

## PROCESO DE FLUIDIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE LA CUBETA CII DEL LAGO DE BANYOLES

X. Casamitjana & E. Roget

Departament de Física i Institut d'Ecologia Aquàtica. Estudi General de Girona. 17071 Girona

---

### RESUM

La cubeta CII de l'estany de Banyoles està situada a la part superior del lòbul sud de l'estany. S'ha observat el procés amb el qual els sediments de la cubeta passen de formar un llit fix, compactats en el fons, a formar un llit fluiditzat, tot quedant en suspensió en l'aigua. Entre maig de 1986 i setembre de 1988 es prengueren periòdicament mesures de la densitat, la porositat i la velocitat de sedimentació mitjana dels sediments de la cubeta en diferents punts d'aquesta. Aquestes dades ens permeten entendre el procés mitjançant el qual té lloc la fluidització de la cubeta.

### RESUMEN

La cubeta CII del lago de Banyoles se encuentra situada en la parte superior del lóbulo sur del lago. Se ha observado el proceso mediante el cual los sedimentos de la cubeta pasan de formar un lecho fijo, estando compactados en el fondo, a formar un lecho fluidizado, quedando en suspensión en el agua. Entre mayo de 1986 y septiembre de 1988 se tomaron periódicamente medidas de la densidad, la porosidad y la velocidad de sedimentación media de los sedimentos de la cubeta en diferentes puntos de la misma. Estos datos nos permiten entender el proceso mediante el cual tiene lugar la fluidización de la cubeta.

### ABSTRACT

The basin CII of lake Banyoles is placed in the superior part of the South lobe of the lake. The process of fluidization of this basin has been studied. The structure of the bed changed from fix bed to fluidized bed. Between may 1986 and september 1988 the density, the porosity and the mean settling rate of the sediments have been measured at different points of the basin. The data give us the understanding of the fluidization process.

---

**Key words:** fluidization, suspended sediment, lake Banyoles.

## INTRODUCCIÓN

La cubeta CII del lago de Banyoles se encuentra situada en la parte superior del lóbulo sur del lago, tal como puede observarse en la Fig. 1a. Desde los primeros muestreos, realizados en mayo de 1986, hasta el mes de septiembre de 1988, la interfase que separa el agua del sedimento se encontraba entre los 43 y los 45 m de profundidad. En la Figura 1b puede verse un perfil del fondo del lago realizado mediante ecosondaje el día 15-7-87. En dicha figura podemos apreciar que en la cubeta CI del lago, los sedimentos se hallan en suspensión, fenómeno que como es sabido tiene lugar gracias a la entrada de agua freática (Roget & Casamitjana, 1987a; Casamitjana et al., 1988). En cambio, en la cubeta CII, los sedimentos se hallan depositados en el fondo formando un lecho fijo. A partir del mes de septiembre de 1987 la interfase del sedimento de la cubeta CII comenzó a ascender de forma que el lecho pasó de fijo a fluidizado. En la Fig. 1c puede verse el perfil de ecosondaje realizado el día 20-7-88, donde se aprecia el estado de fluidización de ambas cubetas.

En la Fig. 2 podemos ver las variaciones de la profundidad y de la densidad (medida 2 metros bajo la interfase), con el tiempo expresado en meses. El mes 0 corresponde a mayo de 1986, y el mes 30 a noviembre de 1988. Entre el mes 0 y el mes 15 (agosto de 1987) observamos que la profundidad de la interfase varía suavemente desde los 43 metros hasta los 45 metros, mientras se produce un aumento de la densidad (de 1,2 g/cm<sup>3</sup> a 1,4 g/cm<sup>3</sup>). Esta fenomenología deriva del hecho de que en la cubeta CII existía una tenue estratificación que poco a poco se fue deshaciendo. En septiembre de 1987 (mes 16) la profundidad de la interfase empezó a disminuir hasta alcanzar los 26 m en junio de 1988 (punto 25). Esta subida de los sedimentos a través de la cubeta se refleja también en la disminución de la densidad, debido al mayor aporte de agua freática.

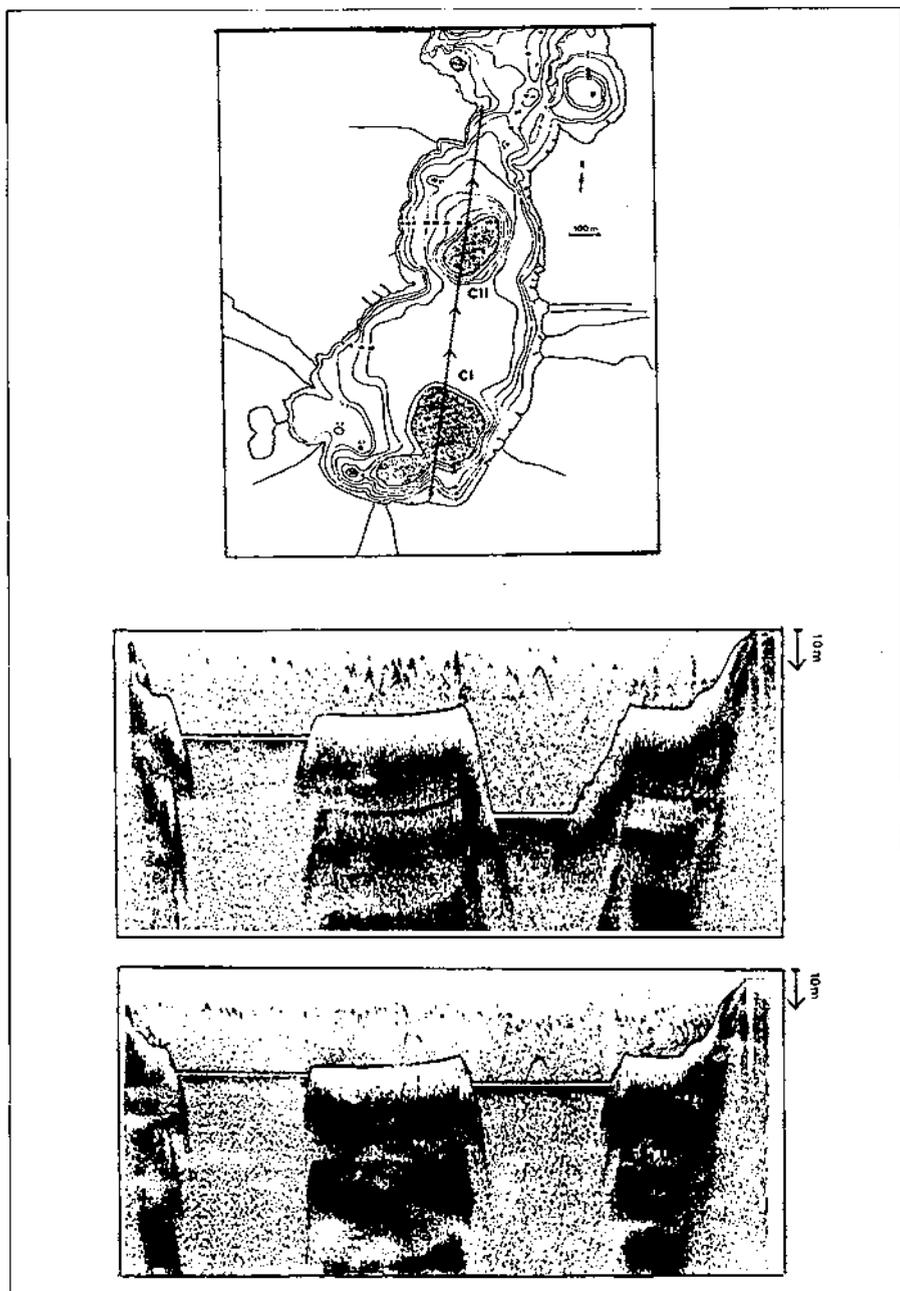
En la Fig. 3 vemos representadas las variaciones temporales de la porosidad, es decir, la fracción volúmica de agua presente en el sedimento, y de la velocidad de sedimentación durante el mismo período de tiempo.

En la Fig. 4 hemos representado las variaciones de la densidad, la porosidad, y la velocidad de sedimentación entre los meses 16 y 28, para una muestra situada 2 m bajo la interfase y para otra de la parte más profunda de la cubeta, o zona límite de la cubeta.

En la Fig. 5 se hallan representados 8 puntos de la cubeta CII en los cuales se ha medido la densidad de la suspensión en 3 días diferentes. Los resultados de las mediciones se hallan representados en la Figura 6.

## MÉTODOS

La densidad del sedimento en suspensión se ha medido a partir de la extracción de una muestra mediante una botella de muestreo tipo Ruttner (Hydro-Ex-Upsala). La porosidad se ha calculado a partir de la densidad de la muestra, pesando una



**Figura 1.** a) Transecto de ecosondación donde pueden apreciarse las cubetas C1 y CII del lago de Banyoles. b) Perfil de ecosondación correspondiente al 15-7-87. c) Perfil de ecosondación correspondiente al 15-8-88.

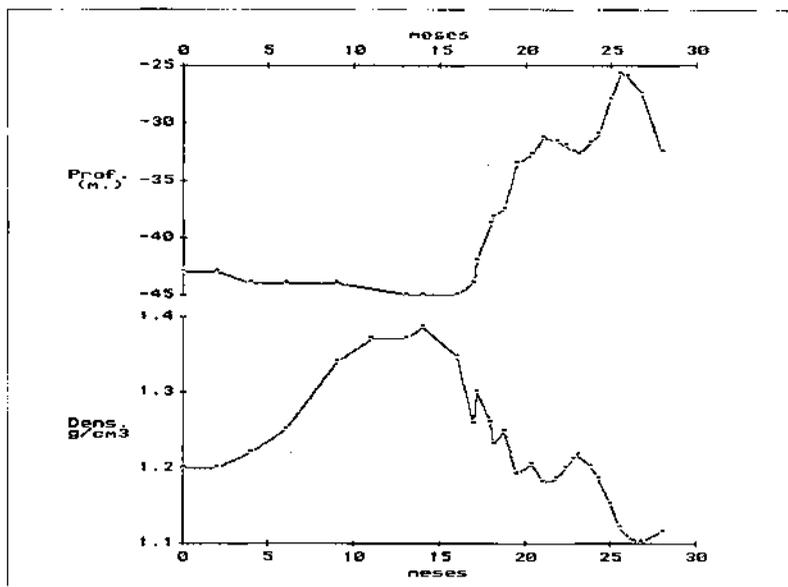


Figura 2. Variaciones de la profundidad de la interfase y de la densidad, medida 2 m bajo la interfase, con el tiempo expresado en meses para la cubeta CII.

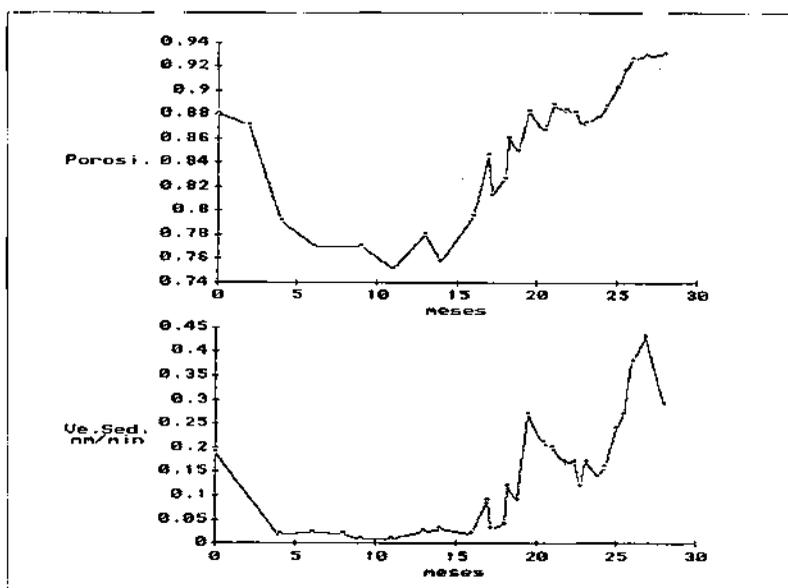


Figura 3. Variaciones de la porosidad y de la velocidad media de sedimentación para una muestra de la cubeta CII situada 2 m bajo la interfase con el tiempo expresado en meses.

cantidad determinada de ésta, poniéndola después a 110°C para eliminar el agua, y volviéndola a pesar posteriormente; la porosidad es entonces:

$$n = (1 - m_s/m_t)r$$

donde  $n$  es la porosidad,  $m_s$  la masa de la muestra seca,  $m_t$  la masa total de la muestra y  $r$  el cociente entre la densidad de la suspensión y la densidad del agua.

La velocidad de sedimentación se ha evaluado a partir de la pendiente de la

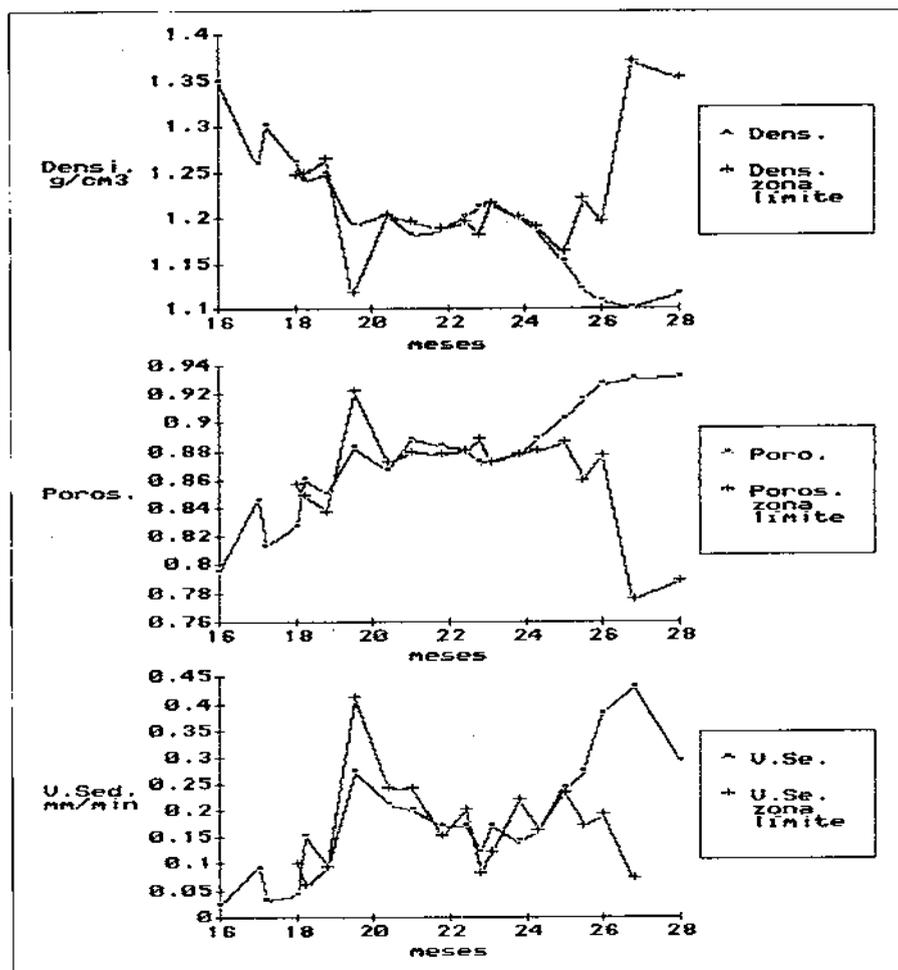


Figura 4. Variaciones de la densidad, la porosidad y la velocidad de sedimentación media con el tiempo, expresado en meses para muestras de la cubeta CII tomadas 2 m bajo la interfase y en la parte más profunda de la cubeta o zona límite.

curva obtenida representando la variación de la posición de la interfase con el tiempo, cuando dejamos sedimentar una muestra recién extraída del lago.

## DISCUSIÓN

La interfase de los sedimentos de la cubeta CII del lago de Banyoles se encontraba en mayo de 1986 a los 43 m de profundidad, estando fluidizada solamente su parte superior, zona que abarca los 3 primeros metros de sedimentos, como puede deducirse de los perfiles realizados por Julià et al. (1986). En las Fig. 2 y 3 vemos como poco a poco los sedimentos se fueron compactando, aumentó su densidad, disminuyó su porosidad, hasta llegar al mes 15 en que el lecho se encontraba to-

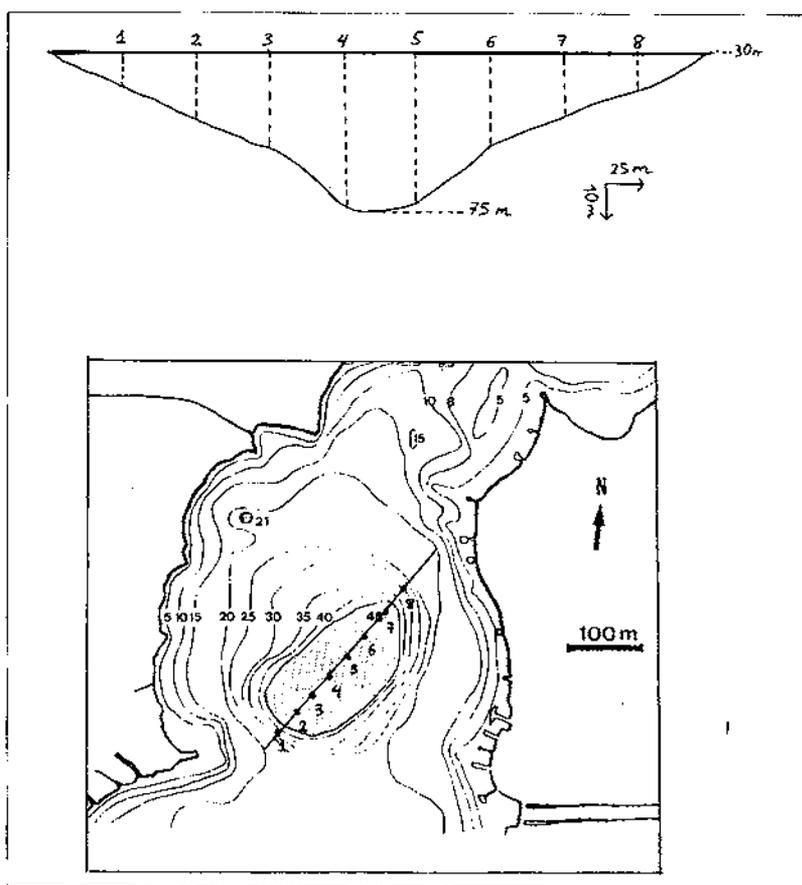


Figura 5. Diferentes puntos de muestreo utilizados en el experimento descrito en la Figura 6.

talmente fijo. A partir de aquí el aporte de caudal debió aumentar de tal manera que se consiguió la fluidización del lecho. La interfase inició un proceso de expansión por la cubeta, al mismo tiempo que la densidad del sedimento disminuía y aumentaban la porosidad y la velocidad de sedimentación. Es interesante notar que la variación de la densidad, de la porosidad y de la velocidad de sedimentación presenta irregularidades durante este proceso, debido al hecho de la fluidización inherente a partículas de pequeño tamaño, como las que forman el lecho de la cubeta CII (Roget & Casamitjana, 1987b).

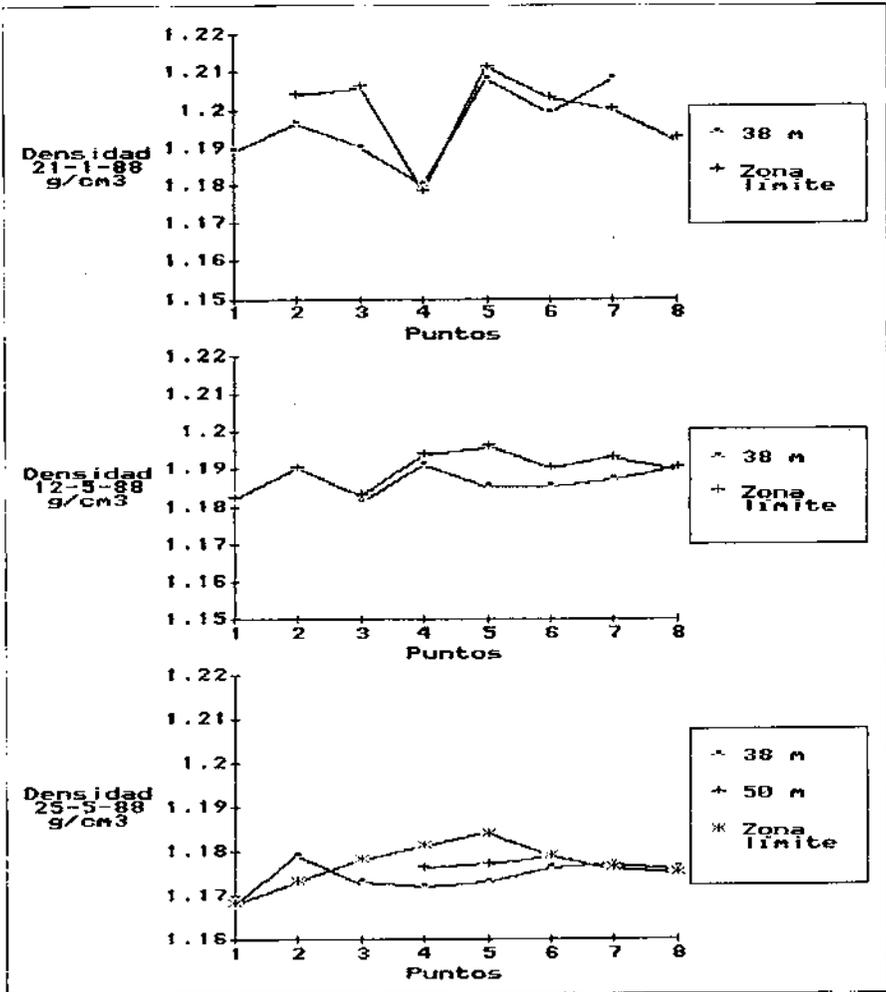


Figura 6. Densidad de los sedimentos de la cubeta CII en las tres fechas indicadas, a 38 m y en la zona límite, para los puntos de muestreo de la Figura 5.

En la Fig. 4 se observa que, durante el proceso de expansión de los sedimentos por la cubeta, la densidad tiende a homogeneizarse, siendo la misma en la parte inferior de la cubeta, a la que llamamos zona límite que 2 m debajo de la interfase. No obstante, a partir del mes 26 se observa que la cubeta tiende a estratificarse, aumentando la densidad en la zona límite y disminuyendo, por tanto, la porosidad y la velocidad de sedimentación. Esto es debido a la disminución del caudal que puede inferirse observando la disminución de la profundidad de la interfase que tiene lugar a partir del mes 26 (Fig. 2).

En la Fig. 6 vemos los resultados de un muestreo horizontal efectuado los días 21-1-88 (mes 20), 12-5-88 (mes 24) y 25-5-88. Observamos aquí como el 21-1-88, la parte central de la cubeta (punto 4) se encontraba homogeneizada como consecuencia de la mezcla que produjo el aporte de caudal. No obstante, en los puntos más cercanos a las paredes de la cubeta la densidad es mayor, ya que el caudal tiende a ser lógicamente mayor en el centro de la cubeta; también puede verse en estos puntos una estratificación, es decir, un aumento de densidad con la profundidad.

A partir de lo expuesto puede entenderse el proceso de destaponamiento del sedimento de una cubeta como un proceso de fluidización (Davison, F.G. & Harrison, D., 1971). Cuando el lecho es fijo, la circulación tiene lugar mediante canalizaciones o recorridos preferentes que el agua va abriendo por el sedimento. Cuando el lecho fluidiza, lo cual tiene lugar a una determinada velocidad en caso de que no se formen agregaciones, las partículas pasan a estar «sostenidas» en el agua.

## Bibliografía

- CASAMITJANA, X.; ROGET, E.; JOU, D. & LLEBOT, J.E. (1988). Effect of the suspended sediment on the heating of lake Banyoles. *Journal of Geophysical Research*, 93. C8. 9332-9336.
- DAVISON, F.G. & HARRISON, D. (1971). *Fluidization*. Academic Press. London.
- JULIÀ, R.; CANALS, M.; GOT, H. & RIBA, O. (1986). Perfilaje sísmico del lago de Banyoles. Boletín interno del Instituto «Jaime Almera» (C.S.I.C.).
- ROGET, E. & CASAMITJANA, X. (1987a). Cálculo de los caudales de entrada por las cubetas del lago de Banyoles. Actas del IV Congreso español de limnología. Sevilla.
- ROGET, E. & CASAMITJANA, X. (1987b). Comportamiento de los lechos fluidizados naturales del lago de Banyoles, 13, *Scientia Gerundensis*.