,71	66,15 5,96-216,84
IV	0,13 0,09-0,18	0,60 0,14-1,72	1,83 0,37-4,92	0,69 0,10-2,44	35,96 30,86-42,63

Tabla 2.-Valores medios, mínimos y máximos de los nutrientes y clorofila, referidos a los distintos grupos de estaciones delimitados en la Albufera de Alcudia.

Table 2.-Mean, minimum and maximum of nutrients and chlorophyll. Grouping of stations determined in the Albufera of Alcudia are indicated.

## MATERIAL Y METODOS

La Albufera de Alcudia se halla localizada en el NE de la isla de Mallorca. Su superficie esta repartida entre los términos municipales de Muro, Sa Pobla y Alcudia (figura 1). Geológicamente constituye una cubeta de subsidencia cuya base esta formada por

margas grises con yeso y calcarenitas. Su origen hay que situarlo en el Pleistoceno medio y el Holoceno (Muntaner, 1980). Como consecuencia de sucesivos proyectos de desecación, en los últimos cien años ha cambiado por completo la configuración de la Albufera. Esta ha pasado de ser un sistema de lagunas intercomunicadas a un sistema reticulado de canales

entre los cuales hay zonas que quedan periódicamente inundadas y donde persisten algunas de las antiguas lagunas (figura 1).

La llegada de aguas dulces superficiales a la Albufera se realiza fundamentalmente a través de los torrentes de Sant Miquel y de Muro, aunque como consecuencia de su canalización directa al mar su influencia sobre el resto de la Albufera es mínima excepto en las ocasiones en que, por un excesivo caudal de los mismos, se inundan las zonas colindantes. Los aportes subterráneos proceden básicamente de la unidad geológica de Sa Pobla–Muro. Otras entradas de agua dulce provienen de distintas fuentes de las cuales la más importante es la de Sant Joan. Finalmente hay que señalar la presencia de surgencias localizadas en distintos puntos de la Albufera y que aportan aguas de salinidades muy variables (Fuster, 1973).

A lo largo del verano de 1983, se recogieron muestras de agua superficial y de macrófitos acuáticos en 39 puntos distribuidos por toda la superficie de la Albufera (figura 1). Además se procedió a la medición «in situ» del pH y de la temperatura del agua en dichos puntos, utilizando en ambos casos medidores eléctricos específicos de la marca Crison. Para las muestras de agua se utilizó un tomamuestras horizontal LaMotte JT–1 de un litro de capacidad. La vegetación macrofítica era recogida con la ayuda de un rastro.

En el laboratorio, sobre una parte de la muestra no sometida a ningún tratamiento previo, se determinaba la conductividad mediante un conductímetro Radiometer CDM2 y la alcalinidad según el método descrito por Golterman & Clymo (1969), asimismo se procedió a una nueva medida de la temperatura con el fin de estandarizar los valores de la conductividad a 20°C. El resto de la muestra era filtrada, separándose del filtrado distintas fracciones; una de ellas se utilizaba para el análisis de los cloruros siguiendo el método de Knudsen descrito en Strickland & Parsons, (1972) otra fracción servía para la determinación de los cationes Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> mediante un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin–Elmer 703, y la fracción sobre la que se determinarían los nutrientes se guardaba congelada a –10°C hasta el momento de los análisis para los que se emplearon los métodos habituales (Strickland & Parsons, 1972) adaptados a la utilización de un aparato de medición automática (Technicon Autoanalyzer II, 1972; 1973a y 1973b). El filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C se empleaba para la extracción de pigmentos, utilizando alcohol metílico al 90% como solvente y conservándose en la oscuridad a 4°C durante 24 horas. La densidad óptica de los extractos se determinaba espectrofotométricamente y las concentraciones de clorofila a se estimaban aplicando la fórmula de Talling & Driver (1936).

Al objeto de definir y limitar los parámetros claramente diferenciales en las distintas estaciones muestreadas y obtener una posterior agrupación de las mismas se procedió a elaborar una matriz de correlación sobre los datos obtenidos de los parámetros relacionados con la mineralización de las aguas y la posterior aplicación de un análisis cluster.

Con el fin de establecer posibles relaciones entre parámetros químicos y macrófitos acuáticos se ha realizado, sobre los inventarios de las distintas especies recolectadas en cada estación de muestreo, un simple análisis de similitud para las especies que aparecían en al menos tres inventarios, haciendo uso del índice de Jaccard (1902).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados que se presentan en las tablas corresponden, como ya se indicó, a un período concreto del año –meses de verano– con unas condiciones particulares en las diferentes masas de agua de la Albufera. La característica general es un importante déficit de agua con respecto al resto del año, que se hace patente en las zonas temporalmente encharcadas, en los canales –con escasa o nula circulación– y en una más acusada influencia del mar en aquellas zonas directamente conectadas. Todo ello se vio favorecido y acentuado por las escasas precipitaciones, sólo el 50% de las normales, registradas a lo largo del año al que corresponde el muestreo (Centro Meteorológico Zonal de Palma de Mallorca, 1983).

### Parámetros químicos

En la figura 2 se ha representado el análisis cluster para los parámetros químicos relacionados con la mineralización, observándose una muy significativa correlación –del orden de 0.9– entre los distintos iones (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>–</sup>) y la conductividad; una menor correlación, sólo de 0.5 entre el pH y aquéllos; y una correlación negativa, de –0.2, entre la alcalinidad y el resto de las variables analizadas.

A partir de este análisis se ha optado por reunir los distintos iones en un solo parámetro, asimilable a la conductividad, el cual se ha utilizado, juntamente con el pH y la alcalinidad, para la representación gráfica y posterior agrupamiento de las estaciones muestreadas, tal como se refleja en la figura 2, pudiendo visualizarse cuatro grupos de estaciones dentro del conjunto de la Albufera.

El primer grupo reúne estaciones sometidas a la influencia de las aguas dulces procedentes de Sa Font de Sant Joan. Sin embargo un examen de su composición iónica y de su conductividad indica valores muy

ESPECIES (N° ESTAC.)	COND. mS/cm	CL g/l	NA g/l	K ppm	Mg ppm	CA ppm	ALC. meq/l	PH
<i>Chaetomorpha linum</i> (6)	34.20 7.43	16.92 3.30	11.49 8.32	375.00 133.41	1208.33 269.10	488.33 101.87	4.06 0.62	8.00 0.30
<i>Chara connivers</i> (3)	3.63 0.09	1.32 0.04	1.24 0.15	31.75 4.82	233.33 20.82	180.00 10.00	5.61 0.69	7.48 0.13
<i>Chara vulgaris</i> (9)	5.56 3.08	2.06 1.18	1.63 0.75	47.50 33.57	512.22 619.49	212.22 85.70	5.54 0.76	7.74 0.41
<i>Ricciella fluitans</i> (3)	2.89 1.02	1.09 0.24	0.74 0.24	24.50 5.63	226.67 77.67	220.00 0.00	5.37 0.45	7.18 0.18
<i>Callitriche stagnalis</i> (3)	2.89 1.02	1.09 0.24	0.74 0.24	24.50 5.63	226.67 77.67	220.00 0.00	5.37 0.45	7.18 0.18
<i>Ceratophyllum demersum</i> (6)	3.39 1.38	1.15 0.46	0.93 0.39	22.29 12.61	228.33 97.04	196.67 28.75	4.91 1.07	7.29 0.23
<i>Myriophyllum spicatum</i> (5)	4.32 1.52	1.40 0.60	1.19 0.41	30.90 10.96	268.00 119.46	198.00 64.96	4.82 1.50	7.61 0.55
<i>Najas marina</i> (10)	5.69 2.27	2.01 0.85	1.56 0.57	43.28 18.20	362.00 187.49	209.00 59.53	5.76 0.88	7.83 0.41
<i>Potamogeton pectinatus</i> (13)	4.92 1.99	1.77 0.84	1.36 0.49	35.83 14.40	307.69 173.79	196.92 56.33	5.30 1.29	7.65 0.39
<i>Ruppia maritima</i> (7)	32.71 9.82	14.74 4.81	10.58 8.02	317.14 189.77	1271.43 170.43	477.14 123.11	4.07 0.49	7.97 0.31
<i>Zannichellia palustris</i> (3)	9.87 12.05	1.73 1.11	2.15 2.34	56.08 57.72	580.00 669.10	310.00 155.88	6.40 1.91	7.48 0.48

Tabla 3.-Valores medios de los parámetros químicos para las distintas especies de macrofitos. Se indica la desviación típica y el número de estaciones en las que fueron encontradas.

Table 3.-Mean values of chemical parameters for macrophyte species. Standard deviation and the sample numbers are indicated.

por encima de los normales en las aguas dulces (Hutchinson, 1957; Margalef, 1974), particularmente destaca su contenido en cloro y sodio, iones mayoritarios en las aguas del mar. Las aguas de este grupo vienen caracterizadas por unos valores altos de la relación N:P, los máximos en promedio de toda la albufera (tabla 2), fundamentalmente por la existencia de una importante concentración de compuestos de nitrógeno procedentes del lavado de los suelos abonados inmediatos a esta zona, unido a unos valores relativamente bajos de fósforo, si bien no limitantes para el desarrollo del fitoplancton como se deduce de la cantidad de clorofila *a* determinada (tabla 2).

El grupo segundo puede ser considerado como el más característico de la zona interna de la albufera, en el mismo quedan reunidas el mayor número de estaciones muestreadas, ampliamente distribuidas dentro del conjunto de la albufera (figura 1). Esta dispersión queda claramente manifiesta en el rango de variación de todos los parámetros analizados (tablas 1 y 2). Las características químicas más relacionadas con la mineralización de las aguas permiten situar este grupo como puente entre el anterior y el siguiente. Los valores promedio de los nutrientes y la clorofila se hallan muy influenciados por valores extremos muy singulares correspondientes a puntos limítrofes del ecosistema, especialmente aportes de torrentes, con una marcada influencia antropogénica.

El grupo tercero viene caracterizado por un notable incremento en las características relacionadas con la mineralización, apreciándose ya una considerable influencia de las aguas marinas, que igualmente se manifiesta en los valores de nutrientes y en la relación N:P. Las aguas de estos tres primeros grupos presentan las particularidades propias de la mezcla de agua dulce con la marina, se trata por tanto de aguas salobres con un contenido de cloruros que abarca un amplio rango de variación, desde aguas oligohalinas hasta polihalinas, y cuyas relaciones iónicas se sitúan dentro de los márgenes señalados para dichos tipos extremos de agua (Margalef, 1974, 1983).

En el grupo cuarto es perceptible un importante incremento de los diferentes iones y también de la conductividad, este último parámetro juntamente con la salinidad estimada a partir del contenido de cloruros parecen indicar una cierta similitud con el agua del mar; sin embargo, las concentraciones por exceso de algunos iones, como el calcio y particularmente el sodio y el potasio, determinan unas relaciones iónicas bastante alejadas de las consideradas normales para el agua marina (Baudin, 1980). Posiblemente, tanto por su ubicación como por las características del momento en que se realizó el muestreo —nula circulación, bajo nivel del agua e intensa evaporación—, las estaciones de este grupo cuarto tenderían a comportarse

más como aguas de tipo atalasoalino que como propiamente salobres.

### Macrófitos acuáticos

El resultado de la aplicación del índice de similitud fue la discriminación de tres agrupaciones entre las distintas especies de macrófitos presentes en las estaciones muestreadas. Las especies utilizadas y los valores medios de los parámetros químicos, para las estaciones en las que fueron halladas, se recogen en la tabla 3.

La primera agrupación incluye *Riciella fluitans*, *Callitriche stagnalis*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum* y *Zannichellia palustris*, se trata de formas habitualmente halladas en aguas de tipo  $\beta$ -oligoalino (Ferrer & Comin, 1979; Margalef Mir, 1981; Van Vierssen, 1982). Estas especies, junto con otras limitadas a una Única zona de muestreo como son *Nitellopsis obtusa*, *Rhynchostrigium riparioides*, *Octodicerus fontanum*, *Ceratophyllum submersum* y la rodoficea *Hildebrandia rivularis*, tienen una distribución que abarca el grupo primero de estaciones (figura 1 y tablas 1, 2 y 3).

La siguiente agrupación la forman *Chara vulgaris*, *Chara connivens*, *Najas marina* y *Potamogeton pectinatus*, su distribución se adapta mayoritariamente a las aguas reunidas en el grupo segundo. Son especies propias de aguas muy mineralizadas con valores altos del pH y de la alcalinidad (Hutchinson, 1975; Margalef, 1983); algunas como es el caso de *Potamogeton pectinatus* han sido particularmente estudiadas (Kadono, 1982b), relacionándose su éxito en la colonización de los ambientes fuertemente alcalinos con su capacidad de utilizar carbono inorgánico a partir del bicarbonato.

Finalmente, la tercera agrupación está compuesta por *Ruppia maritima* y *Chaetomorpha linum*, como especies características, y *Lamprothamnium papulosum* y *Ruppia cirrhosa* como especies acompañantes. Su distribución abarca las aguas que corresponden a los grupos tercero y cuarto. La presencia conjunta de *Chaetomorpha linum* y *Ruppia* en lagunas costeras ha sido puesta de manifiesto por diversos autores (Van Den Hoek, 1960; Verhoeven & Van Vierssen, 1978b); por su parte Margalef Mir (1981) encuentra *Ruppia maritima* y *R. cirrhosa* en las aguas más ricas en cloruros, hasta 1000 mmol/l, y con alcalinidades comprendidas entre 2 y 4 meq/l.

### BIBLIOGRAFIA

Baudin, J. P. 1980. Contribution a l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens. *Vie et Milieu*, 30 (2): 121-129.

- Centro Meteorológico zonal. 1983.** Resumen climatológico anual. *Boletín Climatológico mensual*, Supl. Palma de Mallorca.
- Felzines, P. C. J. 1977.** Analyse des relations entre la minéralisation des eaux douces stagnantes et la distribution des végétaux qui les peuplent. Etude sur les étangs en Bourbonnais, Nirvenais, Morvan, Puisaye. *Ann. Sci. Nat. Botanique* (12.<sup>a</sup> série), 18: 221–250.
- Ferrer, X & F. A. Comín. 1979.** Distribució dels macròfits submergits del delta de l'Ebre. *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 44 (Se. Bot., 3): 11 1–1 17.
- Fuster, J. (Dir.). 1973.** *Estudio de los recursos hidráulicos totales de Baleares*. Tomo I y II. Ministerio Obras Públicas, Ministerio Industria, Ministerio Agricultura. Madrid. 222 + 244 pp.
- Golterman, H. L. & R. S. Clymo. 1969.** *Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters*. IBP Handbook n.º 8. Blackwell. Oxford. 172 pp.
- Hutchinson, G.E. 1957.** *A Treatise on Limnology*. Vol. I. John Wiley & Sons. New York. 1.015 pp.
- Hutchinson, G. E. 1975.** *A Treatise on Limnology*. Vol. III. John Wiley & Sons. New York. 660 pp.
- Iversen, J. & S. Olsen. 1943.** Die Verbreitung der Wasserpflanzen in Relation zur Chemie der Wassens. *Bot. Tidsskr.*, 46: 136–145.
- Jaccard, P. 1902.** Lois de distribution florale dans la zone alpine. *Bull. Soc. Vaud. Sci. nat.*, 38.
- Kadono, Y. 1982a.** Occurrence of macrophytes in relation to pH, alkalinity, Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup> and conductivity. *Jap. J. Ecol.*, 32: 39–44.
- Kadono, Y. 1982b.** Distribution and Habitat of Japanese *Potamogeton*. *Bot. Mag. Tokyo*, 95: 63–76.
- Margalef, R. 1974.** *Ecología*. Omega. Barcelona. 951 pp.
- Margalef, R. 1983.** *Limnología*. Omega. Barcelona. 1.010 pp.
- Margalef Mir, R. 1981.** Distribución de los macrófitos de las aguas dulces y salobres del E y NE de España y dependencia de la composición química del medio. *Fundación Juan March, Serie Universitaria*, n.º 157. 61 pp.
- Muntaner, A. 1980.** Geología. En: Barceló, B. y J. Mayol (Coords.). *Estudio Ecológico de la Albufera de Mallorca*. Dpto. de Geografía. Univ. Palma de Mallorca. pp. 25–46.
- Sculthorpe, M.A. 1967.** *The Biology of Aquatic Vascular Plants*. Edward Arnold. London. 609 pp.
- Strickland, J. & T. R. Parsons. 1972.** A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167. 311 pp.
- Talling, J. F. & D. Driver. 1963.** Some problems in the estimation of chlorophyll-a in phytoplankton. «*Proc. Conf. Primary Productivity Measurements, Marine and Freshwater*». Hawaii, 1961. *U.S. Atomic Energy Comm. TZD-76*, 33: 142–146.
- Technicon Autoanalyzer II. 1972.** Nitrate and nitrite in water and seawater. Industrial Method N.º 158–71W/Preliminary. Technicon Instruments Corporation. Tarrytown.
- Technicon Autoanalyzer II. 1973a.** Orthophosphate in water and seawater. Industrial Method N.º 155–71W/Tentative. Technicon Instruments Corporation. Tarrytown.
- Technicon Autoanalyzer II. 1973b.** Nitrite in water and seawater. Industrial Method N.º 161–71W/Tentative. Technicon Instruments Corporation. Tarrytown.
- Van Den Hoek, C. 1960.** Groupements d'algues des étangs saumâtres méditerranéens de la côte française. *Vie et Milieu*, 11(3): 390–412.
- Verhoeven, J. T. A. & W. van Vierssen. 1978a.** Structure of macrophyte dominated communities in two brackish lagoons on the Island of Corsica, France. *Aquat. Bot.*, 5: 77–86.
- Verhoeven, J. T. A. & W. van Vierssen. 1978b.** Distribution and Structure of Communities Dominated by *Ruppia*, *Zoostera* and *Potamogeton* Species in the Inland Waters of «De Bol», Texel, The Netherlands. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 6: 417–428.
- Van Vierssen, W. 1982.** The ecology of communities dominated by *Zannichellia* taxa in western Europe. II.– Distribution, synecology and productivity aspects in relation to environmental factors. *Aquat. Bot.*, 13: 385–483.