

# VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS POBLACIONES DE ROTÍFEROS DE LA LAGUNA MEROMÍCTICA ESTANY DE CULLERA (VALENCIA)

Rafael Oltra<sup>1</sup> y Maria Rosa Miracle<sup>2</sup>

Departament de Microbiologia i Ecologia, Facultat de Ciències Biològiques, Universitat de València, Dr.

Moliner 50, 46 100 Burjassot (València). <sup>1</sup>rafael.oltra@uv.es. <sup>2</sup>rosa.miracle@uv.es

## RESUMEN

Se ha estudiado la fluctuación estacional y la distribución vertical de las poblaciones de rotíferos del Estany de Cullera, en tres estaciones en los extremos y centro de esta laguna alargada perpendicular a la costa. En la época del estudio era una laguna costera meromictica con una cuña de agua salada en las capas del fondo. En el perfil vertical se originaba una haloclina y por debajo de ella una quimioclina que separaba el mixolimnion del monimolimnion anóxico. Se han reconocido 52 *taxa* de rotíferos. Las mayores densidades se han dado a principios de otoño, alcanzándose valores medios en la columna de agua de  $760 \cdot 10^3$  ind/m<sup>3</sup>, y las menores a finales de otoño y en invierno, con valores de  $13 \cdot 10^3$  ind/m<sup>3</sup>. La biomasa de rotíferos, también máxima en otoño, alcanzó valores de 340 mg/m<sup>3</sup> en peso fresco. La mayor influencia marina en el semestre frío y las variaciones que ocasionaba en la posición de la haloclina, que se aproximaba a la superficie en esa época, condicionaban la distribución espacio-temporal de las especies zooplanctónicas. En otoño, ya bajo la influencia marina, se situaban sobre la haloclina las especies eurihalinas *Brachionus plicatilis* y *Hexarthra oxyuris-H.fennica*. *Synchaeta tremula* se encontraba entre la haloclina y la superficie, y en las aguas más superficiales estaban *Notholca salina* y *Notholca murina*. En invierno aparecía la especie marina *Synchaeta grimpei*. En primavera le sucedía la especie congénérica *S. oblonga*, que se situaba sobre la haloclina. En verano, con predominio de la influencia continental, las especies dulceacuicolas del género *Brachionus*, *B. calyciflorus*, *B. urceolaris* y *B. angularis*, y *Asplanchna brightwelli* ocupaban las aguas superficiales. *Polyarthra* spp. y *Hexarthra oxyuris* presentaban máximos profundos en la haloclina, que coincidía con la oxiclina en esa época.

Palabras clave: salinidad, haloclina, quimioclina, ciclo anual, perfil vertical, densidad, biomasa.

## ABSTRACT

The seasonal variation and vertical distribution of the rotifer populations of the Estany of Cullera were studied in three points along its main axis. At the time of the study the lagoon was meromictic with a seawater wedge in bottom layers. A halocline prevailed in the vertical profile, below which it was a chemocline which separated the mixolimnion from the anoxic monimolimnion. 52 taxa of rotifers were identified. The greatest densities occurred at the beginning of Autumn, with average values in the water column of  $760 \cdot 10^3$  ind/m<sup>3</sup>. The lowest population numbers appeared at the end of Autumn and Winter; with values of  $13 \cdot 10^3$  ind/m<sup>3</sup>. The maximum biomass (340 mg/m<sup>3</sup> in fresh weight) also occurred in Autumn. The greatest marine influence occurred during the cold season and caused variations in the position of the halocline, which was located close to the surface during that period. This conditioned the space-time distribution of the zooplanktonic species. With marine influence, in Autumn, the eurihaline species *Brachionus plicatilis* and *Hexarthra oxyuris-Hexarthra fennica* were found just above the halocline. *Synchaeta tremula* was found between the halocline and the surface, and *Notholca salina* and *N. murina* in the top layers. The marine species *Synchaeta grimpei* appeared in Winter. In Spring this species was substituted by the congeneric species *Synchaeta oblonga*, which was located just on the halocline. In Summer; when the continental influence was predominant the freshwater species *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus urceolaris*, *Brachionus angularis* and *Asplanchna brightwelli* occupied the top waters, where is *Polyarthra* spp. and *Hexarthra oxyuris* showed deep maxima just above the halocline, which during that period coincided with the oxicle depth.

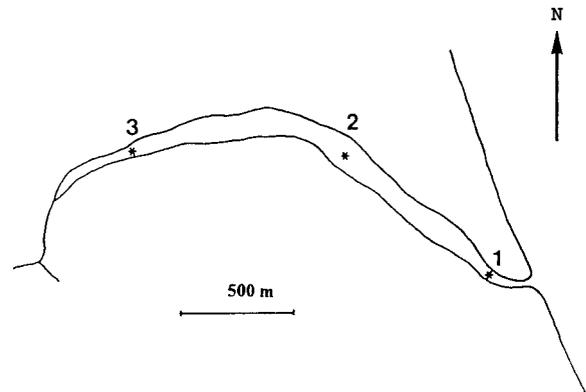
Key words: salinity, halocline, chemocline, annual cycle, vertical distribution, rotifer density, rotifer biomass.

## INTRODUCCIÓN

El Estany de Cullera, situado a 35 km al sur de Valencia, era uno de los escasos ejemplos de meromixis ectogenica existentes en la costa mediterránea española, junto con el Estany de Pals y la laguna de la Massona en Girona (Lopez, 1983; Riera & Abellá, 1991) y el Estany del Cibollar en Mallorca (Moyá *et al.*, 1987). La meromixis se debía a la entrada periódica de agua de mar, la cual ocupaba las zonas más profundas sin mezclarse con el agua oligohalina superficial de origen continental. Entre ambas capas de agua se establecía una abrupta haloclina en la que la salinidad pasaba de 2 a 20 ‰. La falta de mezcla vertical originaba una quimioclina o interfase  $O_2/H_2S$  entre el mixolimnion y el monimolimnion anóxico y posibilitaba el establecimiento de una densa capa de bacterias fotosintéticas del azufre (Miracle & Vicente, 1985). Esta situación se vió completamente alterada al final de los años ochenta, debido a sucesivas inundaciones y a obras de ampliación del canal que comunicaba la laguna con el mar y que hicieron que quedara desde entonces convertida en un estuario marino.

Sin embargo, fruto de una investigación limnológica llevada a cabo en 1980-1981, se recogieron datos sobre la dinámica de las especies del zooplankton cuando todavía era una laguna meromictica. En un estudio preliminar (Miracle & Vicente, 1983) se vió que en ésta y otras lagunas meromicticas o con una notable estratificación de sus aguas, las poblaciones de rotíferos mostraban una marcada distribución vertical determinada por los acusados gradientes físicos y químicos en la columna de agua. El objetivo del presente estudio es describir la dinámica de las poblaciones de rotíferos de esta laguna durante un ciclo anual y tres periodos de estratificación estival, con especial atención a su relación con los cambios de salinidad y temperatura. Este estudio además de corroborar la existencia de concentraciones masivas de rotíferos en determinadas capas, analiza su sucesión estacional y distribución horizontal, permitiendo ilustrar las posibles relaciones de los rotíferos planctónicos

con un ambiente heterogeneo y fluctuante, que favorece la coexistencia de un gran número de especies. Es el primero de una serie de tres trabajos en los que se aborda la composición y estructura de la comunidad zooplanctonica del Estany de Cullera (véase Oltra & Miracle 2000 a y b, en este volumen) y constituye, junto con los mencionados trabajos, uno de los escasos testimonios existentes sobre el zooplankton de aquella laguna, antes de que fuera transformada en un estuario.



**Figura 1.** Esquema del Estany de Cullera, con indicación de las estaciones de muestreo (1, 2, 3). *Outline of the Estany Cullera lagoon with the location of the sampling stations (1, 2, 3).*

## MATERIAL Y MÉTODOS

El Estany de Cullera tenía, en la época del estudio, una longitud aproximada de 2300 m y una anchura máxima de 150 m. Se encuentra dispuesto perpendicularmente a la costa y en su forma original desembocaba en el mar a través de un estrecho canal de aproximadamente 2 m de anchura y 0.5 m de profundidad, que cruzaba una barra arenosa (Fig. 1). La profundidad máxima era de 7.5 m en la parte central. La laguna recibía aportes de agua continental a través de acequias de riego y de surgencias y también aportes de agua marina a través de la desembocadura. En los meses fríos del año predominaba la influencia marina, de forma que la haloclina ascendía

aproximándose a la superficie en determinados momentos del ciclo, especialmente a finales de octubre y luego en los meses invernales, intercalándose breves periodos en los que la haloclina podía volver a descender, por disminución de la presión marina o por efecto de las precipitaciones continentales. La entrada de agua de mar provocaba la remoción parcial del agua de las capas profundas y la disminución de las condiciones reductoras, llegando a reoxigenarse las zonas del fondo, excepto las capas más profundas de la cubeta central, que constituían un monimolimnion anóxico. En los meses estivales predominaba la influencia continental y la estratificación. La no entrada de agua de mar y el lavado ejercido por el agua oligohalina superficial, proveniente de los excedentes de regadío, relegaba el agua marina a las zonas más profundas. Las condiciones reductoras se acentuaban a finales de la estación cálida debido a la falta de mezcla vertical, acumulándose compuestos reducidos ( $H_2S$ ,  $NH_4^+$ ) en el monimolimnion. Más información sobre las características de la laguna se puede encontrar en (Oltra, 1993) y específicamente sobre la producción primaria y la distribución del fitoplancton durante el mismo periodo de estudio en Miracle & Vicente (1985), Rojo & Miracle (1984, 1989) y Rojo *et al.* (1986).

El periodo de estudio comprendió desde agosto de 1980 hasta octubre de 1982. Se realizaron 12 muestreos en los que se tomaron 162 muestras en las tres estaciones mencionadas, a intervalos de 0.5, 1 y 2 m en el perfil vertical, en función de la situación de la haloclina y la oxiclina. El estudio del zooplancton se encontraba enmarcado en un proyecto de investigación limnológica más amplio. Las muestras para el estudio del zooplancton fueron recogidas con una doble botella Van Dorn de 8 l de capacidad o con una botella Ruttner de 2.6 l de capacidad. Las muestras fueron concentradas filtrando 7.8, 8 o 10.4 l. *in situ* con mallas nylal de 45  $\mu m$  y fijadas con formol al 4 %. Las especies zooplanctónicas fueron identificadas y recontadas con la ayuda de microscopios invertidos a 100 y 200 aumentos (Miracle, 1974). Para su identificación se utilizaron las monografías de Ruttner-Kolisko (1974) y Koste (1978).

El número de individuos por  $m^2$  de una especie dada ( $T_i$ ) en la columna de agua se ha calculado mediante la integración:

$$T_i = \sum_{k=1}^n (z_{k+1} - z_{k-1})/2$$

en la que  $z_k$  son las profundidades (en m) a las que se han tomado las muestras, y  $x_{ik}$  el número de individuos por  $m^3$  de la especie  $i$  a la profundidad  $z_k$  (Miracle, 1974). Se ha considerado que una profundidad de 4.5 m en la estación 1, 6 m en la estación 2 y 3.5 m en la estación 3, para obtener el número medio de individuos por  $m^3$  en cada estación, variable que posibilita una mejor comparación entre estaciones aunque se subestima la abundancia en el mixolimnion de la estación 2. Se ha calculado la biomasa de los rotíferos -en peso fresco- a partir de su biovolumen y considerando que su densidad es 1. Para el cálculo del biovolumen se ha recurrido a las expresiones de Ruttner-Kolisko (1977).

## RESULTADOS

El plancton de la laguna está determinado por las fluctuaciones estacionales ya comentadas de la haloclina y la oxiclina, representadas en la figura 2. Esta figura ilustra las variaciones de salinidad durante el periodo de estudio en tres puntos de muestreo (corresponden a los puntos 1, 2 y 3 de la figura 1): punto 1, cerca de la desembocadura, con 4.5 m de profundidad; punto 2, en la cubeta central, con 7.5 m de profundidad; punto 3, cerca del extremo interior de la laguna, con 3.5 m de profundidad. La oxiclina viene delimitada como la parte superior de la zona sombreada anóxica en esta figura. Se aprecia como a finales de octubre y tras un periodo de estratificación a finales de otoño, en los meses invernales y hasta mediados de primavera, la haloclina ascendía hasta aproximarse a 1 m de la superficie. En este periodo se producía una mezcla vertical de las aguas reoxigenándose el fondo, permaneciendo anóxica solo la cubeta central, punto 2, estableciéndose la oxiclina a unos 4.5 m de profundidad. Luego durante el verano la haloclina descendía hasta situarse a

**Tabla 1.** Rotíferos hallados en el Estany de Cullera, comenzando con las especies planctónicas y siguiendo con las ticooplanctónicas. Se indica la estación del año y punto de muestreo en que han aparecido y donde han alcanzado mayor abundancia (subrayados), su densidad media cuando estaban presentes y rango de temperatura y conductividad en los momentos de mayor densidad o durante su periodo de aparición, en el caso de las especies poco frecuentes señaladas con \*. (P, primavera; V, verano; O, otoño; I, invierno; Prn, perenne). *Rotifers found in the Estany de Cullera lagoon, starting with the planktonic species and continuing with the tycho planktonic ones. The following is indicated: The season of the year and sampling point where the species occurred and where they reached with occurrence and peak abundance (underlined), mean density when present, temperature and conductivity range at peak abundance or during the period of occurrence, in the case of minor species (\*). (Sp, Spring; S, Summer; A, Autumn, W, Winter: Prn, perennial).*

Especies	Ocurrencia (%)	Estación del año	Punto de muestreo	Densidad (ind/l)	Temp. (°C)	Cond. (mS/cm)
<i>Brachionus plicatilis</i>	50.0	P, V, <u>O</u>	1, 2, <u>3</u>	64.4	21	9
<i>Brachionus urceolaris</i>	45.0	P, V, <u>O</u>	1, <u>2</u> , 3	1.6	21	9
<i>Brachionus calyciflorus</i>	41.3	P, <u>V</u> , O	1, 2, 3	48.6	30	2
<i>Brachionus quadridentatus</i>	37.0	<u>P</u> , <u>V</u> , O	1, <u>2</u> , 3	0.6	20	2
<i>Brachionus angularis</i>	6.1	P, <u>V</u>	2	23.1	25	1.6
<i>Brachionus leydigi</i> *	2.4	I	1, 2	0.2	15	3-12
<i>Keratella cochlearis</i>	16.0	<u>P</u> , V, O	1, 2, 3	0.4	22	1.7
<i>Keratella tropica</i>	16.0	<u>V</u>	1, <u>2</u> , 3	0.6	30	2
<i>Keratella quadrata</i> *	12.9	Prn	1, 2, 3	0.3	8-26	1-11
<i>Notholca marina</i>	29.6	<u>O</u> , I, P	<u>1</u> , 2, 3	0.9	8	2
<i>Notholca salina</i>	20.3	<u>O</u> , I	1, 2, <u>3</u>	10.1	10	1-11
<i>Trichocerca elongata</i>	19.1	P, <u>V</u> , O	1, 2, <u>3</u>	0.6	26	1.1
<i>Trichocerca pusilla</i>	2.4	<u>P</u>	1, 2, <u>3</u>	0.6	22	1.7
<i>Asplanchna brightwelli</i>	10.4	<u>V</u>	1, 2, 3	21.8	30	2
<i>Synchaeta tremula</i>	45.0	Prn ( <u>O</u> )	1, 2, 3	42.6	20-23	12-29
<i>Synchaeta oblonga</i>	21.6	O, I, <u>P</u>	1, 2, 3	15.4	18	22
<i>Synchaeta grimpei</i>	9.8	I	1, 2, 3	45.2	13	42
<i>Synchaeta pectinata</i>	4.3	<u>P</u>	1, 2, <u>3</u>	1.5	17	31
<i>Polyarthra vulgaris</i>	42.5	P, <u>V</u> , O	1, <u>2</u> , 3	10.7	25	1.6-24
<i>P. dolichoptera</i>						
<i>Filinia terminalis</i> *	2.4	O, I, P	2	0.1	14-18	10-48
<i>Hexarthra oxyuris</i>	45.6	V, <u>O</u>	1, 2, 3	88.0	22-23	2-26
<i>H. fennica</i>						
<i>Euchlanis dilatata</i>	35.1	Prn ( <u>P</u> )	1, 2, 3	0.6	22	1.7
<i>Tripleuchlanis plicata</i> *	3.7	<u>V</u>	1, 2, 3	0.3	26	1.1
<i>Platyas quadricornis</i> *	5.5	V	1, 2, 3	0.2	26	1.1
<i>Mytilina ventralis</i>	14.1	P, <u>V</u> , O	1, 2, 3	0.3	24	1.3-2
<i>Lophocharis salpina</i>	16.6	<u>O</u> , I, P	1, 2, 3	1.4	10	1.3-11
<i>Trichotria tetractis</i>	9.8	P, <u>V</u> , O	1, 2, 3	0.3	26	1.2
<i>Colurella adriatica</i>	17.2	V, <u>O</u> , I	1, 2, 3	0.2	8-26	1.1-46
<i>Colurella colurus</i> *	4.3	I, P, V	1, 2, 3	0.4	14-26	1.6-33
<i>Colurella uncinata</i> *	1.8	V	3	0.5	26	1.1
<i>Lepadella ovalis</i>	31.4	Pr ( <u>O</u> )	1, 2, 3	0.5	26	1.1
<i>Lepadella rhomboides</i>	12.9	P, <u>V</u> , O	1, 2, 3	0.4	26	1.1
<i>Lecane closterocerca</i>	35.1	Prn ( <u>V</u> )	1, 2, 3	0.6	26	1.1
<i>Lecane bulla</i>	28.3	P, <u>V</u> , O	1, 2, 3	0.5	22-26	1.1-4
<i>Lecane luna</i>	18.5	P, <u>V</u> , O	1, 2, 3	0.3	25.8	24
<i>Lecane unguata</i>	14.8	<u>P</u> , <u>O</u>	1, 2, 3	1.0	10	1.3-11
<i>Lecane hamata</i>	11.7	<u>V</u> , O	1, 2, 3	0.4	26	1.1
<i>Lecane hastata</i>	9.2	<u>V</u>	2, 3	0.3	26	1.1
<i>Lecane quadridentata</i>	8.0	P, V, O	1, 2, 3	0.2	26	1.1
<i>Lecane lunaris</i>	6.1	<u>V</u> , O, I	2, 3	0.3	30	2
<i>Lecane flexilis</i> *	5.5	V, O	1, 2, 3	0.3	23-26	1.3
<i>Lecane leontina</i> *	4.9	V	2, 3	0.5	25	1.3
<i>Lecane furcata</i> *	2.4	V	1, 2, 3	0.4	26	1.1-4
<i>Lecane crepida</i> *	1.2	V	2	0.2	25	1.6-24
<i>Cephalodella sp.</i>	25.9	Prn ( <u>V</u> )	1, 2, 3	0.4	26	1.1
<i>Monomata sp.</i> *	1.2	P, O	2	0.1	8-18	1.4-2
<i>Notomata copeus</i> *	2.4	V	2, 3	0.2	26	1.1
<i>Testudinella patina</i>	9.2	P, V, O	1, 2, 3	0.2	26	1.1
<i>Testudinella clypeata</i> *	0.6	O	1	0.2	21	9
<i>Proales sp.</i> *	0.6	O	2	0.1	8	1.7
<i>Manfredinium eudactylota</i> *	0.6	V	3	0.2	26	1.1
<i>Bdelloides</i>	44.4	Prn ( <u>V</u> )	2, 3	1.3	26	1.1

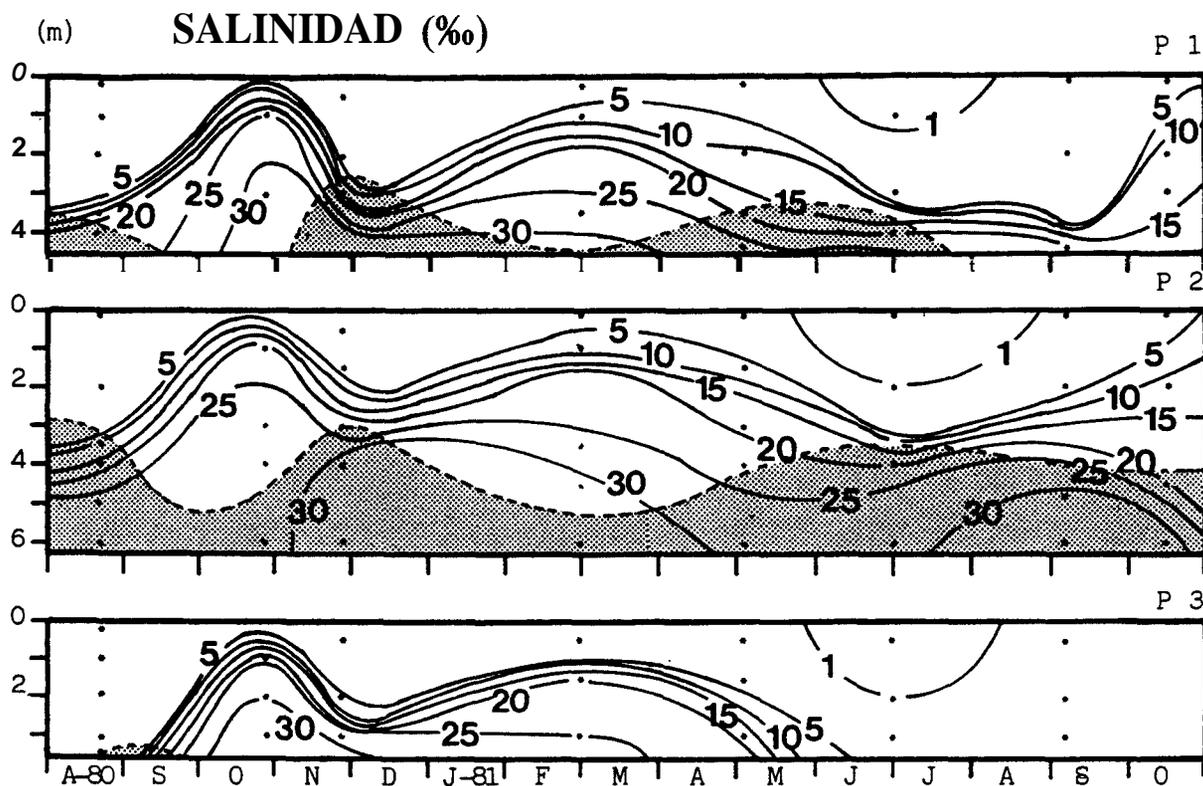


Figura 2. Distribución en el perfil vertical y en el tiempo de la salinidad. El área sombreada corresponde a las capas anóxicas. *Depth and time distribution of salinity. Shaded area corresponds to anoxic layers.*

3.5 m hasta coincidir con la oxiclina que se formaba cada vez mas arriba. En sentido horizontal la cuña de agua salada afectó mas a las estaciones 1 y 2 que a la estación 3, más alejada del mar. En esta última, la cuña de agua marina sólo penetra desde otoño hasta mediados de primavera, no detectándose condiciones anóxicas mas que cerca del sedimento y en un único muestreo, el de agosto de 1980.

En las muestras de plancton del Estany se han reconocido 52 *taxa* de rotíferos. En la Tabla 1 se enumeran estas especies incluyendo también las tico-planctónicas. Muchas de estas especies han aparecido bajo un amplio rango de temperatura y conductividad, sobre todo las que estaban presentes en el plancton durante buena parte del ciclo anual o las que se distribuían por gran parte del perfil vertical. El año 1981 fue un año de muy baja pluviosidad

en la zona, presentando en cambio el año 1982 unas precipitaciones mucho mas altas tanto en invierno-primavera como en verano-otoño.

### Especies planctónicas

En las figuras 3 a 6 se muestra la distribución espacio-temporal de las especies planctónicas mas abundantes. A continuación se comenta brevemente la distribución de la especie dominante o de aquellas que presentan alguna particularidad destacable.

- *Bmchionus plicatilis*. Apareció en el plancton en primavera y otoño, pero con un claro y delimitado pico de población en octubre, cuando comienza a adquirir importancia la intrusión marina y de forma mas abundante en la estación 3 (Fig. 3). En esta alcanzó densidades superiores a 1000 ind/l en otoño. En las estaciones 1 y 2 se

**Tabla 2.** Porcentajes de las distintas formas de *Brachionus calyciflorus* encontradas en el Estany de Cullera, en los muestreos en que la especie fue más abundante. También se indica la densidad de Cullera de *Asplanchna brightwelli* en los mismos muestreos. *Percentages of the different types of Brachionus calyciflorus found in the Estany de Cullera lagoon, in samples with abundance of this species. The density of Cullera of Asplanchna brightwelli in the same samples is also indicated.*

<i>Fecha</i>	<i>B. calyciflorus</i> (ind/l)	<i>A. brightwelli</i> (ind/l)	<i>B. calyciflorus</i> f. <i>typica</i> (%)	<i>B. calyciflorus</i> f. <i>anuraeiformis</i> (%)	<i>B. calyciflorus</i> f. <i>amphiceros</i> (%)
01/07/1981	6	0	45.4	54.6	0.0
17/10/1981	34	0	26.5	13.5	0.0
20/08/1980	200	0.1	15.4	83.0	1.6
08/09/1981	40-75	2-4	0.0	0.0	100.0
24/08/1982	40-80	1.5-5	0.0	0.0	100.0
09/07/1982	760	19	0.0	0.0	100.0

dieron densidades superiores a 400 ind/l en la misma época.

- *Brachionus calyciflorus*. Es de ocurrencia claramente estival y su densidad depende de los aios (Fig. 3), probablemente mayor cuando el flujo es menor y las condiciones son más eutróficas. Ocupaba las capas superficiales y era mucho más abundante en la estación 2 que en la 1 y en la 3, por este orden. En la última apenas sobrepasa la densidad de 1 ind/l. En la estación 2 en julio de 1982 alcanzó un máximo de 760 ind/l. Los ejemplares identificados en el Estany correspondían a las formas *B. calyciflorus* f. *typica*, *B. calyciflorus* f. *anuraeiformis* y *B. calyciflorus* f. *amphiceros* (Koste, 1978). La aparición de una u otra forma parecía estar relacionada con la presencia del rotífero depredador *Asplanchna brightwelli* (Fig. 6). Cuando coexistían ambas especies *B. calyciflorus* se presentaba bajo la forma *amphiceros*, con las espinas posterolaterales muy desarrolladas, mientras que en ausencia del depredador eran las formas *typica*, sin espinas, y *anuraeiformis*, con espinas poco desarrolladas, las que estaban presentes (Tabla 2).

- *Brachionus quadridentatus*. Los ejemplares hallados correspondían a las formas y variedades *B. quadridentatus* f. *brevispinus* y *B. quadridentatus* var. *cluniorbicularis* (Koste, 1978). No se ha apreciado que ninguna forma predominara sobre la otra en determinada estación del aío o punto de muestreo. La especie era más frecuente en las estaciones 1 y 2 y en los estratos superfi-

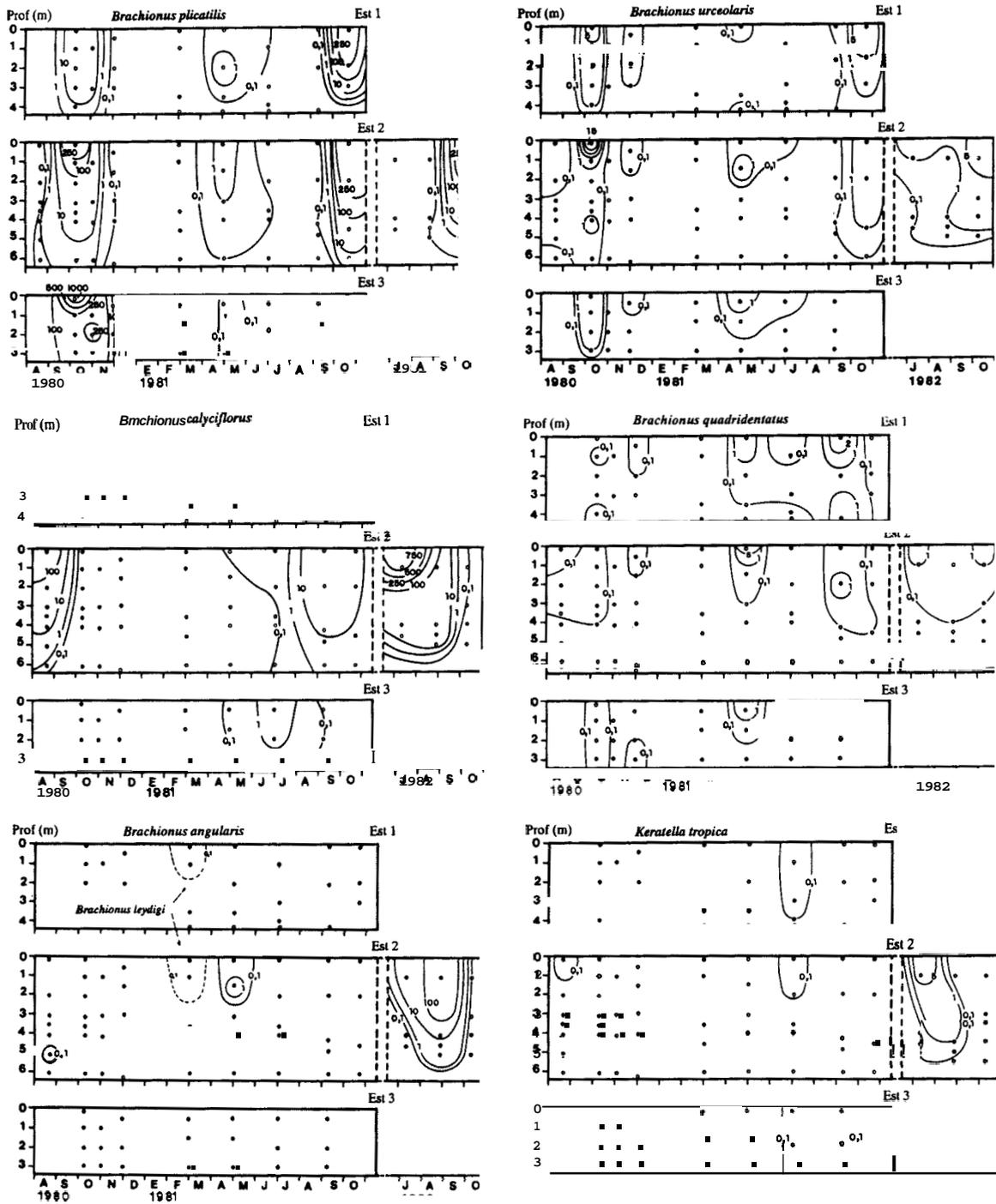
ciales. Aparecía desde la primavera a principios de otoño (Fig. 3), alcanzando una densidad máxima de 5 ind/l en mayo de 1981.

- *Brachionus angularis* solo apareció con abundancia en el aío 1982 de mayor nivel trófico.

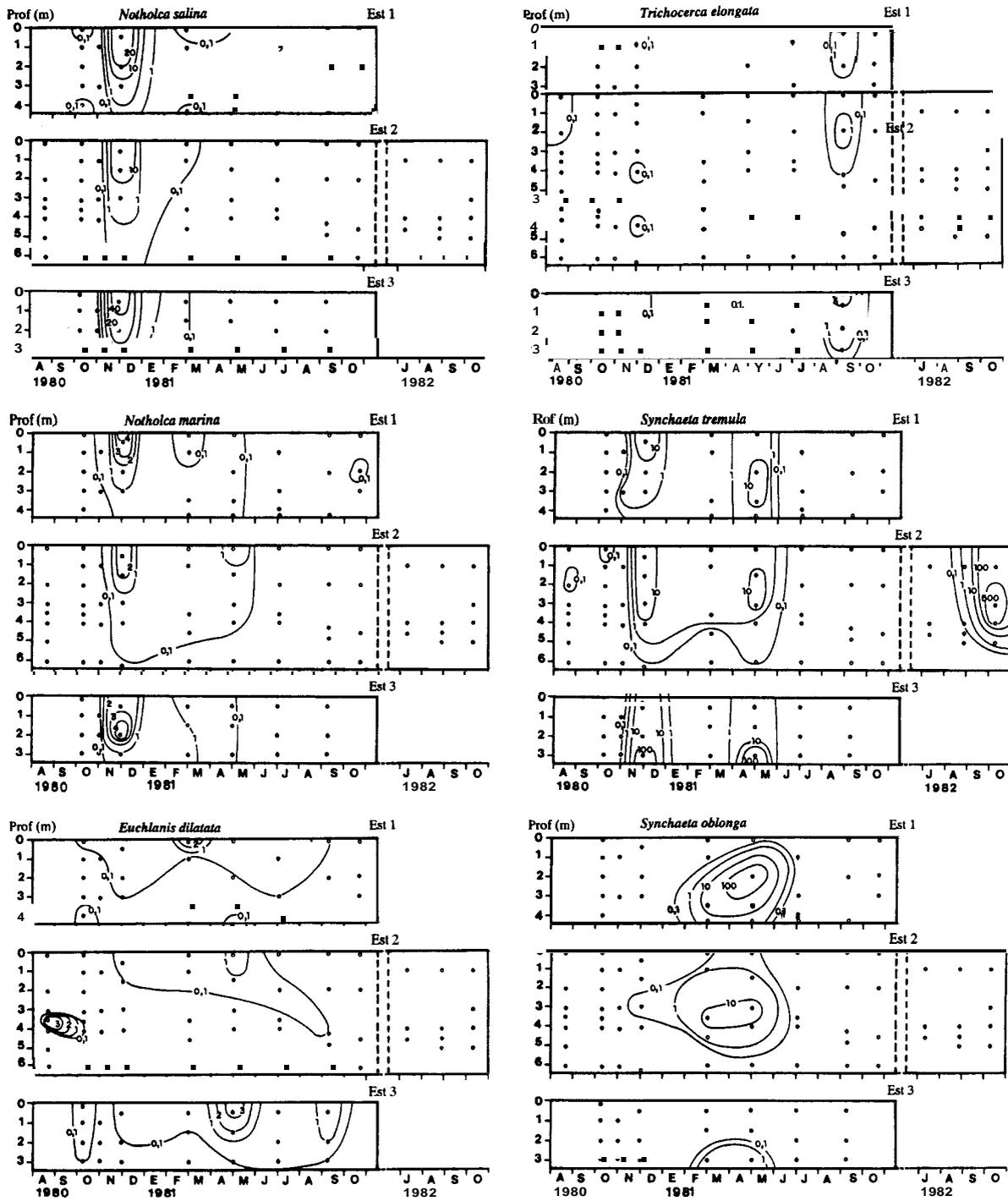
- *Synchaeta tremula* var. *kitina*. Se encontró con relativa abundancia en otoño y primavera especialmente en la estación 3 y con tendencia a situarse en capas profundas (Fig. 4). En la estación 2 presentó, en octubre de 1982, un máximo de 870 ind/l, si bien en los aios anteriores sus densidades fueron muy inferiores.

- *Synchaeta grimpei* f. *iberica*. Especie encontrada por primera vez en España en el Estany de Cullera. Puesto que la forma difería de la especie típica se enviaron varios ejemplares a Bruno Berzins, especialista en este género. En el apéndice 1 se presenta un dibujo de esta forma de Cullera y la descripción que hizo este científico que lamentablemente falleció antes de poderlo publicar. Apareció en febrero en el periodo de más influencia marina, situándose exclusivamente en la zona de la haloclina. Presentó mayor abundancia en la estación 2, en la que alcanzó densidades de 230 ind/l (Fig. 5).

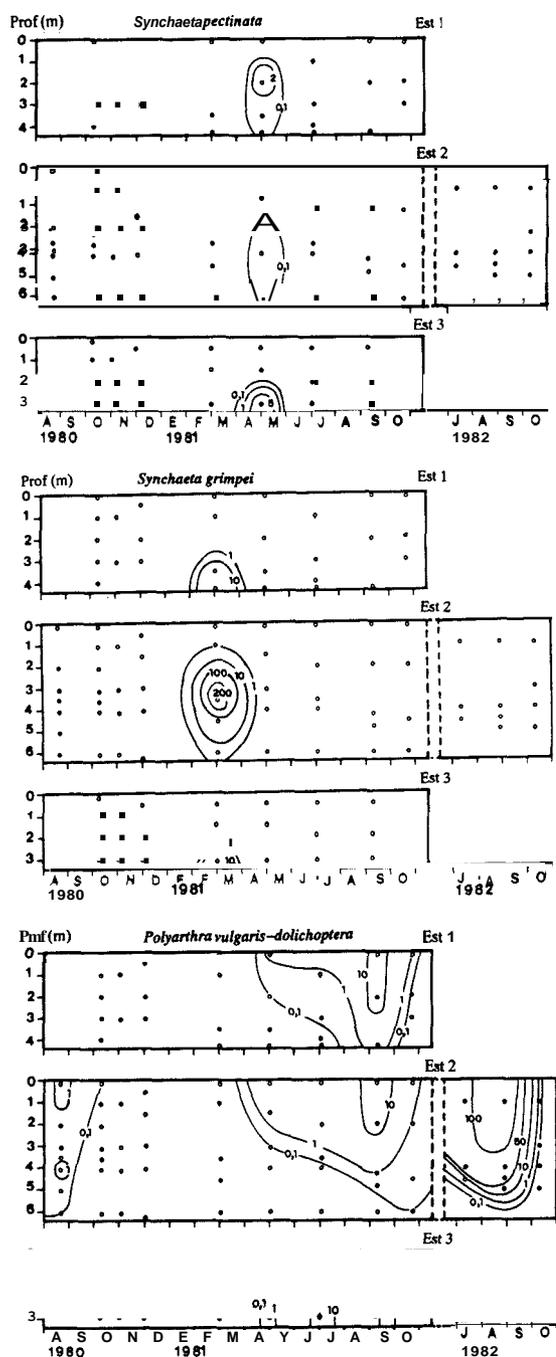
- *Polyarthra vulgaris*-*Polyarthra dolichoptera*. La mayoría de ejemplares identificados pertenecían a la especie *P. vulgaris*. Sin embargo también se reconocieron algunos ejemplares de la especie *P. dolichoptera*, sobre todo en muestras de verano de la estación 2, cerca de la interfase óxico-anóxica. La presencia de las especies de



**Figura 3.** Distribución de la densidad de población (ind/l) en función del tiempo y la profundidad en las tres estaciones de muestreo (Est.1, Est.2 y Est.3), de las especies *Brachionus plicatilis*, *B. urceolaris* (arriba), *B. calyciflorus*, *B. quadridentatus* (centro), *B. angularis*, *B. leydigi* (línea discontinua) y *Keratella tropica* (abajo). Distribution of densities (ind/l) according to time and depth of species *Brachionus plicatilis*, *B. urceolaris* (top), *B. calyciflorus*, *B. quadridentatus* (middle), *B. angularis*, *B. leydigi* (dashed line) and *Keratella tropica* (bottom) in the three sampling point (Est.1, Est.2 and Est.3)



**Figura 4.** Distribución de la densidad de población (ind/l) en función del tiempo y la profundidad, de las especies *Notholca salina*, *Trichocerca elongata* (arriba), *N. marina*, *Synchaeta tremula* (centro), *Euchlanis dilatata* y *S. oblonga* (abajo) en las estaciones de muestreo (Est.1, Est.2 y Est.3). *Distribution of densities (ind/l) according to time and depth of species Notholca salina, Trichocerca elongata (top), N. marina, Synchaeta tremula (middle) Euchlanis dilatata and S. oblonga (bottom) in the sampling points (Est.1, Est.2 y Est.3).*



**Figura 5.** Distribución de la densidad de población (ind/l) en función del tiempo y la profundidad en las tres estaciones de muestreo (Est.1, Est.2 y Est.3), de las especies *Synchaeta pectinata* (arriba), *S. grimpei* (centro) y *Polyarthra vulgaris-P. dolichoptera* (abajo). *Distribution of densities (ind/l) according to time and depth of species Synchaeta pectinata (top), S. grimpei (middle) and Polyarthra vulgaris-P. dolichoptera (bottom) in the three sampling points (Est.1, Est.2 y Est.3).*

*Polyarthra* fue fundamentalmente estival, iniciándose su aparición en el plancton a mediados de primavera con poblaciones de escasa densidad. En la estación 2, en agosto de 1982, se observaron densidades de 160 ind/l (Fig. 5).

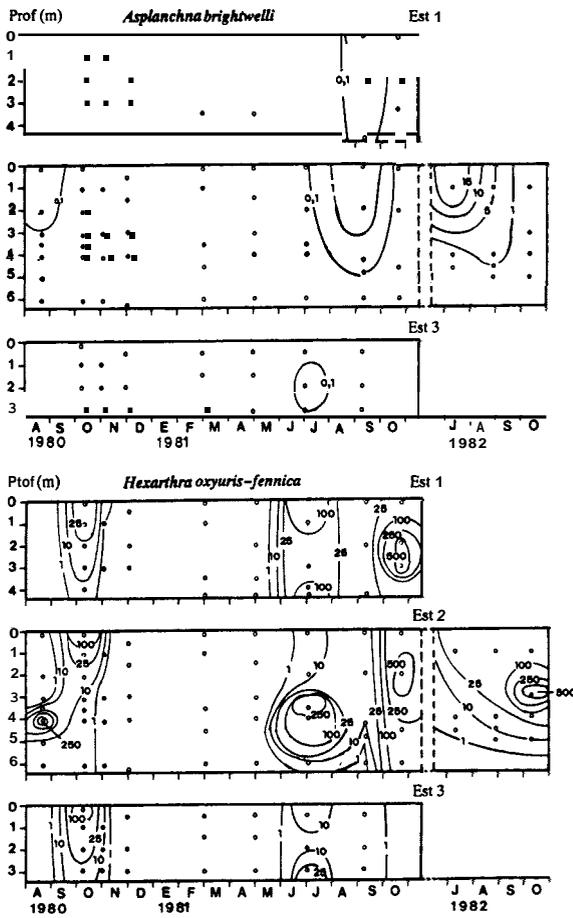
- *Hexarthra oxyuris-Hexarthra fennica*. Las especies del género *Hexarthra* eran más abundantes en verano y otoño temprano y alcanzaban mayor densidad en las estaciones 1 y 2 situándose sobre la haloclina-oxiclina en verano y extendiéndose ampliamente por el perfil vertical durante la mezcla otoñal (Fig. 6). Densidades superiores a 600 ind/l se obtuvieron en la haloclina a principios de octubre de 1982. En la mayoría de muestras la totalidad de los ejemplares reconocidos eran de la especie *H. oxyuris*. Sin embargo en los periodos de mayor abundancia se encontraba también *H. fennica*, preferentemente en las muestras cercanas a la superficie, mientras que en las próximas a la haloclina, en donde se concentraba la mayor parte de la población, la frecuencia de *H. fennica* era menor. Por ejemplo, en el máximo de octubre de 1981 en la estación 1, el 68 % de los ejemplares de la muestra de superficie (densidad de 54 ind/l) eran *H. fennica* y el resto *H. oxyuris*, mientras que en la muestra de 3 m de profundidad (densidad de 602 ind/l) *H. fennica* solo representaba el 21 % de la población.

### Rotíferos ticoplanctónicos

Las especies ticoplanctónicas constituyeron algo más de la mitad de las formas reconocidas. Sin embargo la mayor parte de ellas aparecieron en pocas muestras, generalmente menos del 10 % y en densidades casi siempre inferiores a 1 ind/l. La mayoría de estas especies (géneros *Colurella*, *Lepadella*, *Lecane*) aparecieron o fueron más abundantes en verano y preferentemente en la estación 3, más somera y menos afectada por la cuña de agua salada (Tabla 1). El género *Lecane* fue el más representado, con 12 especies, siendo *Lecane closterocerca*, *Lecane bulla* y *Lecane luna* las más frecuentes.

### Densidad y biomasa

La figura 7 muestra las variaciones de densidad y biomasa en el ciclo anual. Las mayores densi-

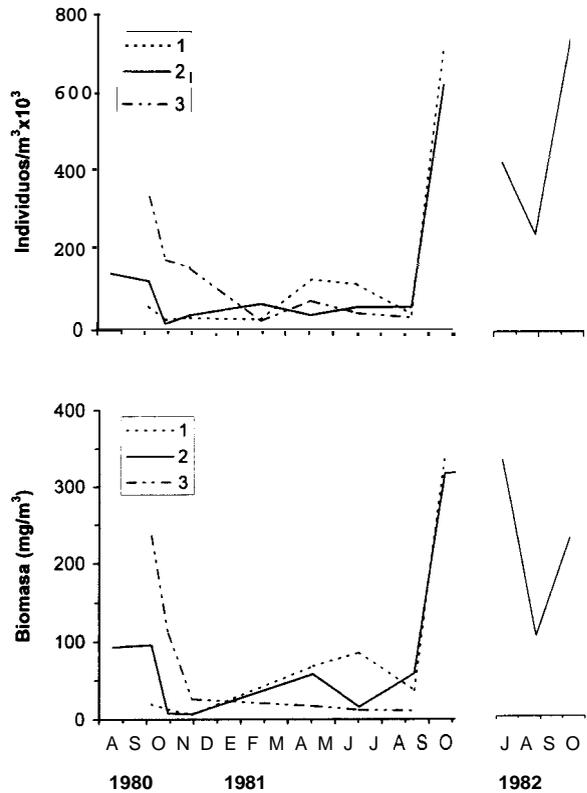


**Figura 6.** Distribución de la densidad de población (ind/l) en función del tiempo y la profundidad en las tres estaciones de muestreo (Est.1, Est.2 y Est.3), de las especies *Asplanchna brightwelli* (arriba) y *Hexarthra oxyuris-H. fennica* (abajo). *Distribution of densities (ind/l) according to time and depth of species Asplanchna brightwelli (top) and Hexarthra oxyuris-H. fennica (bottom) in the three sampling points (Est.1, Est.2 y Est.3).*

dades medias en la columna de agua se alcanzaban a principios de otoño (siendo  $760 \cdot 10^3$  ind/m<sup>3</sup> la máxima observada). Se debía sobre todo al crecimiento de las poblaciones de *B. plicatilis*, *S. tremula* y *H. oxyuris-H. fennica*. En verano del año 1982 las densidades fueron más altas que en los años anteriores debido al mayor crecimiento de las poblaciones de *B. calyciflorus* y *B. angularis* y que puede explicarse por una mayor afluencia de aguas continentales cargadas de nutrientes en este año de mayor pluviosidad. Los

menores valores se dieron a finales de otoño y en invierno, con densidades inferiores a  $50 \cdot 10^3$  ind/m<sup>3</sup>. No se aprecian diferencias importantes entre estaciones, excepto mayores densidades en la estación 3 en otoño del año 1980, cuando se realizó el muestreo en tiempos de intrusión marina y se había desestabilizado la haloclina-oxiclina de las estaciones 1 y 2, deshaciéndose las altas concentraciones de *H. fennica-H. oxyuris* en dicha zona.

Las variaciones de biomasa siguieron una fluctuación parecida en el ciclo anual. En el otoño de 1981 y verano de 1982 se alcanzaron valores de 340 mg/m<sup>3</sup> en peso fresco. Los valores relativamente mayores de biomasa de verano respecto a los correspondientes valores de densidad se



**Figura 7.** Variación a lo largo del periodo de estudio de la densidad (arriba) y biomasa (peso fresco) de los rotíferos (abajo) en las tres estaciones de muestreo (1, 2 y 3). *Variation in rotifer density (top) and biomass in fresh weight (bottom) throughout the study period in the three sampling points (1, 2 and 3).*

deben a una mayor proporción de organismos de mayor tamaño en esta época, concretamente *B. calyciflorus* y *A. brightwelli*. A finales de otoño y en invierno la biomasa fue inferior a 25 mg/m<sup>3</sup>.

### Distribución vertical y ciclo anual

La distribución espacio-temporal de los rotíferos estaba condicionada por la alternancia de las fases de influencia marina y continental y las variaciones que ocasionaban en la posición de la haloclina y oxiclina en el perfil vertical. En los periodos de influencia marina predominaban las especies eurihalinas, las cuales tendían a situarse en la haloclina. En las fases de influencia continental predominaban las especies de agua dulce, que se situaban cerca de la superficie, mientras que las eurihalinas descendían hasta la haloclina.

En la Tabla 3 se indican las correlaciones de las especies más abundantes con la temperatura y la conductividad. Las correlaciones con la conductividad dependen tanto de la época del año en que aparece la especie como de su distribución en el perfil vertical, puesto que la conductividad aumenta en el semestre frío, por una parte y con la profundidad, por otra (Fig. 2). Se aprecia que hay especies que aparecen en el periodo cálido -correlación positiva con la temperatura- y se distribuyen en la capa superficial -correlación negativa con la conductividad-, como *Brachionus calyciflorus*, *Keratella tropica*, *Asplanchna brightwelli*, *Polyarthra vulgaris-l? dolichoptera*. Otras especies del periodo cálido, como *Hexarthra oxyuris-H.fennica*, no muestran correlaciones negativas con la conductividad, porque si bien en verano ocupaban preferentemente las capas próximas a la haloclina y la parte superior de Csta, durante la mezcla vertical se extendían por la zona superficial (de la superficie a la haloclina). Entre las especies del periodo frío las hay que presentan correlaciones positivas con la conductividad, como *Synchaeta oblonga* y *S. grimpei*, porque aparecen en la haloclina, y otras como *Notholca marina* y *N. salina* que no presentan correlación significativa, porque se distribuyen superficialmente.

En síntesis, en el ciclo anual se sucedían y distribuían las especies planctónicas de la siguiente forma:

(1) En verano las especies de aguas dulces u oligohalinas *Brachionus calyciflorus*, *B. quadridentatus*, *B. urceolaris*, y *Asplanchna brightwelli* se situaban en la capa superficial. Las especies *B. angularis* y *Polyarthra vulgaris-P. dolichoptera* ocupaban las capas entre la superficie y la haloclina, mientras que las especies eurihalinas *Hexarthra oxyuris-H. fennica* se concentraban preferentemente sobre la haloclina.

(2) A principios de otoño predominaban las especies eurihalinas *Hexarthra oxyuris-H. fennica* y *B. plicatilis*, con tendencia a situarse sobre la haloclina, especialmente las primeras, que en esta época era muy superficiales.

(3) A finales de otoño (año 1980) se dió un breve periodo de estabilidad transitoria y se empobreció el plancton. Las especies *Notholca salina* y *N. marina* se encontraban en las capas superficiales, mientras la especie *S. tremula kiti-na* ocupaba preferentemente las aguas de la parte superior de la haloclina.

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ), tras la corrección de Bonferroni (Rice, 1988), entre las especies de rotíferos más abundantes y las variables limnológicas que se indican. Con un asterisco se señalan los coeficientes altamente significativos ( $p < 0.01$ ). *Statistically significant correlation coefficients ( $p < 0.05$ ), after Bonferroni correction (Rice, 1988), between abundance of the main rotifer spp and limnological parameters. Highly significant coefficients are indicated by an asterisk ( $p < 0.01$ ).*

	Temp.	Cond.
<i>Brachionus plicatilis</i>		0.31*
<i>Brachionus quadridentatus</i>		-0.44"
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.58"	-0.34"
<i>Keratella tropica</i>	0.47"	-0.35"
<i>Notholca marina</i>	-0.61"	
<i>Notholca salina</i>	-0.59"	
<i>Euchlanis dilatata</i>		-0.47"
<i>Trichocerca elongata</i>		-0.58"
<i>Asplanchna brightwelli</i>	0.26	-0.28
<i>Synchaeta tremula</i>	-0.46"	
<i>Synchaeta oblonga</i>	-0.29*	0.28
<i>Synchaeta grimpei</i>	-0.29"	0.27
<i>Polyarthra spp.</i>	0.45"	-0.48"
<i>Hexarthra spp.</i>	0.51*	

(4) En invierno la especie principal y practicamente la unica abundante era *Synchaeta grimpei* que se situaba en profundidad, en las capas saladas comprendidas entre la haloclina y la oxiclina. Las demás especies se encontraban en numeros muy reducidos y eran fundamentalmente las citadas anteriormente como características de finales de otoiio, con la incipiente entrada de *S. oblonga* y la aparicion exclusiva en esta época de *Brachionus leydigi*.

(5) A mediados de primavera empezaba a remitir la influencia marina y descendía nuevamente la haloclina, aproximandose a la oxiclina. Dominaban entonces las especies *S. oblonga* y *S. tremula*, las cuales tendian a situarse sobre la haloclina. Más superficiales y con escasa importancia empezaron a aparecer varias especies de *Brachionus*.

## DISCUSIÓN

El elevado numero de *taxa* reconocidos, 52, superior al de otras lagunas litorales -17 p.e., en la Albufera de Valencia (Oltra & Miracle, 1992)-podria estar relacionado con la variabilidad espacio-temporal de las condiciones limnológicas de la laguna, en buena medida causadas por la entrada periódica de agua de mar.

En general las especies halladas son consideradas comunes, de distribución cosmopolita, eurioicas y frecuentes en aguas salobres (Ruttner-Kolisko, 1974; Koste, 1978). Muchas de ellas han sido encontradas en otras lagunas litorales de la costa mediterranea espaiiola y suratlantica (Guisande & Toja, 1988; Menéndez & Comin, 1986; Carrillo *et al.*, 1987; Miracle *et al.*, 1988, 1995; Pretus, 1989; Alfonso & Miracle, 1990; De Manuel *et al.*, 1992; Oltra & Miracle, 1992; Mazuelos *et al.*, 1993). Merece destacarse la presencia de (1) *Synchaeta grimpei*, especie marina apenas citada en lagunas litorales europeas y que presentaba en el estanque de Cullera una forma (f. *iberica*) distinta a la descrita como típica, (2) *Notholca marina*, al igual que la anterior, encontrada por primera vez en Espaiia en el Estany de Cullera (Miracle & Vicente, 1983; Oltra, 1993) y

(3) *Manfredinium eudactylota*, igualmente poco frecuente. Se ha constatado una vez mas el polimorfismo de la especie *Brachionus calyciflorus* en funcion de la presencia del depredador *Asplanchna brightwelli* (Gilbert, 1980).

En el perfil vertical, los rotiferos ocupaban las aguas mixolimnéticas, cuyo espesor variaba entre 3.5 m en los meses calidos y 4.5 m en los meses frios. En estos ultimos el mixolimnion quedaba subdividido por la haloclina, que ascendia hasta situarse a 1 m de la superficie. Se originaba por tanto un gradiente de salinidad en el perfil vertical, que estaba presente todo el ciclo anual y que condicionaba la distribución de las especies. Las especies propias de aguas dulces ocupaban la capa más superficial y aparecian predominantemente en la estación cálida dominada por la estratificacion. Las especies eurihalinas se iban sucediendo a lo largo del ciclo anual y su posición en la columna de agua dependia de la profundidad a la que se encontraba la haloclina en cada momento.

Aunque las diferencias en el eje vertical de todas las variables fisicas y quimicas eran muy grandes y en muchos casos mayores que la variación temporal anual (Oltra, 1993), sólo determinaban marcadas diferencias en las densidades de población de los rotiferos planctonicos en las distintas capas, mientras que la composición especifica de esta comunidad de organismos cambiaba drásticamente con las estaciones del aiiio. Esto se habia comprobado ya en el caso del fitoplancton (Rojo & Miracle, 1989) que depende de las variaciones anuales de luz y temperatura y se constata también en el caso de los rotiferos en el presente estudio, lo que es de esperar ya que dependen a su vez del fitoplancton y ocupan sólo la zona mixolimnética oxigenada.

Se observó también una diferencia importante entre los veranos de los aiiios estudiados. Las poblaciones de rotiferos, sobre todo de las especies indicadoras de eutrofización (*B. angularis*, *B. calyciflorus*), fueron mas abundantes en el aiiio de mayor pluviosidad (1982), es decir cuando hay aportes mayores de nutrientes, debido a un mayor flujo de agua continental, en su mayor parte procedente de excedentes de regadio.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio estaba integrado en un proyecto de investigación financiado por la CAICYT (nº 3778/79). Agradecemos a Eduardo Vicente, Ricardo Guerrero y Carlos Abellà su colaboración en la toma de muestras y medida de variables *in situ*.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALFONSO, M.T. & M.R. MIRACLE. 1990. Distribución espacial de las comunidades zooplanctónicas de la Albufera de Valencia. *Scientia gerundensis*, 16: 11-25.
- CARRILLO, P., L. CRUZ-PIZARRO, R. MORALES & P. SANCHEZ-CASTILLO. 1987. Cambios estacionales en las comunidades de fitoplancton y de zooplancton de la Albufera de Adra. *Limnetica*, 3: 243-254.
- DE MANUEL, J., J.L. PRETUS & D. JAUME. 1992. Rotifers from the Balearic archipelago. *Hydrobiologia*, 239: 33-41.
- GILBERT, J.J. 1980. Further observations on developmental polymorphism and its evolution in the rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Freshwater Biology*, 10: 281-294.
- GUISANDE C. & J. TOJA. 1988. The dynamics of various species of the genus *Brachionus* (Rotatoria) in the Guadalquivir River. *Arch. Hydrobiol.*, 112: 579-595.
- KOSTE, W. 1978. *Rotatoriu. Die Radertiere Mitteleuropas. Ein Bestimmungswerk begl. von Max Voigt. Überordnung Monogononta*. Vol. 1-2.
- LOPEZ, P. 1983. *Agua salina epicontinental próxima a la costa mediterránea española. Estudio del medio*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 331 pp.
- MAZUELOS, N., J. TOJA & C. GUISANDE. 1993. Rotifers in ephemeral ponds of Dofiana Park. *Hydrobiologia*, 255/256: 429-434.
- MENENDEZ, M. & F.A. COMÍN. 1986. Variación estacional del zooplancton en las lagunas costeras del Delta del Ebro (N.E. España). *Oecologia Aquatica*, 8: 47-60.
- MIRACLE, M.R. 1974. *Estructura y dinámica de las poblaciones zooplanctónicas del lago de Banyoles*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 479 pp.
- MIRACLE, M.R., M.T. ALFONSO, E. VICENTE & W. KOSTE. 1995. Rotifers of spring pools in the coastal marshland of Albufera of Valencia Natural Park. *Limnetica*, 11: 39-47.
- MIRACLE, M.R., M. SERRA, R. OLTRA & E. VICENTE. 1988. Differential distributions of *Brachionus* species in three coastal lagoons. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23: 2006-2015.
- MIRACLE, M.R. & E. VICENTE. 1983. Vertical distribution and rotifer concentrations in the chemocline of meromictic lakes. *Hydrobiologia*, 104: 259-267.
- MIRACLE, M.R. & E. VICENTE. 1985. Phytoplankton and photosynthetic sulphur bacteria production in the meromictic coastal lagoon of Cullera (Valencia, Spain). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22: 2214-2220.
- MOYA, G., G. RAMON, A. MARTINEZ-TABERNER, V. FORTEZA, C. PICO, C. PONSELL, R. ROSSELLO & M.A. SOBERATS. 1987. Limnology of a meromictic coastal lagoon. L'Estany del Cibollar (Majorca, Balearic Islands). *Limnetica*, 3: 255-262.
- OLTRA, R. 1993. *Estudio del zooplancton de dos lagunas litorales mediterráneas: El Estany de Cullera y la Albufera de València*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia. 437 pp.
- OLTRA, R. & M.R. MIRACLE. 1992. Seasonal succession of zooplankton populations in the hypertrophic lagoon Albufera of Valencia (Spain). *Arch. Hydrobiol.*, 124 (2): 187-204.
- OLTRA, R. & M.R. MIRACLE, 2000 a. Variación espacio-temporal de las poblaciones de crustáceos, larvas de poliquetos y protozoos de la laguna meromictica Estany de Cullera (Valencia). *Limnetica*, 19:53-65.
- OLTRA, R. & M.R. MIRACLE, 2000 b. Estructura de la comunidad zooplanctónica de la laguna meromictica Estany de Cullera (Valencia). *Limnetica*, 19:67-82.
- PRETUS, J.L. 1989. Limnología de la Albufera de Menorca (Menorca, España). *Limnetica*, 5: 69-81.
- RICE, W.R. 1988. Analyzing tables of statistical tests. *Evolution*, 43: 223-225.
- RIERA, X.G. & C.A. ABELLA. 1991. Limnological cycle of the coastal lagoon La Massona (Girona, NE Spain). Origin, dynamics and influence of the sporadic seawater inflows on the meromixis. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24: 1029-1031.
- ROJO, C. & M.R. MIRACLE. 1984. Fluctuación estacional de las poblaciones fitoplanctónicas del Estany de Cullera (Valencia). *Anales de Biología*, 2 (Sec. Esp., 2): 161-168.

- ROJO, C. & M.R. MIRACLE. 1989. Phytoplankton fluctuations during an annual cycle in the coastal lagoon of Cullera (Spain). *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 74: 179-194.
- ROJO, C., M.R. MIRACLE & M. SERRA. 1986. Interrelacdn entre las especies de microalgas hal-ladas en el Estany de Cullera (Valencia). *Limnetica*, 2: 35-40.

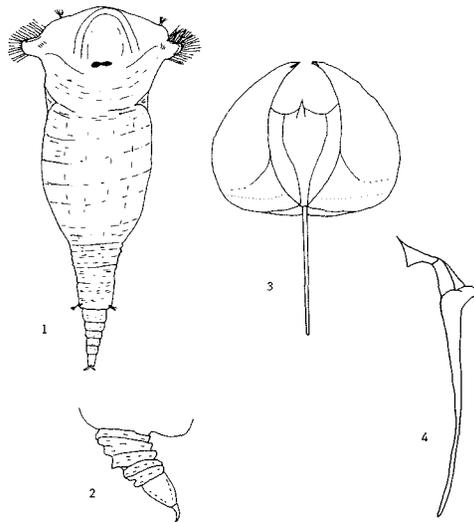
- RUTTNER-KOLISKO, A. 1974. *Plankton rotifers. Biology and taxonomy*. Die Binnengewasser. Vol XXVI, part 1. 145 pp.
- RUTTNER-KOLISKO, A. 1977. Suggestions for bio-mass calculations of plankton rotifers. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 8: 71-76.

## APÉNDICE 1

Se enviaron una serie de muestras a Bruno Berzins como especialista del gknero *Synchaeta*, quién después de su estudio nos remitió los dibujos representados arriba y los siguientes comentarios: "Specimens from Cullera are not like the *S. grimpei* described from Baltic Sea and not like *S. procera* Galliford (synonimised later with *grimpei*). The typical characteristic for *S. grimpei* are the lateral antennae, which are very distinct and situated at the extreme base of the body, they are very visible also in the specimens from Spain.

The Baltic specimens have a wider occipital part, and their body shape is more triangular. The *Synchaeta procera* Galliford is more narrower and compact. The spanish animals from Cullera are not so remarkably triangular and resemble more a common *Synchaeta*, with relatively sharp toes. There are then three known forms of *S. grimpei*:

- Synchaeta grimpei* f. *grimpei* Remane, Baltic Sea  
*Synchaeta grimpei* f. *procera* Galliford, Scotland  
*Synchaeta grimpei* f. *iberica* f.n., Spain".



**Figura apéndice 1.** Dibujos de *Synchaeta grimpei* procedente de las muestras de febrero de 1980 del Estany de Cullera efectuados por Bruno Berzins y comentarios de dicho especialista sobre las características diferenciales de esta forma respecto a las formas conocidas. Forma del cuerpo (1), detalles del pie (2) y mastax (parte central, 3 y manubrio, 4). La longitud total es de 355-360  $\mu$ m. Bruno Berzins drawings and comments on the form of *S. grimpei* found in Estany of Cullera, February 1980. (1) general view, (2) food, (3) central part of trophary und (4) manuhrium.