

## CARACTERITZACIÓ MORFOLÒGICA I LIMNOLÒGICA DEL CLOT D'ESPOLLA I LES SURGÈNCIES DEL PLA D'USALL (PLA DE L'ESTANY)

X. Vila, C. A. Abella i D. Brusí

Institut d'Ecologia Aquàtica. Estudi General de Girona (UAB). Hospital, 6. 17071-Girona.

---

### RESUM

En el pla d'Usall (Girona) existeix un conjunt surgent pertanyent al sistema hidrocològic de Banyoles, de funcionament intermitent, la manifestació més important del qual és el Clot d'Espolla. L'aigua té un origen subterrani i unes característiques físico-químiques molt similars, amb valors de conductivitat i O<sub>2</sub> baixos i temperatures moderades. Les diferents altures a què es troben condicionen els seus períodes d'activitat.

L'anàlisi dels principals paràmetres físico-químics en la columna d'aigua del Clot d'Espolla mostra una gran homogeneïtat deguda a la poca fondària del Clot i a la mescla produïda durant la major part del seu cicle pel gran cabal d'aigua surgent.

### RESUMEN

En el llano de Usall (Girona) existe un conjunto surgente perteneciente al sistema lacustre de Banyoles y de características intermitentes debido a su mayor altitud respecto del lago de Banyoles. La manifestación más importante es el Clot d'Espolla. La mayoría de estas surgencias forman parte de la cuenca del río Fluvià, pero las más meridionales ceden sus aguas al Ter. En todas ellas el agua tiene características físico-químicas muy similares, con valores de conductividad y O<sub>2</sub> bajos y temperaturas moderadas, como consecuencia de su origen subterráneo común. Las distintas altitudes en que se encuentran condiciona sus períodos de actividad.

El análisis de los principales parámetros físico-químicos en la columna de agua del Clot d'Espolla muestra una gran homogeneidad, debida a la poca profundidad del Clot y a la mezcla producida durante la mayor parte de su ciclo por el gran caudal de agua surgente. La extinción de luz es bastante rápida, ya que el crecimiento de fitoplancton es importante, pero cuando es surgente gran parte de éste se pierde y por tanto la extinción no es tan intensa.

### ABSTRACT

In the Usall plain, near Banyoles (Girona, Spain), a special limnological phenomena related with karstic activity are found. Intermitent activity of subterranean water forms water springs and lakes that belong to lacustrine system of Banyoles area. This area is situated in higher position with respect to Banyoles lake level. The most important manifestation of the hydrology of the area is the Clot d'Espolla. In all surgencies the physico-chemical characteristics of water is similar with low conductivity and oxygen concentration and high temperature as expected for freatic water.

The physico-chemical parameters of the water column of Clot d'Espolla demonstrates a uniform distribution due to the low depth and the intense water flux that provokes the water mixing.

Clot d'Espolla is an holomictic intermitent lake with a nearly uniform water column during its short cycle.

---

**Key words:** flux, Clot d'Espolla, hydrology, water springs, limnology.

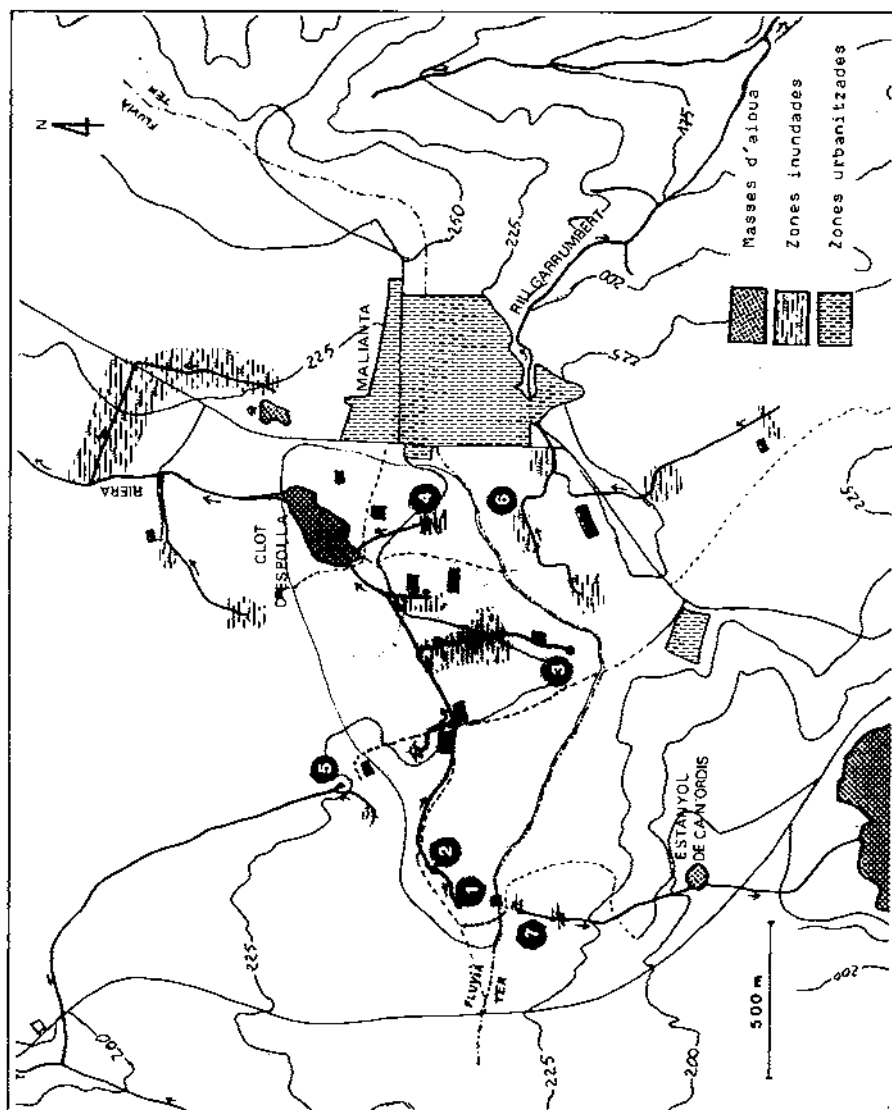
## INTRODUCCIÓ

El pla de Martís o pla d'Usall forma part de la conca lacustre de Banyoles-Besalú. Aquesta unitat geodinàmica és situada al N de Girona, en el límit entre les conques del Ter i del Fluvià, ocupant gran part de la comarca del pla de l'Estany i un sector de la Garrotxa. Es troba, doncs, entre les regions naturals de la Garrotxa i l'Empordà, essent delimitada pel N per la serra de la Mare de Déu del Mont, per l'W i pel S pel massís de Rocacorba i per l'E per uns relleus suaus que constitueixen l'alineació el Portell-Martís-Santenys (Julià, 1980).

Dintre d'aquesta conca lacustre, el pla d'Usall és la unitat morfològica intermèdia de les tres que el constitueixen, que són; de N a S, el glacis de Maïà de Montcal, el pla d'Usall i la cubeta lacustre de Banyoles. Consisteix en una plataforma elevada, de pendents suaus i una lleugera inclinació cap al N, amb unes dimensions aproximades de 6 km de llarg per 3 o 4 km d'ample. Queda limitada al N pels rius Fluvià i Ser, al S per la depressió lacustre de Banyoles i les rieres que donen origen al riu Terri, a l'E pels turons de Santenys i al W pel riu Serinyadell. Tant al N com a l'W l'altitud del pla es troba a l'entorn dels 200 m sobre el nivell del mar, mentre que al S és de 225 m i a l'E arriba fins als 250 m dalt dels turons. És clar, doncs, que el pla està inclinat cap al riu Fluvià, que transcorre al Nord, encara que també cedeix part de les seves aigües al Terri, essent, per tant, travessat pel límit entre les dues conques fluvials.

El Clot d'Espolla és un estanyol intermitent que està situat en el Pla d'Usall, a uns 50 metres per sobre del nivell de l'estany de Banyoles (fig. 1). Aquesta circumstància és la causa de la seva intermitència, ja que es nodreix del mateix aquífer que el llac (Bentabol, 1909), actuant com a sistema de *trop plein* (Solé, 1957 i 1958). Aquest aquífer prové de l'Alta Garrotxa (Vidal, 1960; Sanz, 1981), on es detecta la infiltració de l'aigua superficial en una zona d'afloreament calcari, i circula per conductes càrstics en direcció sud fins arribar a la zona de Banyoles (fig. 2). Allà es produeix l'afloreament de l'aigua, gràcies a un conjunt de falles (continuació de la falla d'Albanyà) que n'afavoreix la sortida.

En aquest darrer tram l'aquífer dissol els guixos que es troben per sobre de les calcàries, tot produint enfonsaments per colapse superficial, i finalment



**Figura 1.** Mapa de la zona meridional del pla d'Usall o pla de Martís indicant la xarxa hidrogràfica, relacionada amb les surgències d'aigua del mateix aquífer de l'estany de Banyoles: 1) Ull de porc; 2) Carmelosa; 3) Pou Rodó; 4) Deu de Quel Simó; 5) Mus-soga; 6) Om del Granger; 7) Mardança. Es va realitzar entre els dies 8 i 10 de desembre de 1987, en un moment de màxima surgència del sistema. La zona ombrada és la conca de recepció d'aigües superficials del Clot d'Espolla.

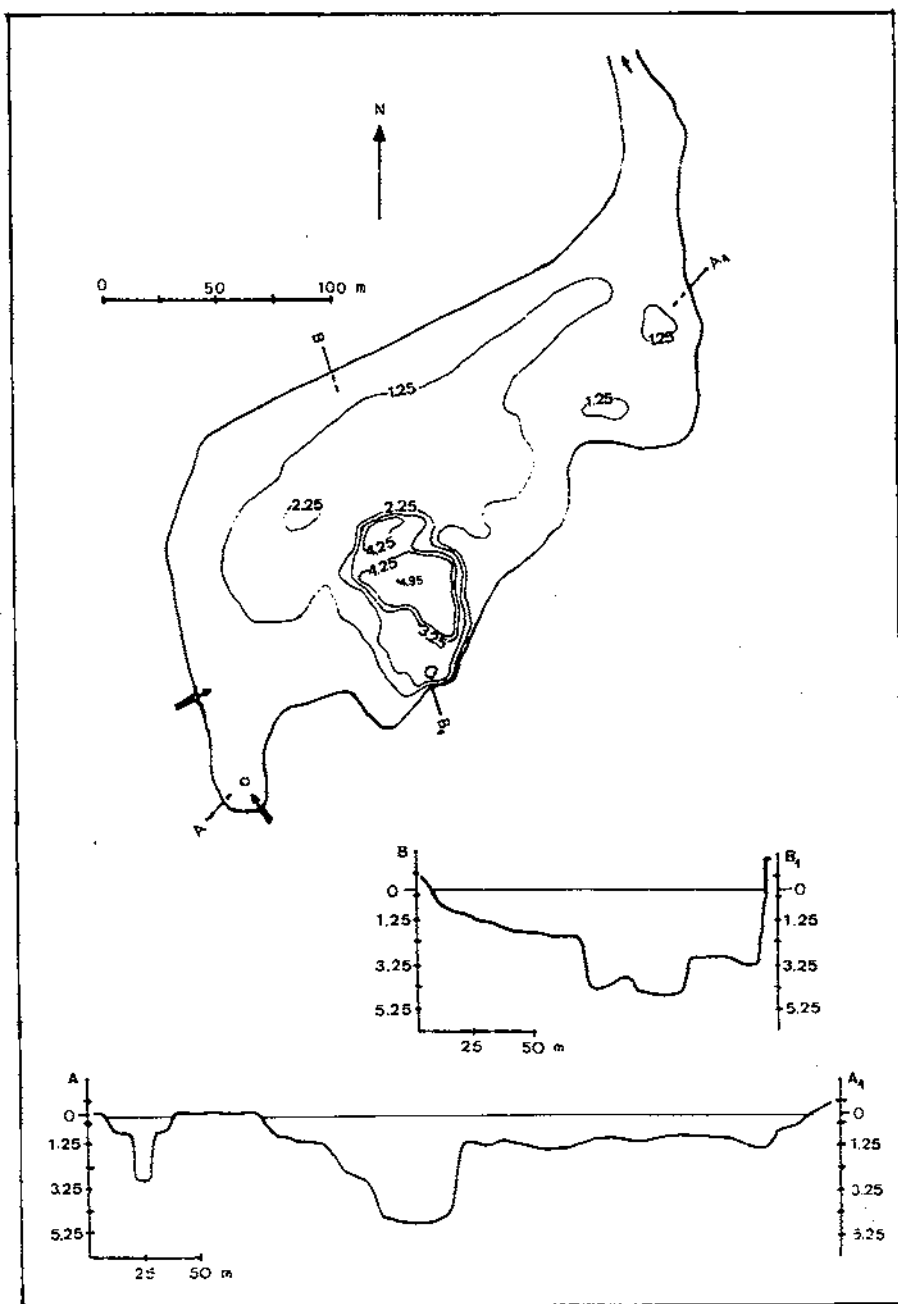


Figura 2. Mapa batimètric del Clot d'Espolla i perfils més representatius.

produeix llacs, estanyols i aiguamoixos, com els de Banyoles, Sant Miquel de Campmajor i el pla d'Usall.

Els objectius d'aquest treball han estat aprofundir en el coneixement de la fenomenologia surgent del pla, mitjançant una cartografia acurada de la zona i analitzar els paràmetres físico-químics més importants, i caracteritzar la seva principal manifestació, el Clot d'Espolla, en els seus aspectes morfomètrics i limnològics. Això ha estat possible gràcies a l'existència d'un cicle de surgència de tardor-hivern molt important, amb sortida d'aigua per la totalitat de les surgències (algunes feia més de deu anys que no havien entrat en funcionament) i la permanència de l'aigua en el Clot durant més de cinc mesos, des de l'octubre de 1987 fins al març de 1988.

### MATERIAL I MÈTODES

Per a la caracterització morfomètrica del Clot d'Espolla s'ha partit d'un mapa topogràfic a escala 1:2000 de la zona objecte de l'estudi. El nivell de l'aigua s'ha determinat a partir de les observacions de camp.

De la mateixa manera també s'ha realitzat la descripció de tot el sistema de surgències del pla d'Usall, sobre un mapa 1:10000.

Els paràmetres morfomètrics s'han calculat pels mètodes següents (Hutchinson, 1957; Wetzel & Likens, 1979):

$$\text{Amplada mitjana: } \bar{b} = A \cdot l^{-1}$$

Perímetre: mesurat amb un rotòmetre

$$\text{Fondària mitjana: } \bar{z} = V \cdot A_o^{-1}$$

$$\text{Fondària relativa: } z_r = 50 \cdot z_m \cdot \sqrt{\pi \cdot A^{-1}}$$

$$\text{Fondària centre de gravetat: } z_g = V^{-1} \cdot \int_0^{z_m} z \cdot A_z \cdot dz$$

$$\text{Pendent mitjà: } \text{tg } \epsilon = (1/2 \cdot L_o + L_1 + L_2 + \dots + L_{n-2} + 1/2 \cdot L_{n-1}) \cdot z_n \cdot (n \cdot A)^{-1}$$

$$\text{Volum: } V = \int_0^{z_m} A_z \cdot dz$$

$$\text{Desenvolupament del perímetre: } D_L = L \cdot (2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A})^{-1}$$

$$\text{Desenvolupament del volum: } D_V = 3 \cdot \bar{z} \cdot z_m^{-1}$$

essent  $l$ =llargada,  $v$ =volum,  $z_m$ =fondària màx.,  $A$ =àrea,  $A_z$ =àrea a la fondària  $z$ ,  $L$ =perímetre,  $L_z$ =perímetre a la fondària  $z$ .

Els fluxos de sortida de les surgències i estanyols del sistema s'han calculat pel mètode de flotació, estimant l'àrea de la secció del rec i la velocitat del corrent en un tram (Custodio & Llamas, 1976).

Periòdicament s'han obtingut dades per aquest sistema durant tot el cicle de tardor-hivern del conjunt de surgències del pla de Martís.

Els paràmetres limnològics s'han mesurat in situ amb els aparells següents: conductivitat: conductímetre YSI. Temperatura i  $O_2$ : oxímetre YSI. Extinció de llum: luxòmetre HIOKI. A partir de les gràfiques d'extinció de llum

realitzades en uns eixos semilogarítmics s'han calculat els pendents corresponents segons la fórmula

$$\eta = (z_2 - z_1) \cdot (\ln I_1 - \ln I_2)^{-1},$$

essent  $I_1$  i  $I_2$  les intensitats de la llum a les fondàries  $z_1$  i  $z_2$  respectivament.

Els mostratges s'han realitzat periòdicament durant tot el cicle de la tardor-hivern del Clot d'Espolla (des del 6-10-87 fins el 18-3-88), en un punt (de la fossa) de fondària a l'entorn dels 4 m.

En el moment de màxima surgència (entre el 7 i el 10 de desembre de 1987) també es va realitzar un mostratge comparatiu de les surgències més importants del sistema per als paràmetres de conductivitat, temperatura, oxigen i cabal.

## RESULTATS I DISCUSSIÓ

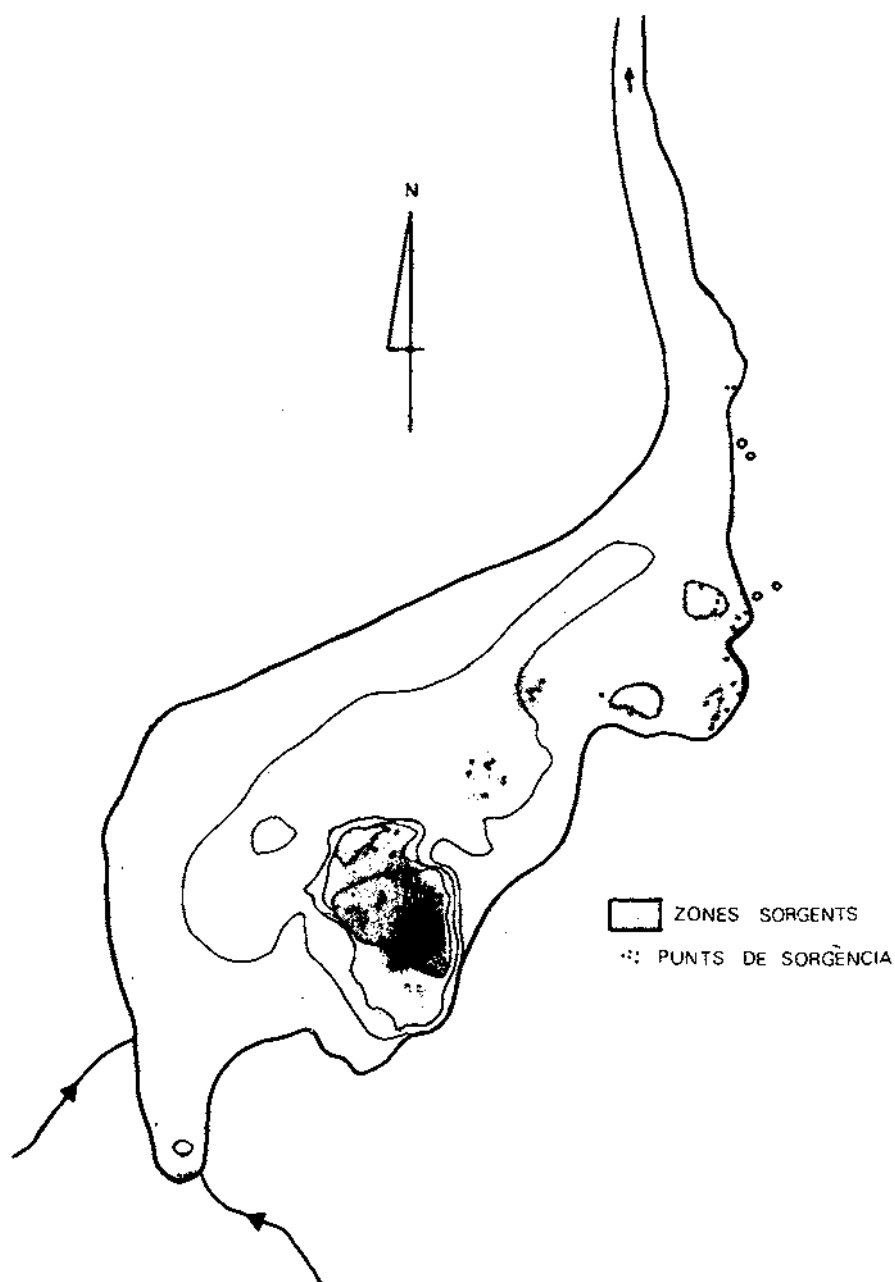
### Descripció del Clot d'Espolla i el conjunt de surgències del pla de Martís

Al principi de desembre de 1987, moment de màxima surgència del sistema, es va realitzar per primer cop una cartografia acurada de la xarxa hidrogràfica del complex surgent del pla de Martís (fig. 1). La zona estudiada constitueix aproximadament el terç meridional del pla, situat a una major altura que les dues terceres parts restants.

En aquesta zona hi ha un estanyol surgent important, el Clot d'Espolla, situat a la cota més baixa del sistema, dues surgències que formen petites basses (núms. 3 i 4), una sèrie de surgències puntuals, a una cota lleugerament més alta, i algunes de difuses, que inunden àrees de conreu.

El Clot d'Espolla (fig. 2), que constitueix la manifestació més important d'aquest fenomen surgent localitzat en el pla d'Usall, és una depressió natural situada a 220 m sobre el nivell del mar (la cota 220 es correspon amb el nivell de fondària 2,25 m), de 360 m de llargada per 145 m d'amplada màxima, i amb una fondària de 4,95 m en el seu punt més baix respecte del nivell màxim que assolix l'aigua (vegeu la taula 1, amb les seves característiques morfomètriques més importants).

La seva morfologia actual està molt influïda per l'home, que l'ha modificada construint marges més o menys rectilinis en algunes vores, per guanyar terrenys cultivables, i excavant en el seu fons, ja sigui per a extreure'n el travertí, com succeeix en la fossa principal, o per a assegurar l'aigua a l'estiu mitjançant un pou, com es va intentar fer en el petit lòbul sud-occidental. Si exceptuem aquestes dues artificialitzacions, el relleu del fons es caracteritza per l'existència d'ondulacions suaus del terreny que produeixen una alternança de petites depressions i promontoris, més accentuada en els llocs en què el travertí aflora a la superfície, sense estar recobert pel sòl. Aquestes zones d'afiorament coincideixen sovint amb les àrees de surgència (fig. 3), en què la força de l'aigua que hi brolla posa al descobert la roca, plena dels petits orificis arrodonits que



**Figura 3.** Zones de surgència del Clot d'Espolla, indicant els punts de surgència més importants de cadascuna. El mapa es va realitzar el dia 4-4-88, mentre s'omplia d'aigua per l'acció de les pluges dels dies anteriors, després d'unes setmanes de restar buit.

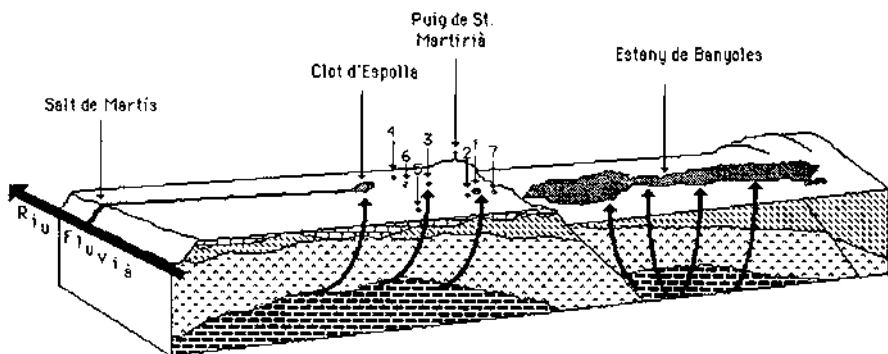
són característics dels processos de carstificació. Dintre de cada zona de surgència es poden apreciar també uns punts concrets, sovint esquerdes o forats a la roca, per on l'aigua brolla amb força, mentre que a la resta de la superfície ho fa d'una manera més difusa.

A més de l'aigua que rep del seu mateix conjunt de surgències, el Clot d'Espolla recull les aigües procedents d'un bon nombre de surgències exteriors (núms. 1, 2, 3 i 4 de la figura 1). Aquestes aportacions exteriors d'aigua tenen lloc a l'extrem SW del Clot, per mitjà de dos rierols procedents d'altres deus de la mateixa conca situades a cotes més elevades. Tot plegat constitueix la conca de recepció d'aigües del Clot d'Espolla, d'unes 95 ha de superfície.

Per l'extrem NE, finalment, l'amplada del Clot d'Espolla es va reduint fins a formar la riera, també molt artificialitzada i limitada per camps de conreu, per on circula l'aigua a través del pla de Martís. La riera segueix la direcció N, d'acord amb el suau pendent natural del pla, fins arribar al Fluvià, després de cobrir un desnivell de quasi 100 metres amb les cascades del Salt de Martís. També transcorren vers el Fluvià les aigües procedents de la surgència núm. 5, si bé aquestes ho fan a través del riu Serinyadell, afluent del Ser (fig. 4).

Però no tot el pla forma part de la conca del Fluvià, sinó que l'extrem meridional cedeix les aigües al Ter, encara que ho fa indirectament (surgència núm. 7), a través d'una riera (riera de Mardança) que porta les aigües a l'estanyol surgent de ca n'Ordis, i d'aquest a l'estany, i pel riu Garrumbert (surgència núm. 6), afluent del Terri.

Es pot definir, doncs, una línia divisòria d'aigües que talla el pla pel sud, separant la part que és aiguavessant del Fluvià (al nord) de la que ho és del Ter (al sud), en una zona aparentment molt plana i sense carenes visibles. A cada conca hi ha dues vies diferents de desguàs: la riera d'Espolla i el riu Serinyadell, pel Fluvià, i el riu Garrumbert i l'estany de Banyoles, pel Ter.



**Figura 4.** Distribució altitudinal de les surgències. Els numeros coincideixen amb els de la figura 1. Les surgències més baixes tenen períodes de surgència més freqüents i perllongats que les superiors.



En alguns punts del pla hi ha també zones conreades que queden parcialment inundades quan el Clot d'Espolla entra en funcionament. Aquest fenomen és més freqüent en les cotes baixes i es pot associar a l'existència de reixorts difusos.

Un últim aspecte a destacar és l'existència d'un altre estanyol intermitent en una antiga pedrera abandonada, prop del Clot d'Espolla, que evidencia les oscil·lacions del nivell piezomètric de l'aigua. No té desguàs superficial.

### Classificació altitudinal de les surgències

No totes les surgències del pla de Martís es troben a la mateixa altitud, sinó que presenten un gradient topogràfic des del Clot d'Espolla, a 220 m, fins a l'Ull de Porc, a l'entorn dels 240 m. Aquesta diferència fa que, pel mateix mecanisme de «trop plein» que dona lloc a la intermitència del Clot d'Espolla, les surgències més altes tinguin períodes de sequera molt perllongats (poden fins i tot restar inactives durant molts anys si no es donen les condicions pluviomètriques adequades que recarreguin l'aqüífer subterrani fins a conferir la pressió que les activa (fig. 5), mentre que les més baixes entren en funcionament pràcticament cada any.

Taula 1. Dades morfomètriques i morfològiques del Clot d'Espolla.

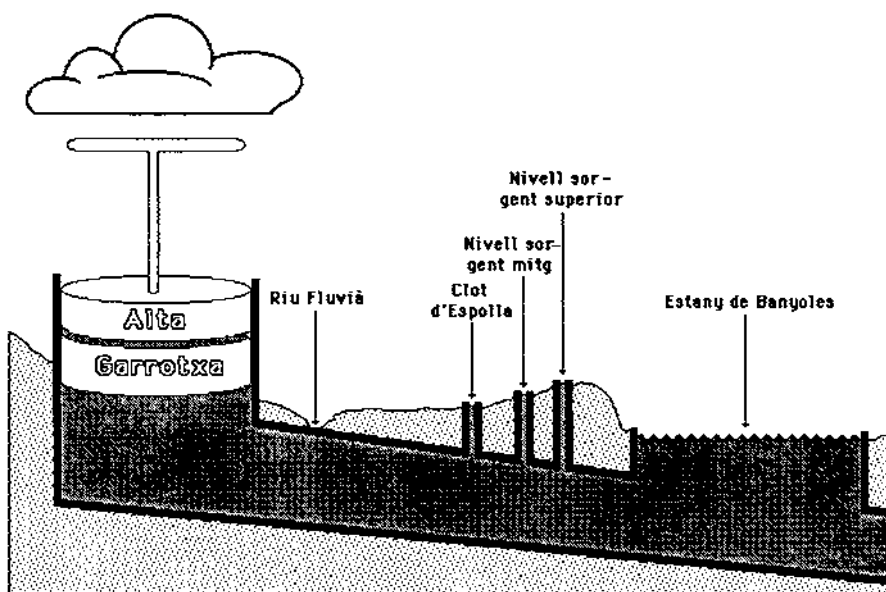
---

Llargada:  $l = 360$  m  
 Amplada màxima:  $b_m = 145$  m  
 Amplada mitjana:  $\bar{b} = 87.05$  m  
 Perímetre:  $L = 950$  m  
 Fondària màxima:  $z_m = 4.95$  m  
 Fondària mitjana:  $\bar{z} = 1.26$  m  
 Fondària relativa:  $z_r = 2.48\%$   
 Fondària centre gravetat:  $z_g = 0.84$  m  
 Pendent mitjà:  $\epsilon = 3^\circ$   
 Àrea:  $A = 31336.84$  m<sup>2</sup>  
 Volum:  $V = 39514.745$  m<sup>3</sup>  
 Àrea/Volum:  $A/V = 0.793$  m<sup>-1</sup>  
 Desenvolupament perímetre:  $D_L = 1.51$   
 Desenvolupament volum:  $D_V = 0.76$   
 $\bar{z}/z_m = 0.26$

---

Fondària (m)	Perímetre (m)	Àrea (m <sup>2</sup> )	Volum (m <sup>3</sup> )
0	950	31336.8	27480.25
1.25	750	12631.6	7826.31
2.25	260	2857.9	2335.26
3.25	190	1757.9	1483.97
4.25	190	1205.3	388.955
			<hr/> 39514.745

---



**Figura 5.** Model idealitzat de relació entre la pressió de l'aqüífer en calcàries i la distribució altitudinal de les surgències.

Segons aquest criteri, es poden agrupar en tres nivells: l'inferior, al voltant de la cota 220, que inclou el Clot d'Espolla i l'antiga pedrera i entra en funcionament gairebé a cada estació de pluges, essent el que presenta una major quantitat d'aigua surgent; el nivell mitjà, entre les cotes 220 i 230, agrupa les surgències de la Mussoga, el Pou Rodó, la Deu de Quel Simó i l'Om del Granger, que comencen a brollar normalment de forma gairebé simultània amb el Clot d'Espolla, però amb menys cabal, i deixen de fer-ho abans; el superior, finalment, engloba les deus de Mardança, Carmellosa i Ull de Porc, superiors als 230 m d'alçada, les quals entren en funcionament amb una cadència més llarga i per períodes de temps molt breus. Cal esmentar, però, que les surgències més baixes de Mardança estan per sota dels 230 m i per tant formen part encara dels nivells mitjà i inferior, amb períodes de surgència més freqüents i perllongats. L'activació o no d'un o més nivells de surgència depèn de la pressió de l'aqüífer, de manera que a més pressió, assoleix major cota l'aigua i brollen per tant surgències més altes.

### **Anàlisi comparativa de les surgències més importants**

Durant els dies de màxima surgència també es va realitzar un mostratge comparatiu de les deus més importants del pla i de dos brolladors del Clot d'Espolla, així com d'un punt de la riera per la qual desguassa el Fluvià.

Els resultats d'aquests paràmetres, expressats a la taula 2, confirmen la importància del Clot d'Espolla com a principal agrupació de surgències, amb el 60% del cabal total d'aigua surgent, i la procedència subterrània de les aigües, que tenen un baix contingut en oxigen dissolt (al voltant de  $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) i una temperatura ( $11\text{-}14 \text{ }^\circ\text{C}$ ) força superior a la de l'aire ( $4\text{-}9 \text{ }^\circ\text{C}$ , segons el moment del dia en què es va mostrejar). A excepció de la sortida d'Espolla, en què l'aigua surgent ja estava barrejada i s'havia oxigenat, i de la surgència de l'Om del Granger, en què no es va poder arribar directament a mostrejar en el punt de sortida, els valors de conductivitat oscil·len entre  $400$  i  $450 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , força baixos si els comparem amb els de les altres surgències del sistema hidrogeològic de Banyoles (Sanz, 1981).

**Taula 2.** Anàlisi comparativa de les característiques físico-químiques del conjunt de surgències del pla de Martís, segons el mostreig realitzat els dies 7 i 8 de desembre de 1987.

Surgència	Cabal ( $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Oxigen ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	Conductivitat ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )
<b>Conca del Clot d'Espolla:</b>				
Carmellosa	229	12.0	2.95	410
Pou Rodó	133	10.8	3.00	400
Deu de Quel Simó	393	12.4	2.90	440
Espolla SW	—	11.5	3.90	440
Espolla NE	—	14.0	2.80	470
Riera Espolla <sup>1</sup>	3094	9.0	7.20	395
<b>Conca del Serinyadell-Fluvià:</b>				
Mussoga	375	12.0	3.15	425
<b>Conca del Garrumbert-Ter:</b>				
Om del Granger	236	9.0	7.00	410
<b>Conca de l'estany-Ter:</b>				
Mardançà	142	—	—	—

(1) Total del sistema de surgències de la conca del Clot d'Espolla.

No s'aprecien, doncs, grans diferències entre els paràmetres físico-químics de les surgències del pla de Martís, de manera que es poden considerar totes elles dins d'una mateixa unitat surgent.

La coincidència entre els períodes importants de recàrrega de l'aqüífer i l'activació de les surgències ens indica que els fenòmens surgents del pla d'U-sall resulten de l'augment de pressió de l'aqüífer subterrani del sistema de Banyoles. Malgrat tot, la baixa conductivitat i l'escàs contingut en oxigen dissolt ens poden suggerir que l'entrada en funcionament del Clot d'Espolla i altres manifestacions surgents s'alimenta de circuits càrstics preferents i de diàmetres grans, on no és fàcil la dissolució de les roques, poc influïdes per tant, per les aigües d'infiltració del mateix aquífer en travertins del pla. La ràpida davallada dels cabals surgents a partir dels primers dies d'activació (fig. 6) podria suposar un buidat proporcional dels conductes càrstics principals.

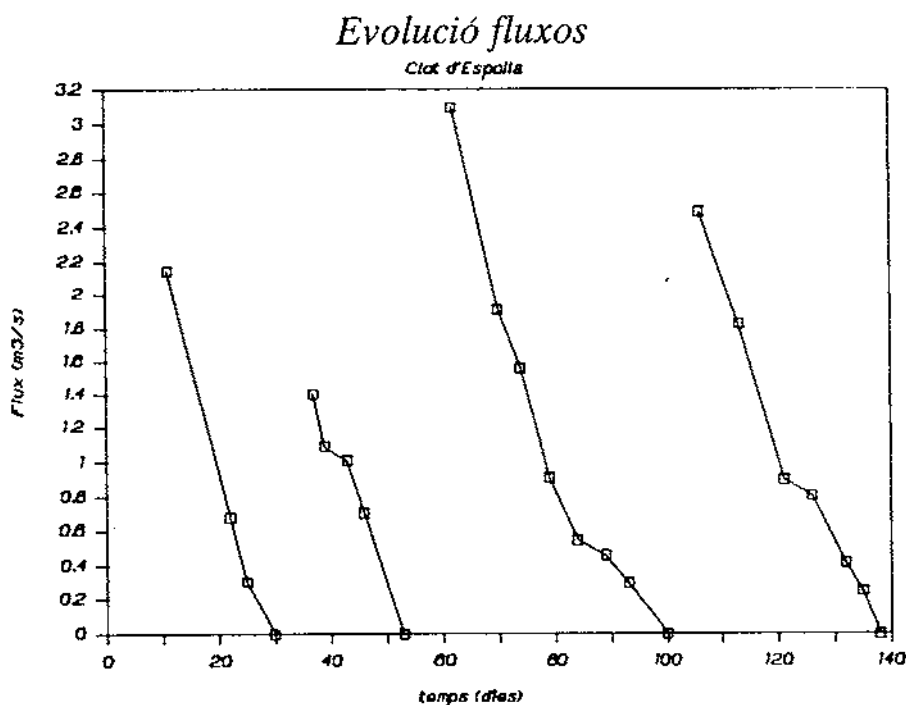


Figura 6. Evolució dels fluxos de la riera d'Espolla al llarg del cicle de tardor-hivern 1987-88.

### **Evolució dels cabals d'aigua surgent del sistema al llarg d'un cicle de tardor-hivern**

Al llarg de tot el cicle de tardor-hivern 1987-88 s'ha efectuat un seguiment dels cabals d'aigua de les principals surgències del pla d'Usall. S'han mesurat els fluxos del Pou Rodó i la Carmelosa (a l'entrada del Clot d'Espolla), de la Deu de Quel Simó (entre la surgència i el Clot) i de la riera d'Espolla (al capdavant del pla), i també els de la Mussoga (a pocs metres de la surgència) en l'última part del cicle (gener-febrer de 1988). Els resultats estan expressats a la taula 3 i a la figura 6.

L'anàlisi d'aquests resultats mostra una gran heterogeneïtat al llarg del cicle, que es troba dividit en quatre fases que repeteixen sempre un mateix comportament: un punt màxim de surgència a l'inici, coincidint amb l'efecte compressor d'un fort període de pluges, i una disminució progressiva dels cabals fins a deixar de brollar. En totes quatre fases el gràfic és molt similar, i només es diferencia en el valor màxim que s'assoleix al principi i, en alguns casos, en la durada, més gran quan el valor inicial és molt alt i quan hi ha nous períodes de pluges dintre de la fase.

Taula 3. Evolució dels cabals de les principals surgències durant el cicle de tardor-hivern 1987-88.

Dia	Cabals (L.s <sup>-1</sup> )			
	Deu de Quel Simó	Pou Rodó i Carmel·losa	Riera Espolla	Mussoga
17-10-87*	189.3	88.4	2144.7	—
28-10-87	0	0	678.8	—
31-10-87	0	0	308.0	—
05-11-87	0	0	0	—
12-11-87*	84.5	36.0	1403.7	—
14-11-87	90.5	43.5	1089.7	—
18-11-87	0	0	1008.0	—
21-11-87	0	0	701.2	—
28-11-87	0	0	0	—
07-12-87*	393.0	498.5	3094.3	—
15-12-87*	205.2	283.6	1911.5	—
19-12-87	184.0	162.0	1561.9	—
24-12-87	114.9	111.1	906.6	—
29-12-87	76.9	64.8	544.9	—
03-01-88	0	0	456.8	—
07-01-88	0	0	299.7	—
14-01-88	0	0	0	—
20-01-88*	420.0	306.8	2488.9	285.7
27-01-88	163.1	145.8	1824.0	300.4
04-02-88	127.1	77.3	896.0	127.5
09-02-88	48.7	47.5	800.0	0
13-02-88	0	0	—	0
15-02-88	0	0	417.1	0
18-02-88	0	0	252.0	0
21-02-88	0	0	0	0
18-03-88	El Clot d'Espolla deixa de contenir aigua embassada.			

\* Durant els dies anteriors als que estan marcats amb l'asterisc va estar plovent de forma persistent.

Els dos rierols d'entrada del Clot d'Espolla tenen un període de funcionament més curt, ja que les seves deus es troben a més alçada que el Clot i per tant deixen de brollar abans. El flux més gran correspon al que prové de la deu de Quel Simó, excepte quan brolla la Carmel·losa.

El Clot d'Espolla i el conjunt de sorgències associades comparteixen els mecanismes i circuits del sistema hidrogeològic de Banyoles i es localitzen coincidents amb una certa estructura "dòmica" de la superfície piezomètrica, al Sud del pla. Aquesta especial morfologia de la superfície freàtica possiblement palesi una circulació hídrica preferent associada a fractures del zòcol eocènic fossilitzades pel travertí compacte subaflorant del pla. Aquest conjunt travertínic indicaria un estadi surgent molt important, previ a la individualització de la fossa de Banyoles i de l'activació de les surgències de l'estany i la seva perifèria.

### Caracterització físico-química de la columna d'aigua del Clot d'Espolla en un cicle de tardor-hivern

Al Clot d'Espolla s'ha estudiat, també durant aquest cicle de tardor-hivern 1987-1988, l'evolució dels paràmetres físico-químics més importants des del punt de vista limnològic, mitjançant mostratges de la columna d'aigua en un dels punts de la fossa.

Com a resultat d'aquestes anàlisis s'han elaborat els gràfics de conductivitat,  $O_2$  i temperatura segons la fondària i el temps, que estan representats en les figures 7, 8 i 9, així com els d'extinció de llum en fondària de la figura 10.

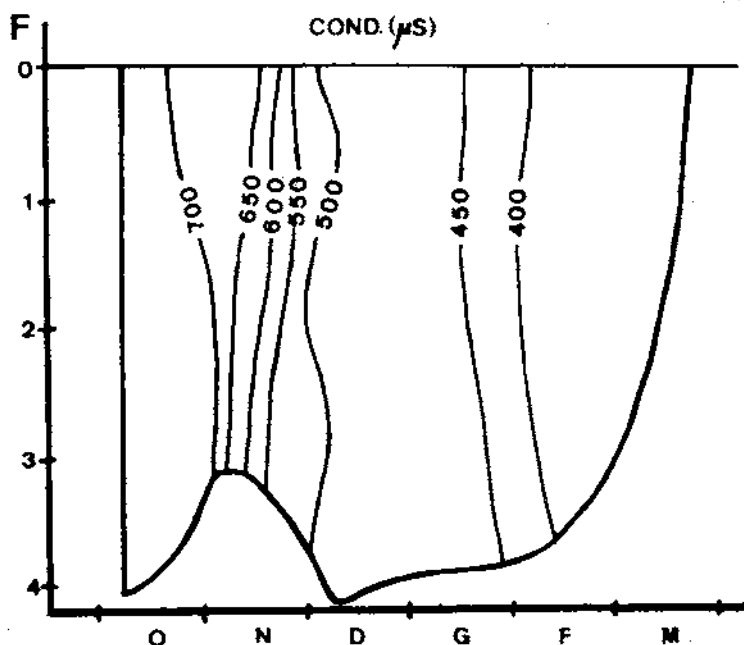


Figura 7. Evolució de la conductivitat en  $\mu S \cdot cm^{-1}$  segons la fondària i el temps en el Clot d'Espolla, durant el cicle de tardor-hivern 1987-88. La columna d'aigua analitzada correspon a un punt de la fossa de màxima fondària, de profunditat variable al llarg del cicle dependent del nivell de l'aigua en el Clot.

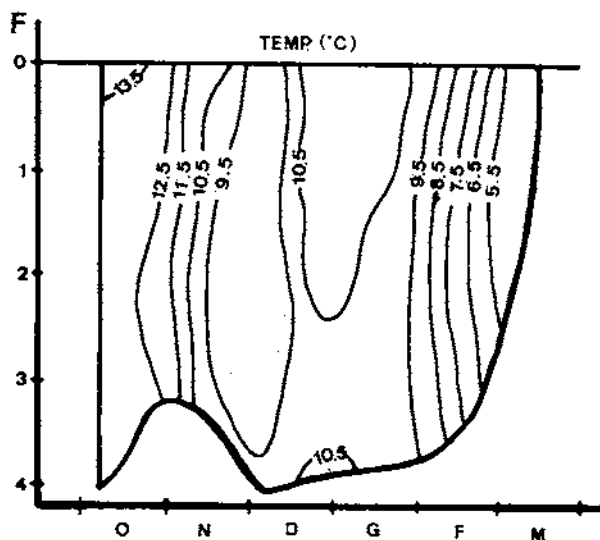


Figura 8. Evolució de la concentració d'oxigen en ppm ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) segons la fondària i el temps en el Clot d'Espolla, durant el cicle de tardor-hivern 1987-88. La columna d'aigua analitzada correspon a un punt de la fossa de màxima fondària, de profunditat variable al llarg del cicle depenent del nivell de l'aigua en el Clot.

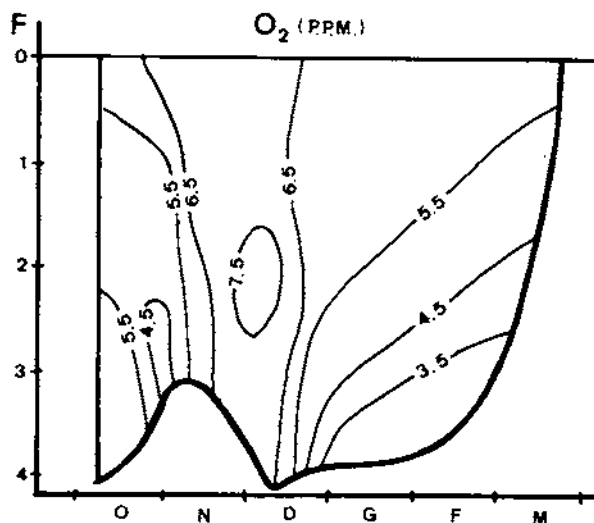
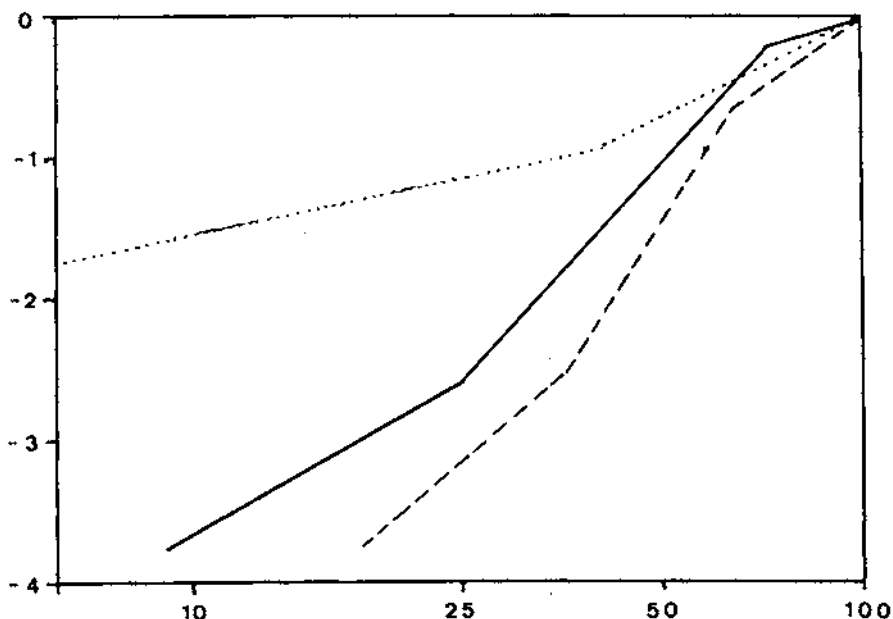


Figura 9. Evolució de la temperatura en graus centígrads segons la fondària i el temps en el Clot d'Espolla, durant el cicle de tardor-hivern 1987-88. La columna d'aigua analitzada correspon a un punt de la fossa de màxima fondària, de profunditat variable al llarg del cicle depenent del nivell de l'aigua en el Clot.



**Figura 10.** Extinció de llum en el Clot d'Espolla en tres moments del seu cicle de tardor-hivern 1987-88, segons valors obtinguts en una columna d'aigua de la fossa de màxima profunditat. L'eix vertical representa la fondària en metres, i l'horitzontal el percentatge de transmissió de la llum, en escala logarítmica. La línia contínua correspon als resultats del dia 28-11-87, la discontinua als del 3-1-88 i la línia de punts, als del 5-3-88. L'últim valor de cada gràfic correspon al fons de la columna, de profunditat variable segons el nivell de l'aigua en el Clot. Els coeficients d'extinció s'indiquen en la taula 4.

En els valors de conductivitat s'observa un descens progressiu des de l'inici del cicle fins al final, amb una gran homogeneïtat dins de la columna d'aigua. No es pot parlar, doncs, d'estratificació química. Sí que hi ha, però, una relació amb els fluxos d'aigua surgent, de manera que quan aquests disminueixen, la conductivitat també és menor, degut a què gran part de les sals en dissolució són aportades per l'aigua subterrània.

La temperatura presenta també un comportament similar, relacionat amb els fluxos d'aigua surgent. La columna no està estratificada tèrmicament, però presenta valors relativament elevats respecte de la temperatura ambiental, a causa de l'origen subterrani de l'aigua, especialment al capdavall del cicle.

La concentració d'oxigen, en canvi, presenta valors molt similars al llarg del cicle, lleugerament baixos (al voltant de  $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) per la naturalesa subterrània de l'aigua, amb dues excepcions: la primera, en el mes de desembre, amb un màxim de  $7,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  a 2 m de profunditat, possiblement deguda a un desenvolupament massiu del fitoplàncton, ja que es troba en una zona ben il·luminada; la segona, a partir del gener, amb un descens de les concentra-



cions en els últims metres fins a un mínim de  $2,75 \text{ mg.L}^{-1}$  en el fons, per la descomposició de matèria orgànica, tant autòctona (restes vegetals i animals) com al·lòctona (fems, adobs i fertilitzants abocats al Clot per les granges i pels conreus veïns). Entre aquestes dues manifestacions hi ha una clara relació de causa-efecte, ja que el gran desenvolupament del fitoplàncton en un moment determinat provoca una acumulació de matèria orgànica en descomposició al cap d'un cert temps, accentuada de forma anòmala per les entrades al·lòctones de matèria en descomposició.

Les gràfiques d'extinció de la llum (fig. 10), finalment, mostren un augment de la terbolesa al capdavant del cicle, per acumulació del plàncton i la matèria en suspensió en un volum d'aigua més reduït, tot dificultant el pas de la llum. Exceptuant aquest moment culminant, la quantitat de llum que arriba al fons (al voltant del 10% de la llum incident de 4 m de fondària) està en el límit per a permetre-hi la vida vegetal. En realitat les plantes aquàtiques ja no poden colonitzar el fons de la fossa, per sota dels 4 m de profunditat, però sí que n'ocupen els marges, fins a més de 3 m per sota del nivell màxim de l'aigua. Les superfícies restants, entre 1 i 2 m, són ocupades perfectament per la vegetació, tant aquàtica com helofítica, no essent ja la llum un factor limitant (al voltant del 40% de la llum arriba als 2 m de fondària).

L'extinció de llum dintre de la columna d'aigua segueix normalment tres fases: la primera, d'extinció sobtada, per la presència d'algues i partícules que provoquen terboleses superficials i dificulten el pas de la llum; la segona, d'extinció aientida provocada pel fitoplàncton, com es correspon amb els màxims d'oxigen; i la tercera (només en la fossa, ja que es dona per sota dels 2,5 m de fondària), altre cop d'extinció ràpida per les terboleses del fons. Al final del cicle, en concentrar-se el plàncton es produeix una extinció molt ràpida, en dues fases, la segona més sobtada en afegir-s'hi l'absorció per terbolesa. Els coeficients d'extinció corresponents a cadascuna d'aquestes fases estan expressats en la taula 4.

**Taula 4.** Valors numèrics dels coeficients d'extinció de la llum a la columna d'aigua del Clot d'Espolla. Els coeficients d'extinció corresponen als pendents des de la superfície al fons en les dates assenyalades.

	28-11-87	23-01-88	25-03-88
$\eta_1$	1,48	0,67	0,94
$\eta_2$	0,44	0,30	2,00
$\eta_3$	0,79	0,52	-

## Interpretació i caracterització morfomètriques i limnològiques del Clot d'Espolla

En tractar del Clot d'Espolla cal tenir en compte que, per la seva mateixa dinàmica, els paràmetres limnològics es veuen modificats per la presència intermitent de l'aigua i per l'elevat cabal de sortida, que defineix la qualitat de l'aigua de la columna. Aquest té uns condicionaments que en alguns aspectes són similars als dels rius.

Per la forma del fons, el Clot d'Espolla s'aproxima a un con, amb valors de  $z/z_m$  i  $D_v$  ( $z/z_m < 0,33$  i  $D_v = 0,76$ ) propis dels llacs de dissolució o bé, com en el nostre cas, parcialment aprofundits per activitats extractives del travertí.

La fondària relativa, que representa la fondària màxima respecte al diàmetre mitjà en forma de percentatge, obté un valor ( $z_r = 2,48\%$ ) propi dels llacs plans. Aquest paràmetre ens indica l'estabilitat de la massa d'aigua en relació a la mescla vertical, essent directament proporcional a la dificultat de mescla. En el nostre cas, un valor tan baix és indicatiu d'una gran facilitat de mescla. Aquesta interpretació és vàlida quan el Clot d'Espolla es comporta com un estany normal, amb cabals de sortida baixos o nuls, però la situació més freqüent és la d'un cabal de sortida prou gran com per a provocar per ell mateix la mescla total de la columna, tal com es pot observar a les figures 7, 8 i 9. La mateixa interpretació és vàlida per la  $z_g$  o fondària del centre de gravetat, també molt petita ( $z_g = 0,84$  m).

El pendent mitjà del fons del Clot d'Espolla, d'uns 3°, indica que, en el seu conjunt, és molt pla.

El desenvolupament del perímetre representa l'efecte potencial dels processos litorals sobre la massa d'aigua. En el cas d'Espolla és relativament elevat ( $D_L = 1,51$ ), tot remarcant un grau d'allunyament de la forma circular ( $D_L = 1$ ), força important.

En la corba hipsogràfica (àrea-fondària) del Clot d'Espolla (fig. 11) s'aprecia com el 90% aproximadament de l'àrea del fons es troba entre 0 i 2 m de fondària. Aquesta àrea, colonitzable per la vegetació aquàtica i helofítica del litoral, és molt important en el Clot d'Espolla, però es veu afectada per l'estacionalitat de l'ocupació de l'aigua. La corba de volum-fondària (fig. 12) està relacionada amb el grau d'exposició de la massa d'aigua a la llum, i per tant amb la possibilitat de creixement (producció primària) del fitoplàncton. En els llacs poc profunds, com aquest, els grans volums (al voltant d'un 90% en el Clot d'Espolla) resten exposats a la llum. Això té com a conseqüència una gran producció primària, però que en el Clot d'Espolla es veu afectada per la pèrdua d'aigua en les èpoques de gran cabal de sortida amb una taxa de renovació de l'aigua que en els moments de cabal màxim, és de 3,5 hores.

El sistema de surgències del Pla de Martís-Usall representa un fenomen singular dintre de la zona lacustre de Banyoles. El Clot d'Espolla és un exemple singular de la dinàmica d'un estany intermitent. Aquest fet determina l'a-

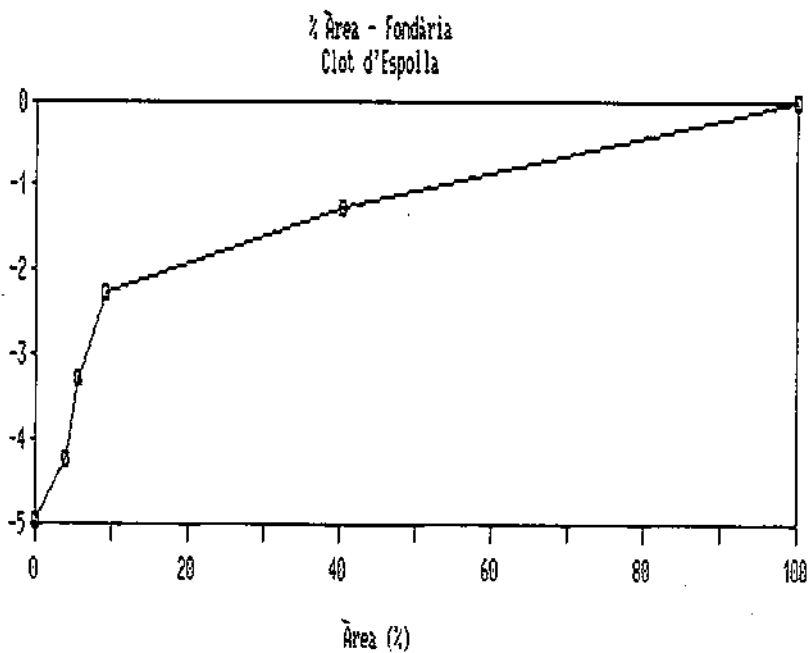


Figura 11. Corba hipsogràfica del Clot d'Espolla.

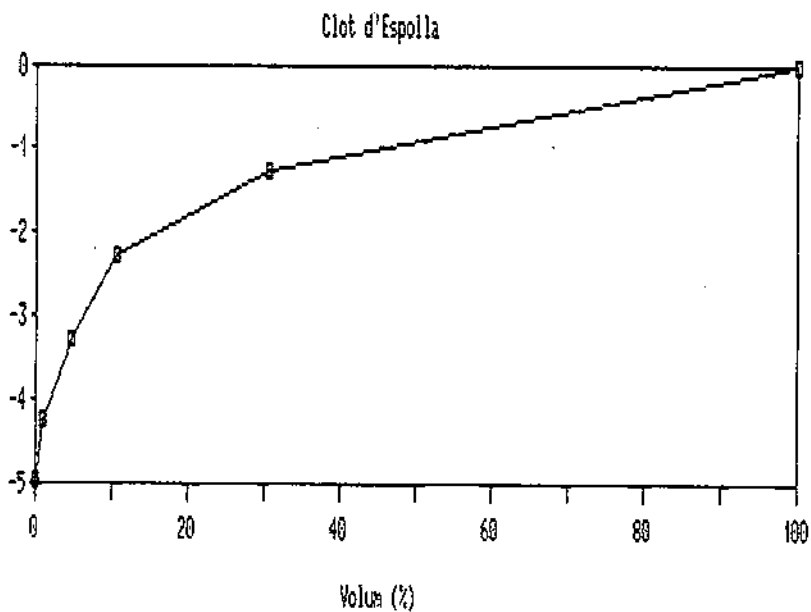


Figura 12. Corba volum-fondària del Clot d'Espolla.

daptació de les poblacions a la presència o absència d'aigua. Així les poblacions millor adaptades són les del conegut crustaci *Triops cancriformis* i d'una gran varietat d'espècies d'amfibis.

### Bibliografia

- BENTABOL, M. (1909). Hidrología subterránea y superficial de la Provincia de Gerona. *Bol. Com. Mapa Geológico de España*. Madrid. 2.ª serie, tomo XXX: Mapa Geológico: 129-208.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R. (1976). *Hidrología subterránea*. Ed. Omega, Barcelona.
- HUTCHINSON, G.E. (1957). *A treatise of limnology*. Volume I, parts 1 (Geography and Physics of Lakes) i 2 (Chemistry of Lakes). Ed. Wiley & Sons, Toronto.
- JULIÀ, R. (1980). *La conca lacustre de Banyoles-Besalú*. Monografies del Centre d'Estudis Comarcals de Banyoles.
- SANZ, M. (1981). *El sistema hidrogeològic de Banyoles - La Garrotxa*. Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- SANZ, M. (1986). Origen i funcionament de les aigües freàtiques de la comarca de Banyoles. A: C.A. Abellà, S. Cardenal, J. Moner, P. Plantés i J. Riera (eds), *Primeres Jornades sobre l'Estany de Banyoles*: 21-26. Ed. Diputació de Girona.
- SOLÉ, L. (1957). *Generalités, Empordà région volcanique d'Olot, Cerdagne, Andorre, Vallés du Segre et de l'Aragon (Hemme) Journée, Gironne, Banyoles, Olot, Ripoll et Nuria*. INQUA V Congrès International. Livret guide de l'excursion N1, Pyrénées, Madrid-Barcelona.
- SOLÉ, L. (1958). *Geografia de Catalunya*. Barcelona, Ed. Aedos.
- VIDAL, L.M. (1960). *La alimentación subterránea del lago de Bañolas y algunos datos sobre los depósitos lacustres de sus inmediaciones*. Min. Obr. Publ. Bol. núm. 7, Madrid.
- VILA, X. (1988). *Estudi hidrogeològic del pla d'Usall*. Treball de curs de Geologia. CUG (UAB).
- WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E. (1979). *Limnological analyses*. Ed. Saunders Co., Toronto.