

## OBSERVACIONES DE LABORATORIO SOBRE LA SEDIMENTACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES DEL FITOPLANCTON

por

MIGUEL ÁLVAREZ COBELAS, PABLO ALARCÓN\* & KARMEN ROJO\*\*

### Resumen

ÁLVAREZ COBELAS, M., P. ALARCÓN & K. ROJO (1987). Observaciones de laboratorio sobre la sedimentación de algunas especies del fitoplancton. *Anales Jard. Bot. Madrid* 44(1): 3-9.

Se han medido las velocidades de sedimentación en el laboratorio de las siguientes especies del fitoplancton de la laguna hipereutrófica del Porcal (cercana a Madrid): *Oscillatoria lanceaeformis*, *O. limnetica* (Cyanophyceae), *Nitzschia acicularis*, *N. gracilis* (Diatomophyceae) y *Pteromonas angulosa* (Chlorophyceae). Los resultados dependen de cada especie y de sus posibilidades de movimiento, siendo las cianofíceas quienes caen más despacio debido a su capacidad de flotación. En otra experiencia con algas vivas *O. lanceaeformis* no mostró mayor tendencia a flotar en la luz que en la oscuridad. Por el contrario, *Lyngbya* sp. (Cyanophyceae) y *Pteromonas angulosa* se hundieron más de prisa en la luz que en la oscuridad, mientras que con *O. limnetica* sucedió al revés. Las algas vivas permanecen más tiempo en suspensión que las muertas.

Palabras clave: Fitoplancton, sedimentación, Madrid, España.

### Abstract

ÁLVAREZ COBELAS, M., P. ALARCÓN & K. ROJO (1987). Laboratory studies on the sedimentation of some phytoplankton species. *Anales Jard. Bot. Madrid* 44(1): 3-9 (in Spanish).

Lab assays on the sedimentation of some phytoplankton species from the hypertrophic lake El Porcal close to Madrid (Spain) were undertaken in order to find out the sedimentation rates of the following species: *Oscillatoria lanceaeformis*, *O. limnetica* (Cyanophyceae), *Nitzschia acicularis*, *N. gracilis* (Diatomophyceae) and *Pteromonas angulosa* (Chlorophyceae). Results greatly depended upon each species and its motion ability, blue-greens falling down slowest due to their flotation capabilities. In another assay with living algae *O. lanceaeformis* did not show a higher tendency to float in the light than in the dark. On the contrary *Lyngbya* sp. (Cyanophyceae) and *Pteromonas angulosa* appeared to sink more rapidly in light than in the dark, whilst *O. limnetica* showed the reverse trend. Living algae remained in suspension longer than dead algae.

Key words: Phytoplankton, sedimentation, Madrid, Spain.

En este trabajo presentamos las primeras observaciones de laboratorio sobre la sedimentación del fitoplancton de una laguna hipereutrófica: el Porcal, situada en la cuenca del río Jarama, 200 m aguas abajo de la desembocadura del río Man-

\* Centro de Investigaciones del Agua, C.S.I.C. La Poveda, Arganda del Rey. 28500 Madrid.

\*\* Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Valencia. Burjasot (Valencia).

zanares. El fitoplancton de la laguna está integrado fundamentalmente por especies con movimiento propio (cianofíceas con vacúolos, diatomeas con rafe, criptofíceas y volvocales flageladas), lo que aumenta el interés de esta clase de trabajos, puesto que la sedimentación de este tipo de algas se conoce muy imperfectamente. En España solo hay un estudio de sedimentación de microalgas (MARGALEF, 1953), realizado sobre la clorofíceas *Scenedesmus obliquus*.

Una muestra viva tomada a comienzos de la primavera de 1985 en una estación pelágica de la laguna el Porcal, a 0,5 m de profundidad, se colocó en cámaras de sedimentación de 3 cm de altura, y la cantidad de individuos fitoplanctónicos que llegaban al fondo se contó a intervalos regulares, hasta que no había ya organismo alguno en suspensión. La velocidad de sedimentación se estimó entonces mediante la fórmula de REYNOLDS (1979). Esta técnica se empleó también con poblaciones de diatomeas muertas tras calentamiento durante diez minutos y con valvas vacías ya inicialmente presentes en la muestra. Las especies investigadas fueron: *Oscillatoria lanceaeformis* Kalbe, *O. limnetica* Lemm. (*Cyanophyceae*, *Oscillatoriaceae*), *Nitzschia acicularis* (Kütz.) W. Sm., *N. gracilis* Hantzsch (*Diatomophyceae*, *Bacillariaceae*) y *Pteromonas angulosa* Lemm. (*Chlorophyceae*, *Phacota-ceae*). Previamente, se determinaron la densidad del agua —sumando la debida a la temperatura con la de los materiales del residuo seco a 110 °C— y la viscosidad absoluta —mediante un viscosímetro del tipo Cannon-Fenske serie 50. El radio promedio de las algas se evaluó midiendo veinte ejemplares de cada especie, averiguando su volumen, equiparando éste a una esfera y calculando el radio de la misma. Las densidades de las algas no han podido conocerse, por lo cual hemos empleado las escasas cifras que existen en la literatura (cf. REYNOLDS, 1984: 57). Con todos estos datos se han calculado el número de Reynolds para cada población de partículas (VOGEL, 1981) y el coeficiente de resistencia de forma —a partir de la fórmula de Stokes, modificada por MCNOWN & MALAIKA (1950).

En la tabla 1 se ofrecen los resultados de las determinaciones de velocidades de sedimentación, número de Reynolds para cada partícula y coeficiente de resistencia de forma para las distintas especies estudiadas. Todos estos parámetros resultan muy variables. En el caso de las algas vivas y muertas pertenecientes a la misma población, se aprecia el aumento de la sedimentación en las células muertas, a la par que una disminución de la resistencia de la forma. A grandes rasgos podemos decir que la velocidad de caída es inversamente proporcional a la capacidad de movimiento de cada especie. El número de Reynolds para cada tipo de partícula es mayor en las células muertas que en las vivas.

El número de determinaciones de la densidad de las células del fitoplancton es muy reducido (cf. REYNOLDS, 1984). Las técnicas más precisas aún no están bien desarrolladas (OLIVER & al., 1981; BLOEM & MOED, 1985; GUERRERO & al., 1985) y resultan bastante costosas. No se han podido determinar las densidades celulares de las algas estudiadas en este trabajo y ello supone un problema a la hora de calcular las velocidades terminales teóricas de acuerdo con la ley de Stokes. Un indicio de que el movimiento de las especies estudiadas aquí obedece a dicha ley viene dado por el número de Reynolds de la partícula. MCNOWN & MALAIKA (1950) comprueban que la ecuación de Stokes prácticamente se cumple para valores de dicho número inferiores a 0,1: es el caso de *Oscillatoria* sp. pl. y de *Pteromonas* (tabla 1). Los citados autores incluso aseguran que el margen de

TABLA 1

DENSIDADES CELULARES DE LAS ALGAS DE ESTE ESTUDIO ( $\rho$ ,  $\text{gr} \cdot \text{cc}^{-1}$ , extraídas de REYNOLDS, 1984: 57, y asignadas por afinidades taxonómicas), VELOCIDADES PROMEDIO DE SEDIMENTACIÓN ( $v$ ,  $\mu\text{m} \cdot \text{seg}^{-1}$ ), NÚMERO DE REYNOLDS PARA CADA TIPO DE PARTÍCULA ( $R_e$ , adimensional) Y COEFICIENTE DE RESISTENCIA DE FORMA ( $\phi_r$ , adimensional) PARA DISTINTAS ESPECIES DE FITOPLANCTON DEL PORCAL Y DISTINTOS TRATAMIENTOS

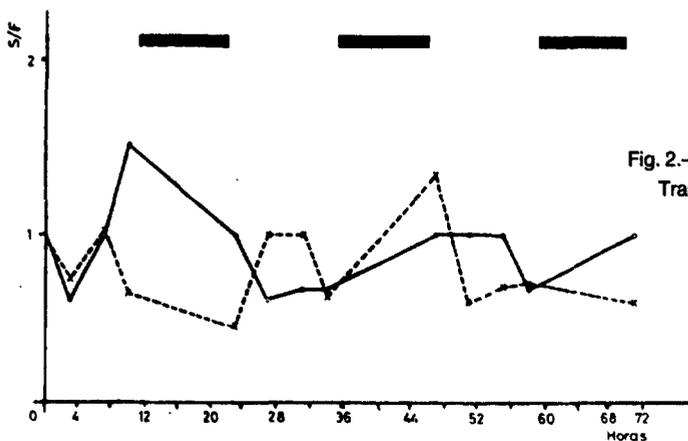
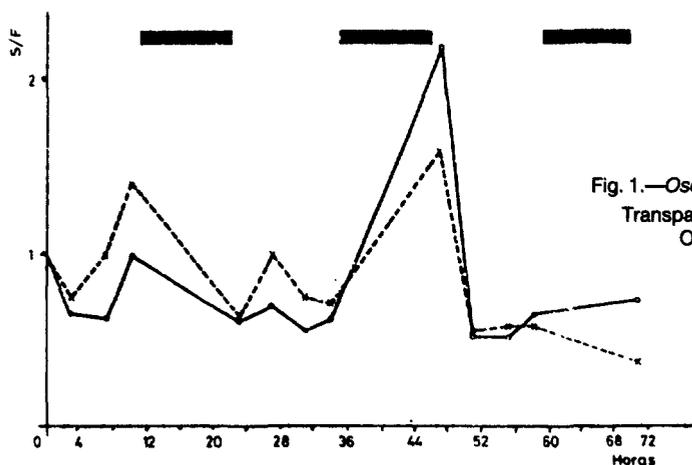
<i>Oscillatoria lanceaeformis</i> (viva)	<i>O. limnetica</i> (viva)	<i>Pteromonas angulosa</i> (viva)	
$\rho = 0,004$ que la del agua (similar a la de <i>Microcystis aeruginosa</i> )	$\rho = \text{idem anterior}$	$\rho = 1,095$ (similar a la de <i>Chlorella vulgaris</i> )	
$v = 0,082$	$v = 0,208$	$v = 0,287$	
$R_e = 0,005$	$R_e = 0,017$	$R_e = 0,034$	
$\phi_r = 1,14$	$\phi_r = 6,77$	$\phi_r = 18,25$	
<i>Nitzschia acicularis</i> (muerta por calor)	<i>N. acicularis</i> (valvas vacías)	<i>N. gracilis</i> (viva)	<i>N. gracilis</i> (muerta por calor)
$\rho = 1,085$ (similar a la de <i>Synedra acus</i> )	$\rho = \text{idem anterior}$	$\rho = 1,115$ (similar a la de <i>Synedra acus</i> viva)	$\rho = 1,085$ (similar a la de <i>Synedra acus</i> )
$v = 5,86$	$v = 11,77$	$v = 4,13$	$v = 5,02$
$R_e = 0,72$	$R_e = 1,45$	$R_e = 0,39$	$R_e = 0,47$
$\phi_r = 1,10$	$\phi_r = 0,55$	$\phi_r = 0,91$	$\phi_r = 0,75$

error es del 10% para números de Reynolds por debajo de 0,5 (*Nitzschia gracilis*, por ejemplo). *N. acicularis* se encuentra por encima de este porcentaje. No es fácil explicar esta divergencia entre unas y otras algas, teniendo en cuenta además que las dimensiones de todas ellas se hallan dentro del mismo orden de magnitud ( $10^1 < \text{longitud} < 10^2$ ). Los coeficientes de resistencia de forma reflejan el retardo en la caída, retardo que naturalmente es mayor en las especies con movimiento propio más efectivo (*Oscillatoria* sp. pl. y *Pteromonas*). Las cifras obtenidas para estos táxones no pueden compararse con las de otros autores, puesto que no se han medido velocidades de sedimentación ni siquiera en especies próximas, en laboratorio. Las de *Nitzschia* son, en general, parecidas a las medidas para *N. palea* (DENFFER, 1950) e inferiores a las de *Synedra acus* (REYNOLDS, 1984), otra diatomea de forma análoga, si bien los coeficientes de resistencia resultan muy diferentes.

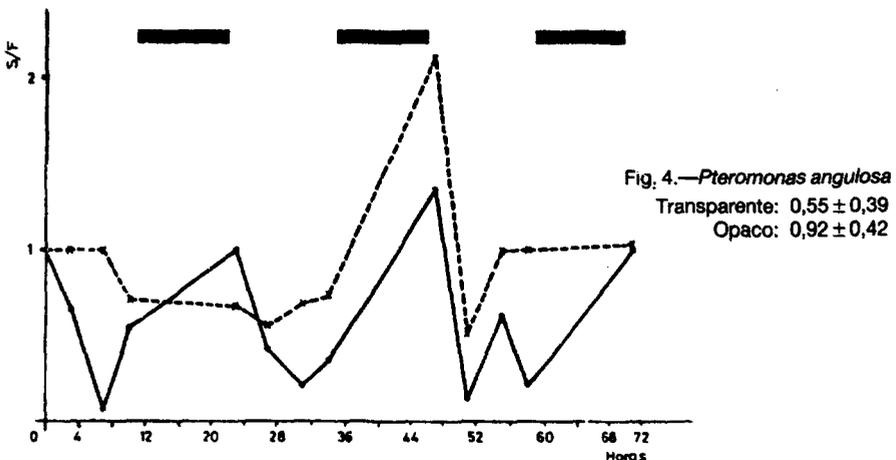
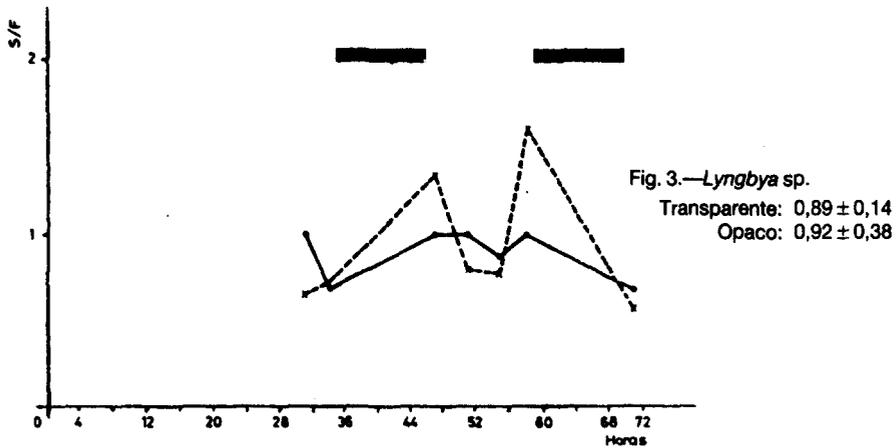
En otra serie de experiencias se colocaron sendos pares de frascos cilíndricos—transparente y opaco—de igual altura (15 cm) y tamaño, conteniendo idéntica cantidad de agua de la laguna, en un recipiente con agua del grifo y a temperatura controlada ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ), situando dichos recipientes tras una ventana orientada al N. A intervalos regulares se tomaron muestras de superficie y fondo mediante pipe-

tas Pasteur, distintas para cada frasco, nivel y ocasión, y se contaron inmediatamente las especies principales: *O. lanceaeformis*, *O. limnetica*, *Lyngbya* sp. (Cyanophyceae) y *Pteromonas angulosa* (Chlorophyceae). Se procuró contar como mínimo 200 individuos por especie (tricomas o células, según el organismo), a fin de tener una desviación máxima del 15 % (LUND & al., 1958). Se aplicaron intervalos de confianza del 95 % para cada recuento al estimar el cociente porcentual (S/F) de los organismos de cada especie situados en la superficie y el fondo de cada frasco. No se separó previamente el zooplancton presente, con objeto de simular lo mejor posible las condiciones ambientales. Simultáneamente a la toma de cada muestra, se midió la luz en el agua que rodeaba los frascos con un fotómetro Li-Cor 188B dotado de un sensor esférico.

Un cociente S/F superior a la unidad indicaría tendencia a la flotación, la unidad—con su intervalo de confianza—correspondería a una distribución homogé-



nea en la columna vertical y una cifra inferior a 1 supondría una tendencia al hundimiento. Como puede apreciarse en los valores de las figuras 1-4, donde se representan las evoluciones temporales del cociente "individuos en la superficie/individuos en el fondo" (S/F)—la línea continua representa los valores del frasco transparente y la discontinua los del frasco opaco; las barras horizontales, los periodos nocturnos; se han incluido los promedios de los cocientes ( $\pm$  desviación típica) para cada tratamiento y alga—, todas las especies, en promedio, tienden a sedimentar, pero unas más que otras. Un "test" de Wilcoxon no revela diferencia alguna entre ambos frascos para *O. lanceaeformis*, pero existe una correlación significativa ( $r = 0,74$ ;  $p < 0,05$ ) entre los cocientes de ambos recipientes para dicha especie. *O. limnetica* muestra una tendencia mayor a la flotación en la luz que en la oscuridad (prueba de Wilcoxon,  $t_s = 2,31$ ;  $p < 0,05$ ), aunque no hay correlación significativa alguna entre sus cocientes S/F de luz y oscuridad. La evolución del



cociente para *Lyngbya* sp. indica una tendencia mayor al hundimiento en presencia de la luz ( $t_s = 3,13$ ;  $p < 0,05$ ); la correlación entre los cocientes de luz y oscuridad carece de significado para dicho nivel. Por último, *Pteromonas* parece sedimentar más en la luz ( $t = 8,25$ ;  $p < 0,05$ ) y, en este caso, sí existe correlación entre los cocientes hallados en ambos frascos ( $r = 0,63$ ;  $p < 0,05$ ). De las cuatro especies del frasco iluminado, solo *O. limnetica* muestra una correlación débil, aunque significativa ( $r = 0,55$ ;  $p < 0,1$ ), con la radiación visible incidente, en tanto que únicamente *Pteromonas*, en la botella clara, presenta correlación significativa con la hora del día en que se tomó cada muestra ( $r = -0,82$ ;  $p < 0,05$ ). Ninguna prueba iterativa —“test” de ciclos— realizada con cada una de las series temporales ha resultado estadísticamente significativa.

No hemos podido evaluar la sedimentación en individuos envejecidos y/o muertos, lo que puede afectar a los resultados obtenidos con la técnica empleada, ya que como hemos visto las algas muertas caen más deprisa, y se sabe que las algas envejecidas también descienden con mayor rapidez (OLIVER & al., 1981). De todos modos, las pautas observadas parecen bastante interesantes, porque separan con claridad unas algas de otras en función de su respuesta móvil. Así, se aprecia cómo *Pteromonas* y *Lyngbya* presentan mayor tendencia a hundirse en la oscuridad que en la luz, mientras que con *O. limnetica* sucede lo contrario. La dinámica flotación/sedimentación está correlacionada en ambos frascos tanto para *O. lanceaeformis* como para *Pteromonas*, lo que podría indicar el mismo factor regulador del movimiento en la luz y en la oscuridad —aunque quizá no el mismo para ambas especies—; en los otros dos táxones no se observó esta correlación. Solo *Pteromonas* presenta una correlación en su movimiento con la hora del día y en frasco transparente, lo que permite descartar que nos hallemos ante un ritmo endógeno, ya que no se produce en otras condiciones ambientales (en la oscuridad, cf. WINFREE, 1980). Se han realizado muchas observaciones sobre migraciones verticales rítmicas de las microalgas, pero aún se desconoce la naturaleza del ciclo (NULTSCH, 1970; HEANEY & EPPLEY, 1981).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLOEM, J. & J. R. MOED (1985). Density gradient centrifugation (DGC) in Percoll for isolation and characterization of *Oscillatoria* ssp. from Tjeukemeer. *Freshwater Biol.* 15: 197-205.
- DENFFER, D. VON (1950). Die planktische Massenkultur pennater Grunddiatomeen. Zugleich ein Beitrag zur Physiologie und Oekologie der *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm. *Arch. Mikrobiol.* 14: 159-202.
- GUERRERO, R., C. PEDROS-ALÍO, T. M. SCHMIDT & J. MAS (1985). A survey of buoyant density of microorganisms in pure cultures and natural samples. *Microbiologia SEM* 1: 53-65.
- HEANEY, S. I. & R. W. EPPLEY (1981). Light, temperature and nitrogen as interacting factors affecting diel vertical migrations of dinoflagellates in culture. *J. Pl. Res.* 3: 331-344.
- LUND, J. W. G., C. KIPLING & E. D. LE CREN (1958). The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- MARGALEF, R. (1953). Estudios experimentales sobre las modificaciones inducidas por distintas temperaturas en células de Clorofíceas. *Publ. Inst. Biol. Aplicada* 12: 5-78.
- McNOWN, J. S. & J. MALAIKA (1950). Effects of particle shape on settling velocity at low Reynolds numbers. *Trans. Amer. Geophys. Union* 31: 74-82.
- NULTSCH, W. (1970). Photomotion of microorganisms and its interactions with photosynthesis. In: P. Halldal (Ed.), *Photobiology of Microorganisms*: 213-252. New York.

- OLIVER, R. L., A. J. KINNEAR & G. G. GANF (1981). Measurements of cell density of three freshwater phytoplankters by density gradient centrifugation. *Limnol. & Oceanogr.* 26: 285-294.
- REYNOLDS, C. S. (1979). Seston sedimentation: experiments with Lycopodium spores in a closed system. *Freshwater Biol.* 9: 55-76.
- REYNOLDS, C. S. (1984). *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge.
- VOGEL, S. (1981). *Life in moving fluids*. Princeton.
- WINFREE, A. T. (1980). *The geometry of biological time*. Berlin.

*Aceptado para publicación: 17-II-1987*