



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FI DE CARRERA

Títol

**ACTUALITZACIÓ HIDROGEOLÒGICA DE LA
LLACUNA DE LA RICARDA, AL DELTA DEL
LLOBREGAT, EN EL MUNICIPI DEL PRAT DE
LLOBREGAT.**

Autor/a

Alba Grau Martínez

Tutor/a

Dra. Nieves Lantada Zarzosa / Dr. Enric Vázquez Suñe

Departament

Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica

Intensificació

Data

21 d'octubre 2009

RESUM

El present treball es situa dins l'àmbit del Delta del Llobregat, al municipi del Prat del Llobregat i, concretament a la finca de la Ricarda.

En aquesta finca, molt pròxima a l'Aeroport de Barcelona, s'hi troba la llacuna de la Ricarda, zona humida de gran valor ecològic.

El Delta del Llobregat està molt documentat hidrològicament, però només en el treball *Hernández y Vázquez-Suñe, 1995* s'ha estudiat les relacions entre la llacuna de la Ricarda, l'aqüífer i el mar. Per això el present estudi té com a principal objectiu fer una actualització hidrogeològica de dit estudi, a més de conèixer amb major detall el funcionament hidràulic de la llacuna, quantificar els fluxos implicats i determinar la qualitat de l'aigua de la llacuna.

Un aspecte important que cal remarcar és el fet que les obres de la construcció de la tercera pista de l'Aeroport han provocat una impacte negatiu i permanent sobre la llacuna de la Ricarda, i que s'han valorat en aquest treball.

Per tal d'assolir els objectius d'aquest estudi s'han construït sis piezòmetres al voltant de la llacuna, i s'ha inclòs un dels piezòmetres de les obres del desviament del riu Llobregat. Cadascun d'ells ha estat instrumentat per obtenir dades diàries de temperatura, conductivitat i nivell piezomètric de l'aqüífer superficial. A més també s'han realitzat tres campanyes de camp al llarg del període d'estudi, on s'ha mesurat la conductivitat i la temperatura de l'aigua de la llacuna.

Per últim, s'ha realitzat un balanç hídric per a tot el període d'estudi, per tal de poder valorar quantitativament les entrades, les sortides i la variació d'emmagatzematge en la llacuna.

ABSTRACT

This work lies within the Delta del Llobregat, in the municipality of El Prat del Llobregat and particularly in the plot of land of La Ricarda.

In this area, very close to the Barcelona Airport, it is located the lagoon of La Ricarda, a humid land of great ecological value.

The Delta del Llobregat has been well documented from the hydrologic point of view, but only in the work by *Hernández and Vázquez-Suñe (1995)* are explained the connections among the Ricarda lagoon, the aquifer and the sea. Therefore the main purpose of this study is to upgrade hydrogeologically this work, as well as to learn in greater detail the functioning of the lagoon water, quantify the flows involved and determine the quality of the lagoon's water.

One important thing to emphasize is that the works of building the third runway of the airport have led to a permanent negative impact on the Ricarda lagoon, which is rated in this work. In order to achieve the objectives of this study six piezometers have been built around the lagoon and one of the piezometers of the works of diversion of the Llobregat's river has been included as well. Each of them has been implemented for daily data of temperature, conductivity and piezometric level of the superficial aquifer. In addition, we have also conducted three field campaigns, in order to measure the conductivity and temperature of the lagoon's water.

Finally, a water balance for the entire study period has been conducted, in order to assess quantitatively the inputs, outputs and storage changes in the lake.

AGRAÏMENTS

Finalment ha arribat el moment que he estat esperant durant aquests últims anys de carrera, el moment d'escriure els agraïments al treball de final d'estudis. Aquest moment l'he esperat amb molta il·lusió ja que em marca el final d'una etapa; l'aprenentatge a la universitat i el començament d'una altre, essent ja Enginyera Geòloga.

Vull donar les GRÀCIES:

En primer lloc als meus tutors la Dr. Nieves Lantada Zarazoa i el Dr. Enric Vázquez per l'ajuda que m'han ofert al realitzar la tesina. Sempre m'han resolt tots aquells problemes que he tingut sense cap mena de condicionament.

A la Comunitat d'Usuaris d'Aigües del Delta del Llobregat per subvencionar el material utilitzat per la construcció dels piezòmetres i per deixar-me tota la seva infraestructura.

Al Parc Agrari del Baix Llobregat, per deixar-me el material de perforació manual.

A tots els companys de feina de la CUADLL: Enric, Vinyet, Pau, Clara, Marina, Jordi, Magda i Gemma, per l'ajuda rebuda, per compartir dinars ,“vermutillos” i infinitats de cafès.

Als amics i companys de carrera en especial a tots aquells que hem compartit moments genials, infinitats de cafès, sortides de camp, “cotilleos”, nits de festa, barbacoes, i com no les penúries dels exàmens... Gràcies per tots aquests anys.

Als meus pares i a la meva germana, per tot el seu recolzament, la seva ajuda i els seus ànims en aquests anys de carrera.

I per acabar, quatre paraules especials per en Joan, el que haig d'agrair el suport incondicional en cada moment, els ànims, l'ajuda rebuda i tantes altres coses, gràcies per estar al meu costat tot aquest temps.

A tots vosaltres, moltes gràcies!

Alba Grau Martínez

ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ	1
1.1	ANTECEDENTS.....	1
1.2	OBJECTIUS	2
1.3	SITUACIÓ GEOGRÀFICA	3
1.4	SITUACIÓ GEOLÒGICA.....	4
2.	METODOLOGIA.....	7
2.1	INTRODUCCIÓ.....	7
2.2	INVENTARI	8
2.3	TOPOGRAFIA.....	11
2.4	ESTUDI PIEZOMÈTRIC.....	12
2.5	ESTUDI HIDROGEOQUÍMIC.....	13
2.6	BALANÇ HÍDRIC.....	13
3.	EVOLUCIÓ PIEZOMETRICA.....	14
4.	ESTUDI HIDROQUÍMIC DE LA LLACUNA DE LA RICARDA	20
4.1	Campanyes de camp	20
4.1.1	Campanya de febrer 11/02/09.....	20
4.1.2	Campanya d'abril 15/04/09.....	24
4.1.3	Campanya de juny 10/06/09.....	27
5.	BALANÇ HÍDRIC.....	30
5.1	Entrades al sistema	32
5.1.1	Pluviometria	32
5.1.2	Aportacions de canal i retorns de rec.....	32
5.2	Sortides del sistema	34
6.	CONCLUSIONS	37
7.	REFERENCIES BIBLIOGRÀFIQUES	39
	ANNEX 1:Piezometria de l'estudi.....	44
	ANNEX 2:Annex fotogràfic.....	52

1. INTRODUCCIÓ

1.1 ANTECEDENTS

L'aqüífer costaner del Baix Llobregat, amb una superfície d'uns 120 km², està situat molt a la vora de la ciutat de Barcelona. El comportament estratègic de garantia d'abastament a l'àrea metropolitana de Barcelona en una zona de clima mediterrani, ha estat i és el principal motiu per a la realització de nombrosos estudis des de principis del segle XX (*Santa Maria i Marín, 1910; Custodio, 1966; CAPO, 1966; Marqués, 1986; Peláez, 1983; Iribar 1992; Manzano, 1993; Gámez, 2007 entre d'altres*)

Hidrogeològicament s'hi diferencia la zona de la Vall Baixa, que presenta un caràcter d'aqüífer al·luvial lliure, i una zona deltaica on s'hi diferencien dos aquífers, un de superficial i lliure, i l'altre profund i confinat per un tascó de materials llimosos i argilosos de prodelta, d'espessor creixent de terra cap a mar de fins a 30 m de potència. Lateralment i cap a les vores, aquest tascó de llims canvia de fàcies a materials arenosos, fet que provoca que a les zones de marge deltaics ambdós aquífers es comuniquin.

El Delta de Llobregat presenta varies i importants zones humides en tota la seva extensió amb un gran interès ecològic i de biodiversitat per la gran quantitat de fauna i flora que s'hi troba. Són zones amb un grau elevat de conservació, tan a nivell de flora com de fauna, pel sol fet de ser una zona de maresmes on s'hi barregen els dos ambients: terrestre i marí. Per tant, algunes de les espècies marines com l'anguila entre d'altres, antigament entraven a la llacuna de la Ricarda per reproduir-se, pondre els ous i néixer les cries.

El present estudi es centra en una de les zones humides del Delta del Llobregat, la llacuna de la Ricarda, ubicada al terme municipal del Prat de Llobregat. L'estudi es basarà en una actualització hidrogeològica, tan a nivell quantitatiu com qualitatiu, i una valoració hidrogeològica de les relacions aquífer superficial i llacuna, tenint en compte les aportacions pluvials, aportacions externes, etc.

En el present treball caldrà tenir present les grans obres que s'han realitzat al Delta del Llobregat durant aquest darrers anys, amb una influència directe de les obres d'ampliació de l'aeroport de Barcelona, situat molt proper a la zona d'estudi.

Cal destacar que la llacuna de la Ricarda va ser caracteritzada hidrogeològicament a "*Hidrologia de las zonas húmedas de la Ricarda, Delta del Llobregat*" (Hernández y Vázquez-Suñe, 1995). Els controls i/o estudis anteriors de les relacions entre la llacuna de la Ricarda, les aigües subterrànies i el mar, es feia per part dels masovers degut a la necessitat de conèixer el seu funcionament. Antigament, quan el nivell d'aigua de la llacuna augmentava molt, degut a fortes pluges o a grans aportacions d'aigua que provenien dels canals de rec adjacents que hi desembocaven, els masovers de la finca feien una obertura a la zona de la platja amb l'ajuda de tractors, pales i rampins, per tal que la llacuna desaigués al mar. En aquest procés, l'aigua anava erosionant les parets de l'obertura al mar, provocant que cada vegada fos més gran, fins arribar a uns 10 metres d'amplitud i afavorint una ràpida sortida a l'aigua. S'aconseguia doncs que el nivell d'aigua de la llacuna anés disminuint fins que s'igualava al nivell del mar. Era llavors quan es deia que s'havia arribat a un equilibri i la mateixa sorra que era arrossegada per l'aigua que sortia de la llacuna tancava progressivament aquesta (Ferret, J. 2004).

Tot aquest procés que es feia, en part, anava bé perquè la llacuna de la Ricarda és una zona d'especial interès natural.

Actualment el procés d'obrir la barra de sorres s'ha deixat de fer, ja que la llacuna de la Ricarda no té forts augments del nivell degut a la baixa precipitació d'aquests últims anys, i a les poques o nul·les aportacions d'aigua pels canals de rec. Des de l'estudi anterior (Hernández y Vázquez-Suñe, 1995) fins a l'actualitat la barra de sorra s'ha obert en comptades ocasions. Cal dir però que al gener del 2009 la van obrir degut a les fortes tempestes que hi va haver i es van observar els efectes d'aquesta obertura: la llacuna va quedar més salinitzada per l'entrada d'aigua del mar.

1.2 OBJECTIUS

Els principals objectius d'aquest estudi són

1. Determinar el funcionament hidràulic de la Ricarda. Relació aquífer- llacuna
2. Caracterització química de l'aigua
3. Quantificar els fluxos d'aigua subterrània. Balanç hídric
4. Determinar l' àrea d'influència de la llacuna

La zona d'estudi es situa aproximadament al centre del delta del Llobregat, a la zona costanera del municipi del Prat de Llobregat. Cal destacar que tot l'entorn de la llacuna de la Ricarda ha patit una gran transformació al llarg d'aquests últims anys. Un dels factors principals ha estat l'ampliació de l'aeroport, ja que aquest va guanyar terreny a la finca per tal de construir-hi la tercera pista. Així doncs, la llacuna de la Ricarda es troba a l'interior d'una propietat privada d'unes 150 ha., delimitada per l'aeroport al nord i a l'oest; el mar al sud; i a l'est pel canal de la Bunyola.

La llacuna ocupa una superfície de 29 hectàrees, i es correspondria a una de les antigues desembocadures del riu Llobregat, juntament amb les llacunes del *Remolar* i la *Magarola*, (aquesta última situada molt a prop de la Ricarda) (*Planas, R. 1984*).

1.4 SITUACIÓ GEOLÒGICA

La finca de la Ricarda s'emmarca geològicament en l'estructura general d'un delta, concretament el Delta del Llobregat.

Els deltes es poden definir com a estructures convexes que destaquen en una costa enfront a la desembocadura d'un riu i que es formen quan l'aportació de sediment supera la redistribució per processos marins com ara onades, corrents i marees.

Poden formar-se a mar obert, a *lagoons* o a llacs, i encara que la seva morfologia final pugui ser molt variable, el procés de formació sempre és bàsicament el mateix: les corrents fluvials carregades de sediment, disminueixen la seva velocitat i s'expandeixen a l'entrar en contacte amb grans masses d'aigua, deixant d'estar confinades i dipositant gran part o la totalitat de la seva càrrega sòlida.

Concretament el Delta del Llobregat es forma al peu del vessant mediterrani de la Serralada Litoral Catalana que, juntament amb la depressió prelitoral i la Serralada Litoral, formen el sistema geològic dels Catalànids (*Llopis, 1942 i 1946*) (*Figura2*).

Hidrogeològicament, la zona de la llacuna de la Ricarda es pot considerar homòloga a la part més distal del Delta del Llobregat. El Delta del Llobregat està format per dos aqüífers, un de superficial i lliure, i un altre de profund i confinat per un tascó de llims d'espessor creixent de terra cap a mar de fins a 30 m de potència. Cap als marges del delta, el tascó de llims disminueix la seva potència canviant lateralment de fàcies cap a materials d'aqüífer superficial.

La finca de la Ricarda i la seva llacuna formen part del sistema de l'aqüífer superficial del Delta. Aquest està format per sorres i graves d'edat quaternària d'una potència compresa entre 6 i 20 m, tot i que el valor mig és de 15 m (*MOP, 1986*). Habitualment,

a la part més superficial, s'hi troba una capa de llims o argiles de menys de 5 m d'espessor. Segons *Manzano (1986)*, són dipòsits de front deltaic i plana deltaica actual, formats per cordons litorals, canals distributaris, reompliments de llacunes i dunes costaneres. Localment existeixen alguns nivells torbosos d'origen lacustre. La formació de les llacunes costaneres es deu a la progradació deltaica.

Alguns documents antics corroboren el fet que la llacuna de la Ricarda i la Magarola són formes residuals de la llera del riu Llobregat als segles XIV i XV (*Planas, R. 1984*).

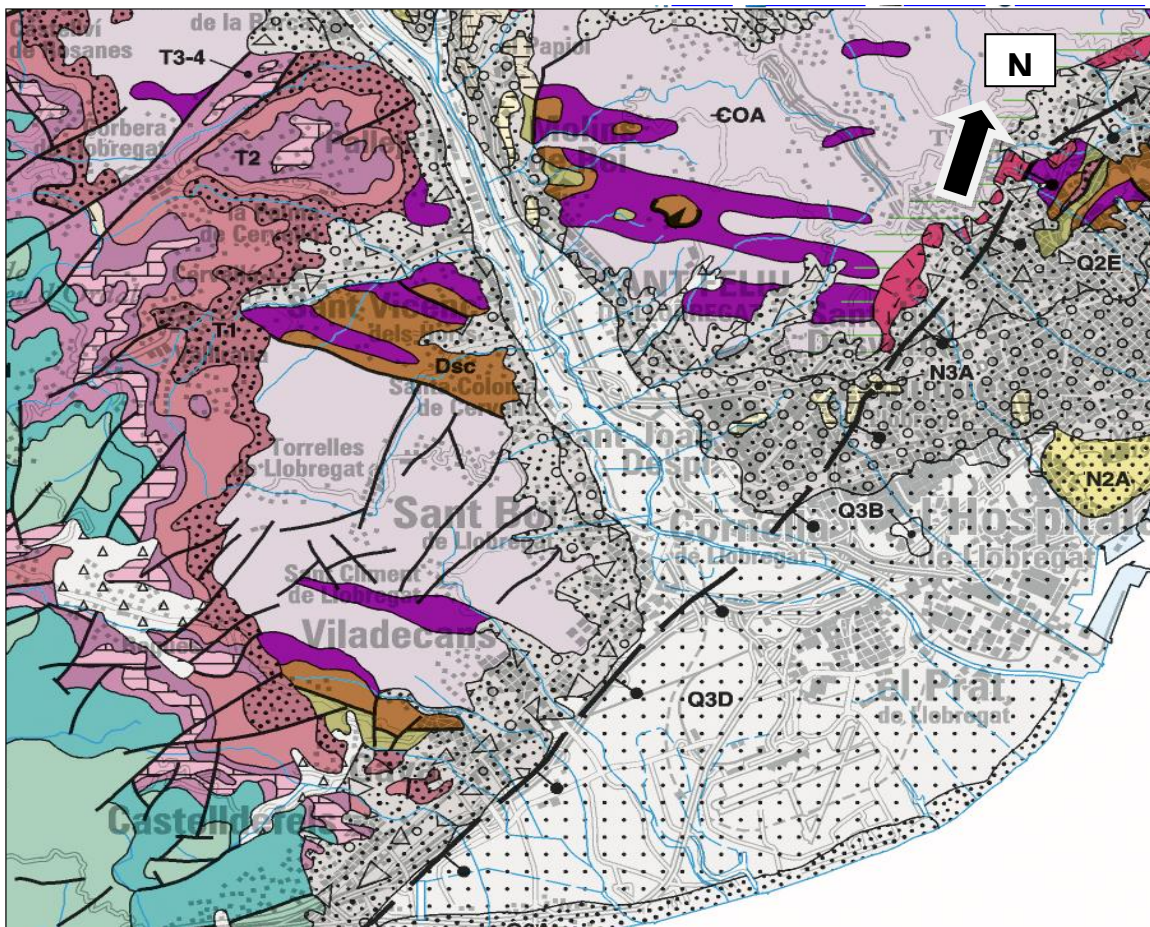


Fig.2. Situació geològica del Delta del Llobregat (ICC, 2009)

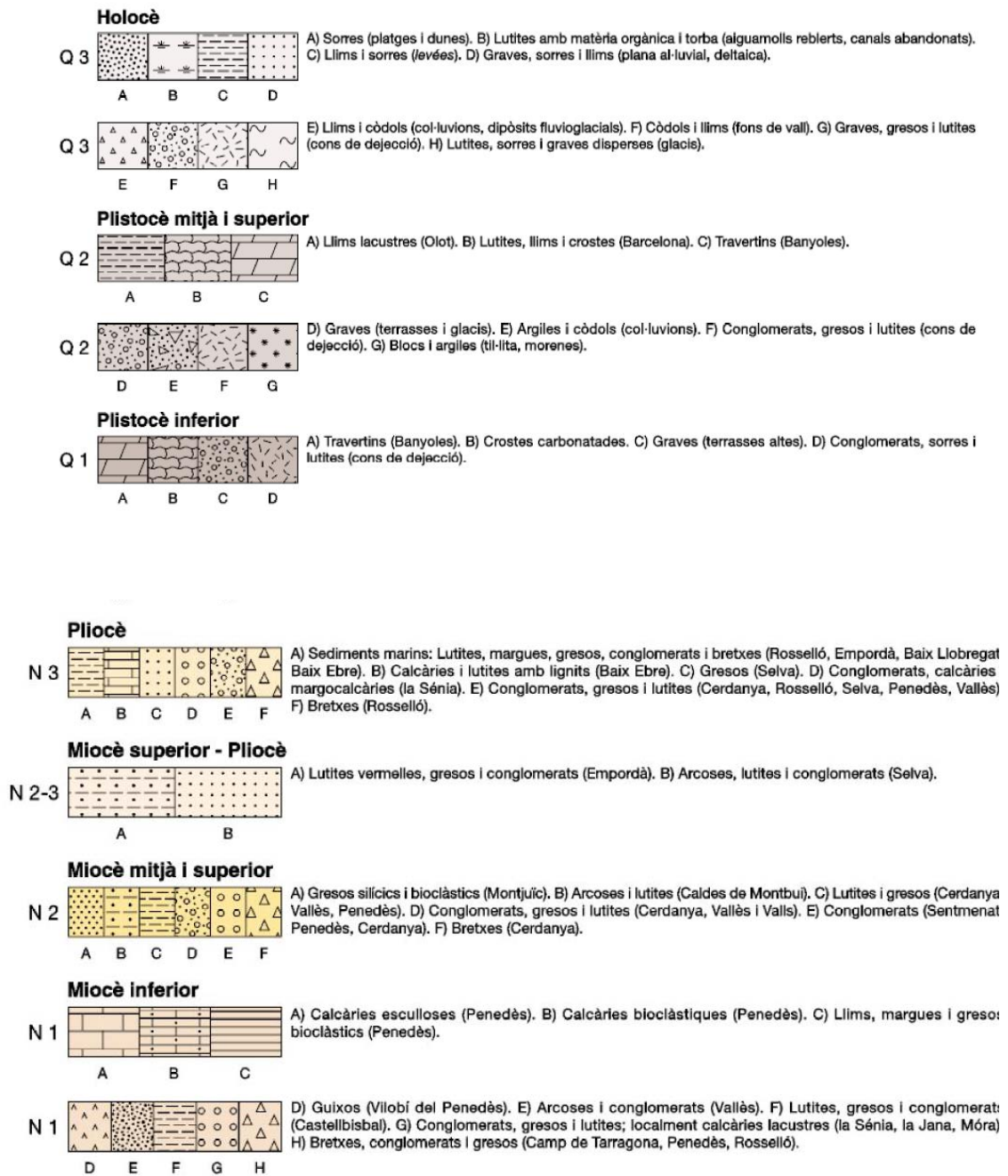


Fig.2. Llegenda dels materials del Delta del Llobregat (ICC, 2009)

2. METODOLOGIA

2.1 INTRODUCCIÓ

La Comunitat d'Usuaris d'Aigües del Delta del Llobregat (CUADLL) en el marc del conveni amb l'oficina executiva del Pla Barcelona d'ampliació de l'Aeroport de BCN, porta a terme les tasques de control i seguiment de la llacuna de la Ricarda. Aquest estudi suposa un complement a les feines realitzades per CUADLL amb la finalitat d'actualitzar-ne el coneixement.

Per tal de portar a terme l'estudi s'ha seguit un pla de treball que ha estat el següent:

- a) Recerca d'informació i recopilació de dades hidrometeorològiques de l'estació meteorològica de l'aeroport de Barcelona (INM).
- b) Consultes als masovers de la finca la Ricarda, a la Comunitat d'Usuaris del Delta del Llobregat i al Consorci per la Protecció i Gestió dels Espais Naturals del Delta del Llobregat.
- c) Consulta del treball realitzat de la Llacuna de la Ricarda per *Hernández i Vázquez-Suñe, 1995*.
- d) Localització dels piezòmetres antics i pous utilitzats en el treball de *Hernández i Vázquez-Suñe, 1995*.
- e) Realització d'un mapa amb la localització dels 6 nous piezòmetres.
- f) Construcció de 6 piezòmetres nous.
- g) Anivellació topogràfica dels 6 nous piezòmetres més un piezòmetre de les obres del desviament del riu Llobregat.
- h) Elaboració de la taula resum dels nous piezòmetres.
- i) Col·locació de 6 sensors de Temperatura i Pressió d'aigua (TD), 1 sensor de Conductivitat elèctrica, Temperatura i Pressió d'aigua (CTD) i un Baròmetre Diver el qual mesura la Pressió atmosfèrica.
- j) Mesura dels paràmetres in-situ setmanalment (conductivitat elèctrica, temperatura, pH, oxigen dissolt i potencial redox) de la Llacuna i descarrega setmanal de les dades de la sonda fixa de la Llacuna.
- k) Realització de 3 campanyes de mesura, al llarg de tota la llacuna per avaluar l'estat i evolució dels paràmetres hidroquímics i físics de l'aigua de la llacuna.
- l) Elaboració de perfils verticals de conductivitat i temperatura a la llacuna de la Ricarda
- m) Representació e interpretació dels nivells piezomètrics mesurats durant el període d'estudi.
- n) Visualització dels aforaments que arriben a la llacuna.

- o) Càlcul de la ETP i la infiltració a partir de les dades hidrometeorològiques.
- p) Balanç hídric de la llacuna de la Ricarda.
- q) Redacció del treball

Al llistat anterior es parla de la utilització d'una sonda fixa situada a l'embarcador. Aquesta permet tenir un control continu de la llacuna de la Ricarda, ja que enregistra dades de temperatura, conductivitat, oxigen dissolt i potencial redox cada hora i mitja (Figura3).



Fig.3. Sonda de paràmetres instal·lada a l'embarcador de la llacuna de la Ricarda.

2.2 INVENTARI

La xarxa piezomètrica utilitzada per fer l'estudi s'ha fet a partir dels nous piezòmetres col·locats al voltant de la Ricarda. En un inici es va intentar recuperar els piezòmetres de *Hernández i Vázquez-Suñe (1995)*, però ha estat impossible després de tants anys.

La nova xarxa està formada per 6 piezòmetres de nova construcció de PVC, de 2 m de profunditat i 50 mm de diàmetre, protegits amb una arqueta metàl·lica per tal d'evitar la seva destrucció amb la maquinària de camp.

El material necessari per la construcció de la xarxa piezomètrica ha estat:

- ❖ 1 aparell manual per la implantació de piezòmetres al terreny cedit per el Parc Agrari del Baix Llobregat.
- ❖ 6 tubs piezomètrics ranurats \varnothing 50*41 mm 100 cm.
- ❖ 6 tubs piezomètrics llisos amb rosca \varnothing 50*41 mm 100 cm.
- ❖ 6 taps superiors amb obertura de ventilació \varnothing 50 mm.
- ❖ 6 taps inferiors amb forma de punta i rosca \varnothing 50 mm.
- ❖ 6 peces de 1 m longitud de filtres de gasa \varnothing 30-65 mm.
- ❖ 2 bosses de bentonita
- ❖ 2 bosses de grava
- ❖ 6 arquetes.

A continuació es pot veure la imatge d'un dels piezòmetre en funcionament dels que hi ha col·locats a la llacuna de la Ricarda (*Figura4*).



Fig.4. Mesura manual del nivell piezomètric després de la instal·lació del piezòmetre.

A la *Figura 5* hi estan representades les ubicacions dels 6 nous piezòmetres dels que es mesuren, amb caràcter setmanal, els nivells piezomètrics.

La profunditat al terreny de cada piezòmetre s'ha determinat en funció de la proximitat de la llacuna de la Ricarda, intentant monitoritzar la mateixa unitat hidrogeològica, essent a unes profunditats oscil·lant entre 0.5 i 2 m.

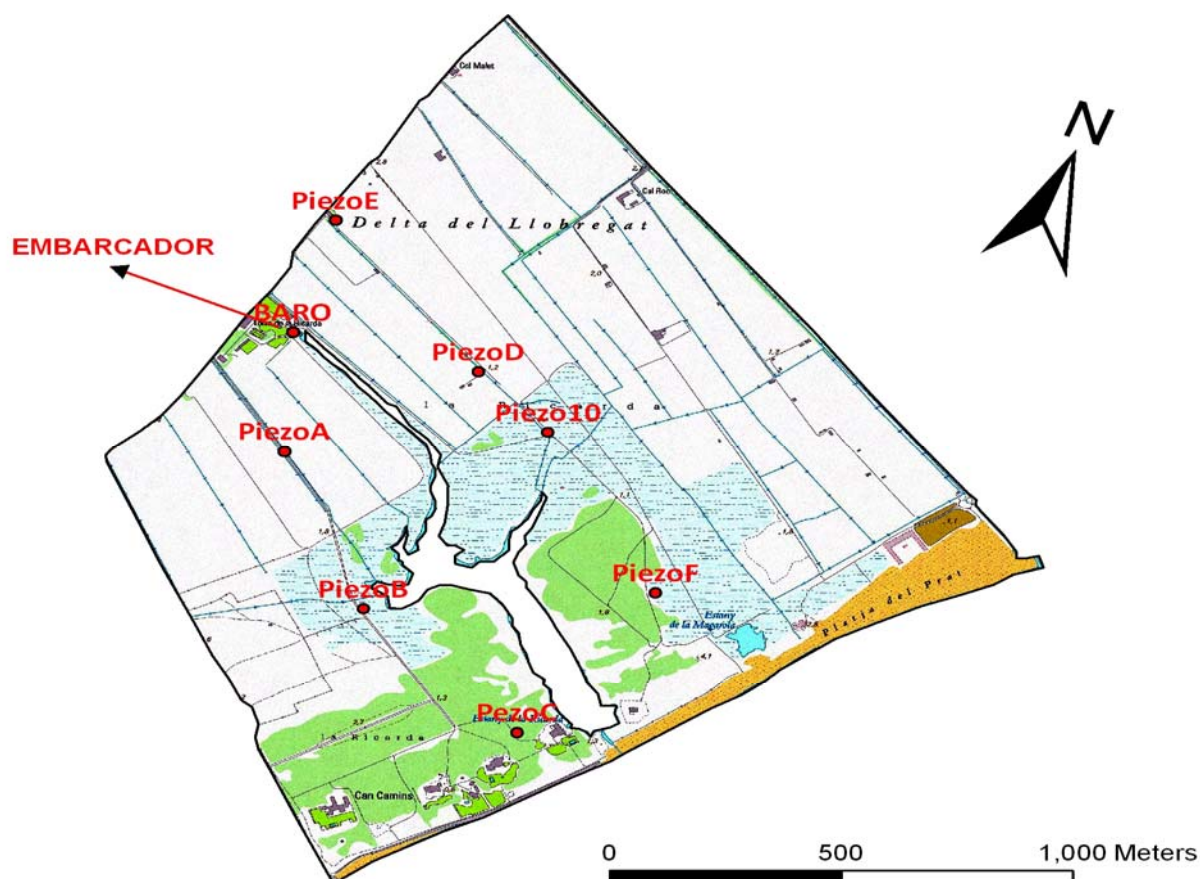


Fig.5 Situació dels piezòmetres i el baròmetre al voltant de la llacuna de la Ricarda.

2.3 TOPOGRAFIA

La cartografia de l'Institut Cartogràfic de Catalunya escala 1:5000, no permet acotar les variacions piezomètriques, ja que el propi error d'estimació de cota topogràfica és més gran que la pròpia mesura. Així doncs, per tal de donar una cota correcta al punt de mesura, s'ha realitzat una anivellació geomètrica.

L'itinerari de l'anivellació s'ha dut a terme en 3 dies diferents. Per a tal fi, la Universitat Politècnica de Catalunya, juntament amb el departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica ha cedit un aparell Sprinter 150 m, Leica. El punt utilitzat com a referència per fer l'anivellació ha estat un pou utilitzat en el seu moment per l'estudi (*Hernández i Vázquez-Suñe, 1995*).

A continuació s'observa una taula resum amb els piezòmetres utilitzats per a l'estudi, amb l'anivellament corresponent (*Taula.1*).

Nom Piezo	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
Piezo A	425243	4572417	0.565
Piezo B	425414	4571994	0.558
Piezo C	425745	4571661	0.728
Piezo D	425662	4572632	0.950
Piezo E	425353	4573040	1.538
Piezo F	425044	4572037	0.649
Piezo 10	425824	4572592	1.261
Embarcador	425307	4572717	0.767

Taula.1. Taula resum dels piezòmetres construïts per l'estudi (coordenades m)

2.4 ESTUDI PIEZOMÈTRIC

L'estudi hidrogeològic de la Llacuna de la Ricarda s'ha portat a terme dins el període de desembre 2008–juny 2009. En aquest estudi s'han mesurat les variacions de la profunditat de l'aigua en els diferents piezòmetres i el nivell de la llacuna a la zona de l'embarcador, punt de control permanent. Aquesta última variació s'ha considerat vàlida per tota la làmina d'aigua de la llacuna.

Durant aquest període s'ha mesurat, diàriament tot agafant dades cada hora, la temperatura i la variació de nivell a tots els piezòmetres mitjançant TD's. En un d'ells, concretament al piezòmetre F, s'hi va instal·lar un CTD per mesurar-hi la conductivitat (Figures 6 i 7). També s'ha instal·lat un Baròmetre a la zona de l'embarcador per tal de poder controlar la pressió atmosfèrica i la temperatura de l'ambient.



Fig.6. CTD (mesura conductivitat, temperatura i pressió)



Fig.7. TD (mesura temperatura i pressió)

Per portar a terme l'estudi piezomètric s'han utilitzat els sis piezòmetres nous, així com un piezòmetre antic que es va executar durant les obres del desviament del riu

Llobregat. Cal destacar que la situació de cadascun dels piezòmetres va ser força estudiada, ja que ens interessava que la informació que ens poguessin donar de l'aquífer fos força representativa del període d'estudi establert.

2.5 ESTUDI HIDROGEOQUÍMIC

S'ha portat a terme un petit estudi hidrogeoquímic, amb l'objectiu de determinar els condicionants de l'elevada salinitat que presenta la llacuna de la Ricarda, i que podria ser degut a efectes de:

- ❖ Evaporació superficial.
- ❖ Poca aportació d'aigües pels canals de rec que desemboquen a la llacuna.
- ❖ Entrada d'aigua de mar.

Per poder analitzar la salinitat de la llacuna s'han analitzat, d'una banda, les dades diàries de conductivitat mesurades per la sonda instal·lada a la zona de l'embarcador. I per altra banda, s'han realitzat tres campanyes de camp per poder estudiar la llacuna amb detall. En aquestes campanyes s'han fet uns perfils verticals de la conductivitat i la temperatura en tota la longitud de la llacuna, des de l'embarcador fins a la barra de sorra de desguàs.

2.6 BALANÇ HÍDRIC

El balanç hídric s'explicarà més endavant de forma detallada, ja en aquest apartat només es fa una aproximació al seguit de dades que es necessitaran per calcular-lo.

- ❖ Perfils de conductivitat elèctrica.
- ❖ Dades de temperatura.
- ❖ Dades meteorològiques.
- ❖ Dades de nivells piezomètrics.
- ❖ Dades d'evaporació.

Aportació d'aigua pels canals de regadiu que desemboquen a la llacuna.

3. EVOLUCIÓ PIEZOMETRICA

Amb les dades obtingudes dels CTD's i TD's dels set piezòmetres utilitzats per l'estudi s'han calculat les mitjanes del nivell piezomètric per a cadascun dels mesos que comprèn aquest estudi. Amb els valors calculats s'han realitzat els mapes de piezometria (*Annex1*), de manera que s'ha obtingut un mapa mensual on es pot veure l'estat del nivell piezomètric en cadascun dels mesos que ha durat l'estudi.

En aquests mapes es podran observar les diferències de comportament del nivell piezomètric i la seva evolució en diferents períodes de l'estudi. A més s'ha utilitzat un nivell fix per a tot el perímetre de la llacuna, obtingut a partir d'una sonda col·locada a l'embarcador i contrastat amb una escala limnimètrica (*Figura 8*).



Fig.8. Limnimetre instal·lat a l'embarcador de la llacuna de la Ricarda (mesura manual del nivell).

Les piezometries permeten una avaluació del funcionament dels fluxos subterranis, de manera que es pot determinar la relació que hi ha entre la llacuna de la Ricarda i l'aqüífer superficial, i determinar si predomina un sistema efluent, influent o ambdós alhora (Figura 9).

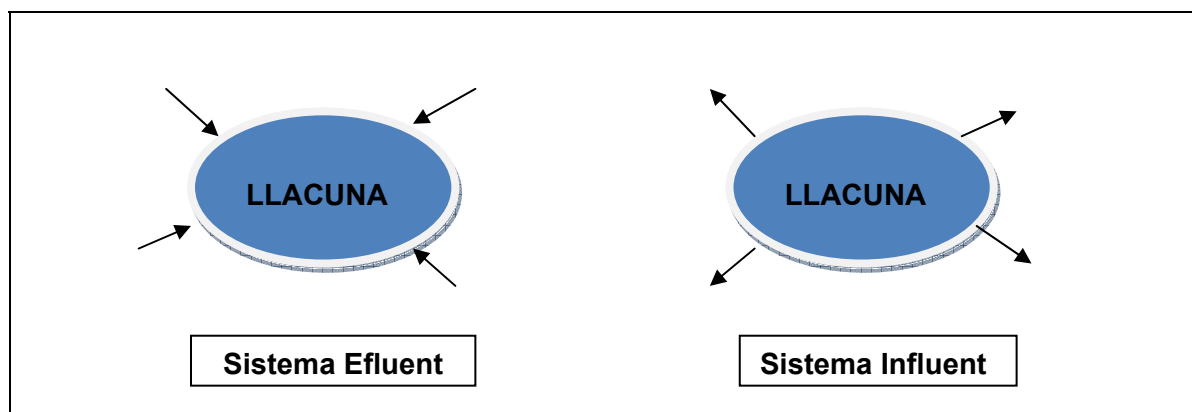


Fig.9. Esquemes de les línies de flux en el funcionament del sistema, depenen de si la llacuna és efluent o influent.

A les figures de l'Annex1 s'observa com les isolínies tenen una tendència a situar-se paral·leles al contorn de la llacuna, fet que permet afirmar que quan la llacuna de la Ricarda presenta un nivell de la làmina d'aigua superior als nivells piezomètrics dels punts de control, aquesta cedeix aigua i es correspon en un sistema influent, quan la situació és a la inversa la llacuna rebria aigua de l'aqüífer i seria un sistema efluent.

S'ha pogut observar que els valors han estat força homogenis durant tot el període d'estudi en cadascun dels piezòmetres, exceptuant alguna anomalia puntual.

S'ha pogut observar que la llacuna tan s'ha comportat com un sistema influent com efluent, fins i tot, dins el mateix mes d'estudi. Per tant la llacuna ha aportat aigua a l'aqüífer superficial i n'ha rebut del mateix.

Cal dir però, que a mesura que ens hem aproximat als mesos d'estiu la llacuna s'ha comportat en tota la seva totalitat com un sistema influent i en canvi l'aqüífer superficial ha començat a rebre aportacions d'aigua de la llacuna.

A mesura que passen els mesos, la manca de pluges fa que els nivells piezomètrics vagin disminuint el seu valor de la mateixa manera que el nivell de l'aigua de la Ricarda juntament amb l'augment de l'evaporació, fet que provoca la disminució d'aportació de la llacuna a l'aqüífer.

A la *Figura 10* es representen els nivells piezomètrics respecte el temps de cadascun dels piezòmetres de control situats al voltant de la llacuna, el nivell de la lamina d'aigua de la llacuna i el nivell mig del mar a Barcelona.

Es pot observar com tots els piezòmetres (A,B,C,D,F i 10), excepte el piezòmetre E, presenten una evolució semblant. Aquest últim presenta un comportament lleugerament diferent donada la seva llunyania de la llacuna.

Respecte l'evolució dels nivells, cal destacar el descens produït a finals de gener, i l'augment de nivells durant el mes d'abril. El descens va ser degut a l'obertura de la llacuna al mar, el fet que va fer disminuir el seu nivell. D'altra banda, l'augment de nivell de l'aigua de la llacuna al mes d'abril va ser degut a la pluviometria.

En general, tot els piezòmetres presenten una tendència al descens. Aquest descens de nivells podria ser degut a la disminució progressiva del nivell de la llacuna i de la disminució d'entrades d'aigua al sistema

En el *Figura 10* també s'observen oscil·lacions piezomètriques de caràcter estacional, això és degut a les altes pressions atmosfèriques de l'estiu que provoquen un descens dels nivells piezomètrics i a l'hivern a l'inversa.

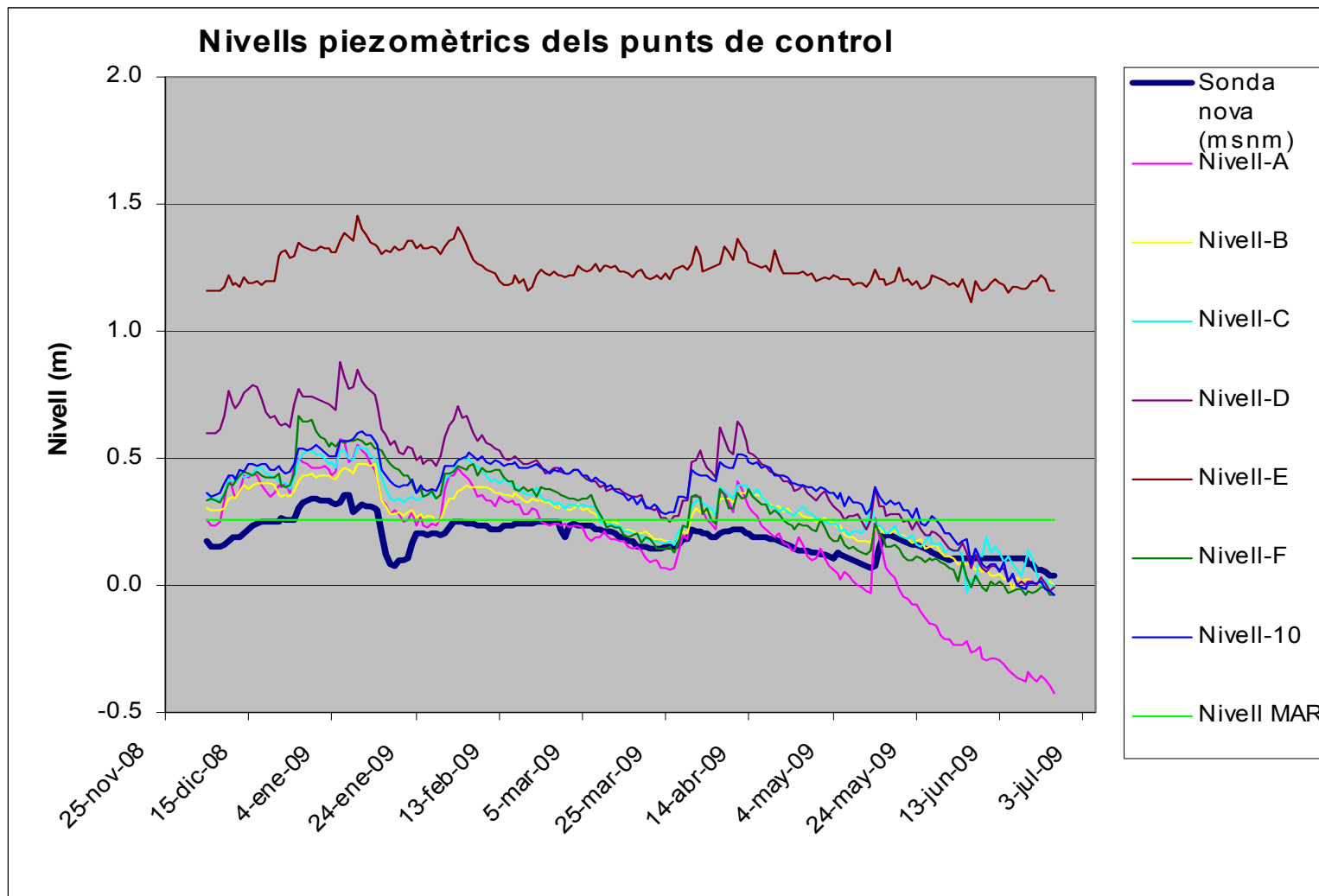


Fig.10 Representació dels nivells piezomètrics dels punts de control i la representació del nivell mig del mar

Respecte l'evolució de la làmina d'aigua de la llacuna de la Ricarda, s'ha realitzat el *Figura 11* on hi ha la pluviometria per un costat i per l'altre el nivell d'aigua de la llacuna. El nivell s'ha obtingut de dues maneres diferents): manualment amb l'ajuda del limnímetre (mesures vermelles i discontinues) i amb la sonda fixa instal·lada a l'embarcador (mesures blaves i contínues).

En la mateixa *Figura 11* estan representades les dades de precipitació enregistrades a l'estació meteorològica de l'Aeroport del Prat de Llobregat. La precipitació que s'ha utilitzat per a realitzar l'estudi va des del desembre del 2008 fins al juny 2009, període en el qual s'ha dut a terme l'estudi hidrogeològic de la llacuna de la Ricarda.

En ell s'hi diferencien bé els períodes de més pluja els mesos de desembre, gener, març i abril. També és important remarcar la pluja del dia 15 de maig, ja que és el dia amb el valor més alt de pluviometria.

El cas de la baixada que es detecta el mes de gener és degut a l'obertura de la barra de sorra de la platja provocant un descens *regional* de la llacuna. En canvi la pujada més forta de tot l'estudi es localitza el mes de maig, després d'unes fortes pluges.

Si ens fixem encara en la *Figura 11* es veu que el nivell de l'aigua mesurat manualment es correlaciona força bé amb el nivell mesurat per la sonda, seguint el mateix patró de comportament i patint el mateixos ascensos i descensos que la pluviometria.

Representació del nivell de la llacuna vs la pluviometria

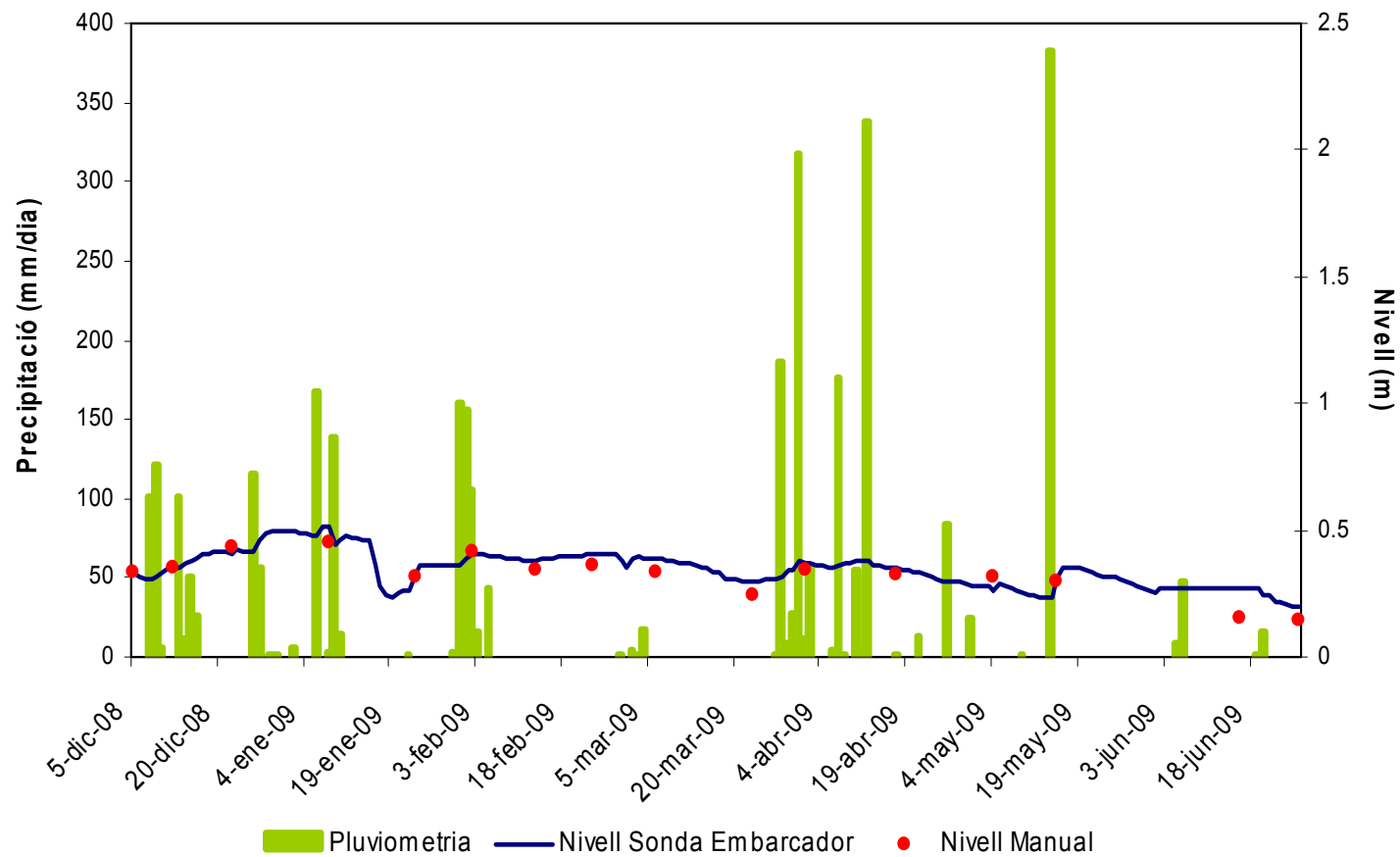


Fig.11 Representació de la relació de la pluviometria envers el nivell de la llacuna (manual i monitoritzada)

4. ESTUDI HIDROQUÍMIC DE LA LLACUNA DE LA RICARDA

L'estudi hidroquímic de la llacuna de la Ricarda s'ha basat principalment en els valors de conductivitat elèctrica, de temperatura, i de les seves variacions en el temps. Les dades de les que es disposen s'han recollit durant 3 campanyes de camp, en cadascuna de les quals s'ha mesurat la conductivitat (CE) i la temperatura (T) a diferents profunditats al llarg de tota la Ricarda, des de l'embarcador fins a la desembocadura.

Les campanyes de camp s'han distribuït als mesos de Febrer, Abril i Juny de 2009 per tal de poder veure els canvis de la conductivitat i la temperatura al llarg de les estacions, i al mateix temps correlacionar-ho amb les variacions de l'aqüífer (tant piezomètriques com de qualitat). La conductivitat i la temperatura s'han mesurat amb la sonda portàtil ORION *Serie Start* prèvia calibració.

S'ha de tenir en compte que les mesures dels perfils de conductivitat i temperatura de les 3 campanyes de mesura s'han realitzat mitjançant un kayak. S'ha tingut molta cura en les velocitats de mesura per tal que les aigües no es moguessin gaire. Tot i així, ha estat inevitable que la sonda quedés a la deriva. No obstant els petits errors generats s'han modificat a l'hora d'interpretar les dades. Per poder veure les dades d'una manera més clara s'ha representat la llacuna de la Ricarda amb una secció longitudinal (des de l'embarcador fins a la desembocadura). Per cada campanya de camp s'ha realitzat un mapa on s'hi pot veure els diferents valors de conductivitat i temperatura. Aquests mapes ajudaran a millorar l'anàlisi de les distribucions dels valors de conductivitat i determinar processos d'estratificació.

4.1 Campanyes de camp

4.1.1 Campanya de febrer 11/02/09

A la *Figura 12* estan representats els valors de conductivitat recopilats en aquesta campanya de camp. En aquesta figura s'observa que la llacuna presenta valors força elevats de conductivitat en tota la seva longitud, però especialment els trobem a la part final, a la zona més pròxima al mar, amb valors de 11.5-12 mS/cm. Aquests valors disminueixen una mica fins arribar a valors de 10.5-11 mS/cm a la zona de l'embarcador.

El fet que es trobin els valors més elevats a la part de la desembocadura és degut a que hi van tenir lloc uns episodis de pluges que van fer augmentar molt el nivell de

l'aigua de la llacuna (va ploure just el dia abans de la campanya de camp i entre els dies 16 i 19 de gener hi va haver importants temporals a tot el litoral català acompanyat de fortes pluges, i els masovers es van veure obligats a obrir la barra de sorres, per tant l'aigua de mar va poder entrar amb facilitat, salinitzant la llacuna).

Per tant, aquest fet s'ha vist reflectit en les mesures preses a la campanya de camp del mes de febrer, amb valors de conductivitat molt elevats a la zona més costanera de la llacuna i la dissipació de la mateixa a mesura que ens allunyem de la zona d'obertura, per tant a mesura que ens acostem a l'embarcador.

Una altre condicionant a la presència d'elevades conductivitats, podria ser el fet que no ha circulat aigua dolça durant el període d'estudi pels canals de rec que desemboquen a la llacuna.

Si s'observa la *Figura 13* aquesta mostra les diferents temperatures enregistrades per la sonda portàtil al llarg de tot el recorregut per la llacuna. Es veu que les temperatures de l'aigua del mes de febrer presenten valors entre 8–9 °C a les aigües més pròximes a l'embarcador, i valors una mica superiors, entre 10 i 11 °C, a la majoria de la llacuna.

CONDUCTIVITAT FEBRER

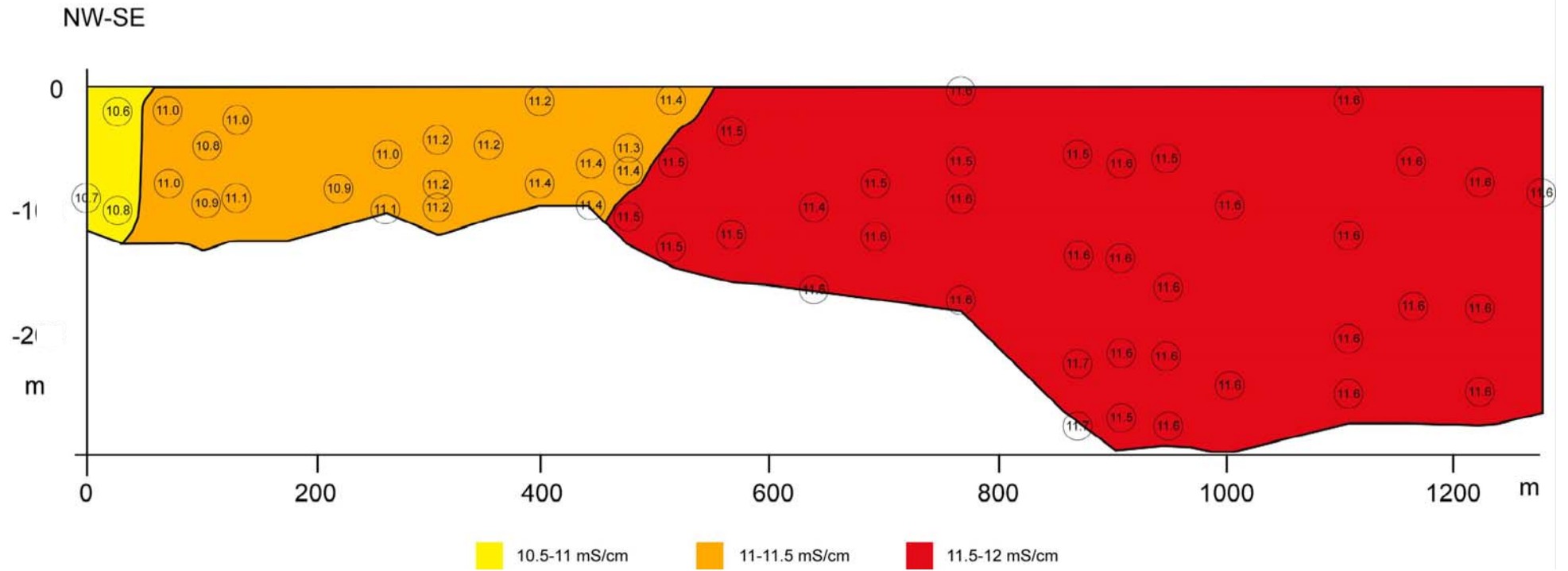


Fig.12 Valors de conductivitat del mes de febrer a la llacuna de la Ricarda

TEMPERATURA FEBRER

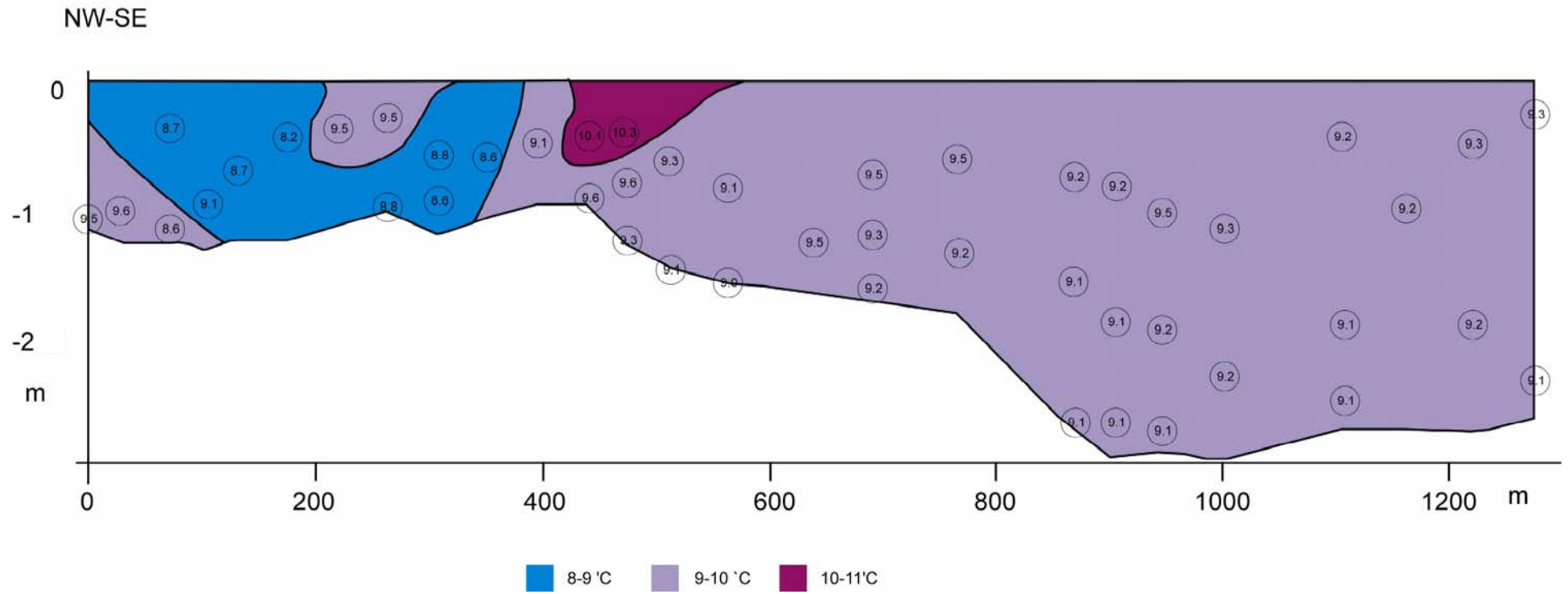


Fig.13 Valors de temperatura del mes de febrer a la llacuna de la Ricarda

4.1.2 Campanya d'abril 15/04/09

En aquesta campanya s'observa com la llacuna queda dividida en tres zones força diferenciades de valors de conductivitat, tal i com s'observa a la *Figura 14*. Els valors de conductivitat més baixos (al voltant de 9.5-10 mS/cm) se situen a la zona més propera a l'embarcador. A partir d'aquí i cap a la desembocadura, els valors de conductivitat van augmentant, detectant els valors més elevats, a la zona d'aigües més pròximes al mar, on els valors són de l'ordre de 10.5-11 mS/cm

En aquesta campanya de camp, a diferència de l'anterior, es pot veure com la temperatura de l'aigua de la llacuna ha augmentat gradualment degut a la pujada de temperatures atmosfèriques i a l'increment de les hores de sol, tal i com es reflecteix a la *Figura 15*. Cal dir que la temperatura de l'aigua no ascendeix amb tanta rapidesa com l'atmosfèrica, però per altra banda tarda molt més a refredar-se un cop la massa d'aigua s'ha escalfat.

Es corrobora doncs l'estratificació de l'aigua a nivell de temperatures, on les més fredes se situen a la zona més profunda de la llacuna, i les més calentes a la part més superficial.

CONDUCTIVITAT ABRIL

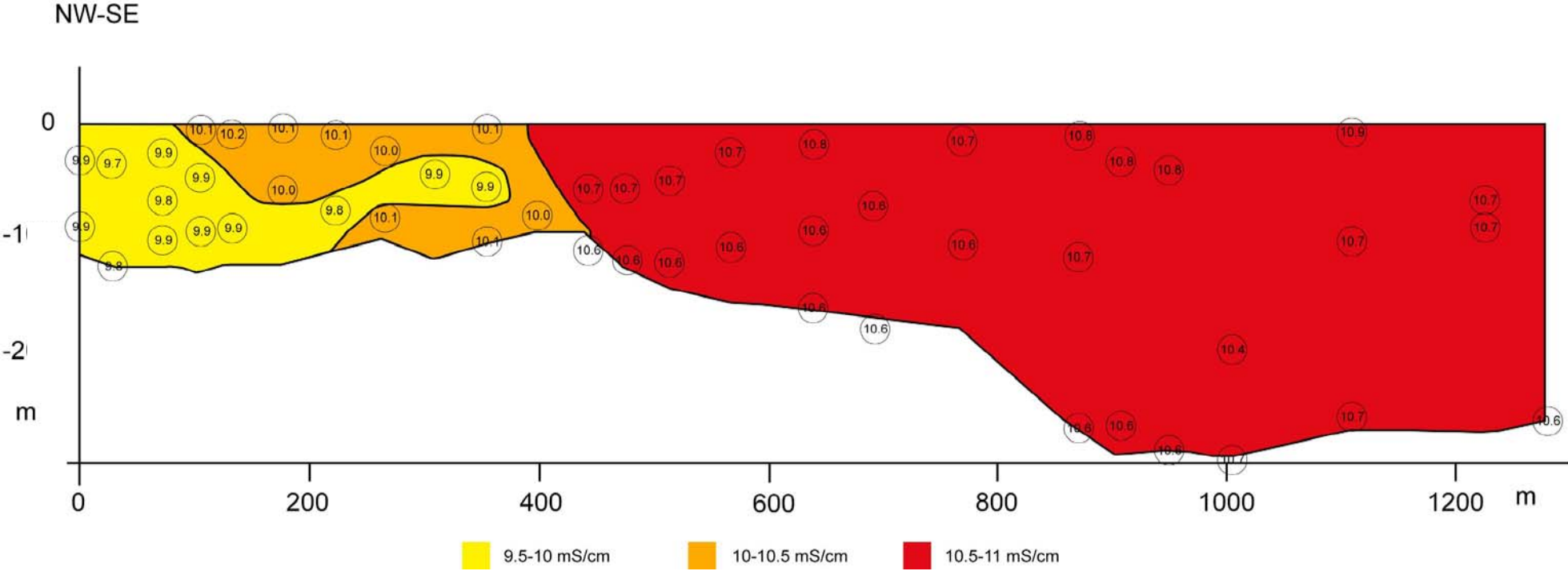


Fig.14 Valors de conductivitat del mes d'abril a la llacuna de la Ricarda

TEMPERATURA ABRIL

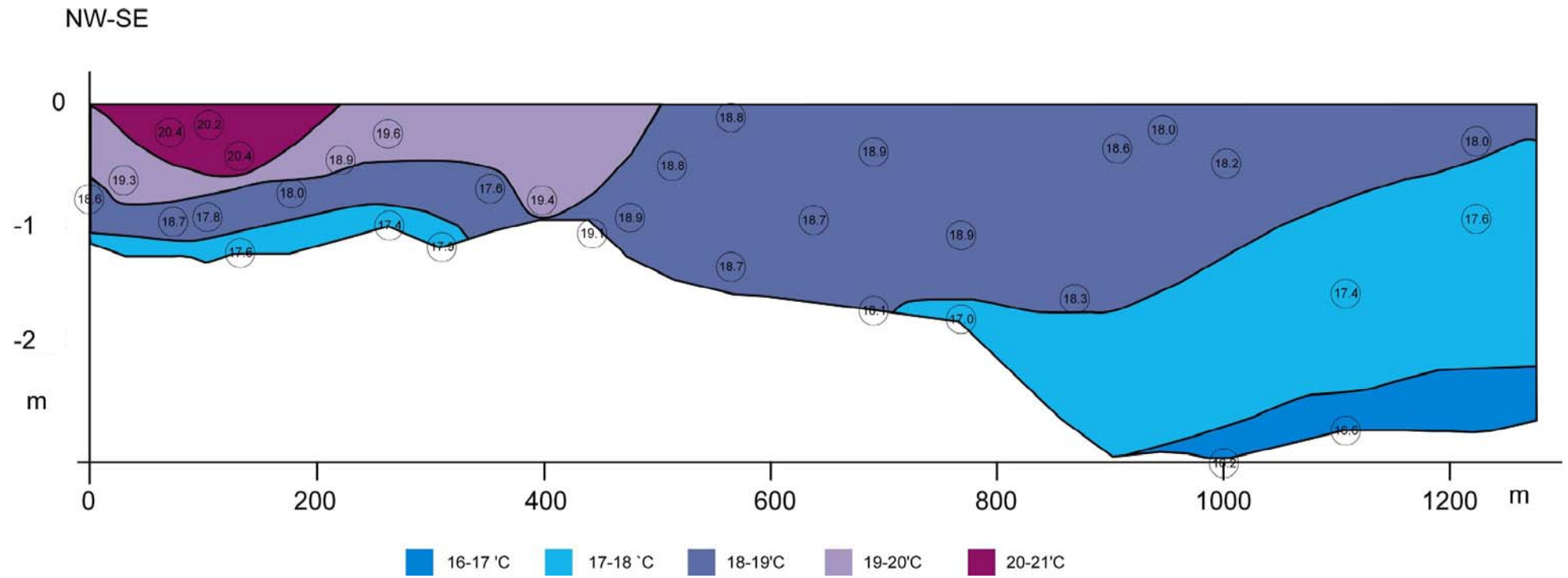


Fig.15 Valors de temperatura del mes d'abril a la llacuna de la Ricarda

4.1.3 Campanya de juny 10/06/09

Aquesta campanya de camp ha estat la que més diferències ha presentat respecte les anteriors. Al llarg de tot el perfil s'ha pogut observar (*Figura 16*) que les aigües de la llacuna estan estratificades pel que fa a les conductivitats presents.

Les aigües amb valors més elevats de conductivitat, de 11.5-12 mS/cm estan situades a la zona més costanera, i a mesura que ens apropem a la zona de l'embarcador, les aigües presenten valors més baixos de conductivitat de 8.5-9 mS/cm, i una estratificació força marcada. Els valors més baixos de conductivitat es situen a la desembocadura d'un dels canals de rec.

D'altra banda, la temperatura (*Figura 17*) presenta valors força elevats en comparació amb els altres mesos. De nou, s'hi troben aigües estratificades.

A la zona superficial i més propera al mar, hi ha aigües amb valors més alts de temperatura, degut a que reben la radiació solar més directament, en ser una zona on la llacuna presenta menys vegetació al seu voltant.

Els valors més baixos de temperatura del mes de juny es troben situats en punts propers a la desembocadura d'un dels canals de rec. És molt probable que aquest canal encara porti aigua de les pluges caigudes pocs dies abans de la campanya de camp.

El fet corroborador de que la llacuna de la Ricarda i l'aqüífer superficial estan connectats són els valors de conductivitat, ja que, les mesures preses per el CTD instal·lat al piezòmetre F són quelcom superiors als valors presos a la llacuna, això indica que l'aigua de la llacuna es desplaça cap a l'aqüífer, durant un període de 7 mesos

CONDUCTIVITAT JUNY

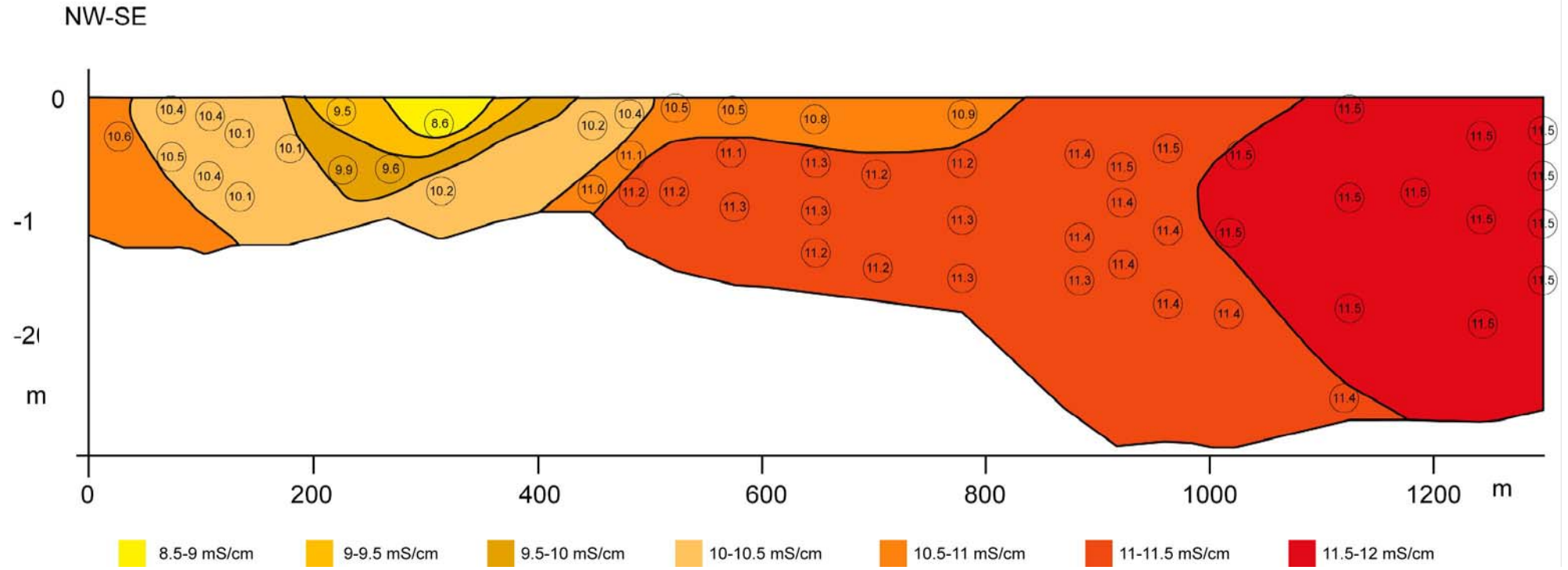


Figura 16: valors de conductivitat del mes de juny a la llacuna de la Ricarda

TEMPERATURA JUNY

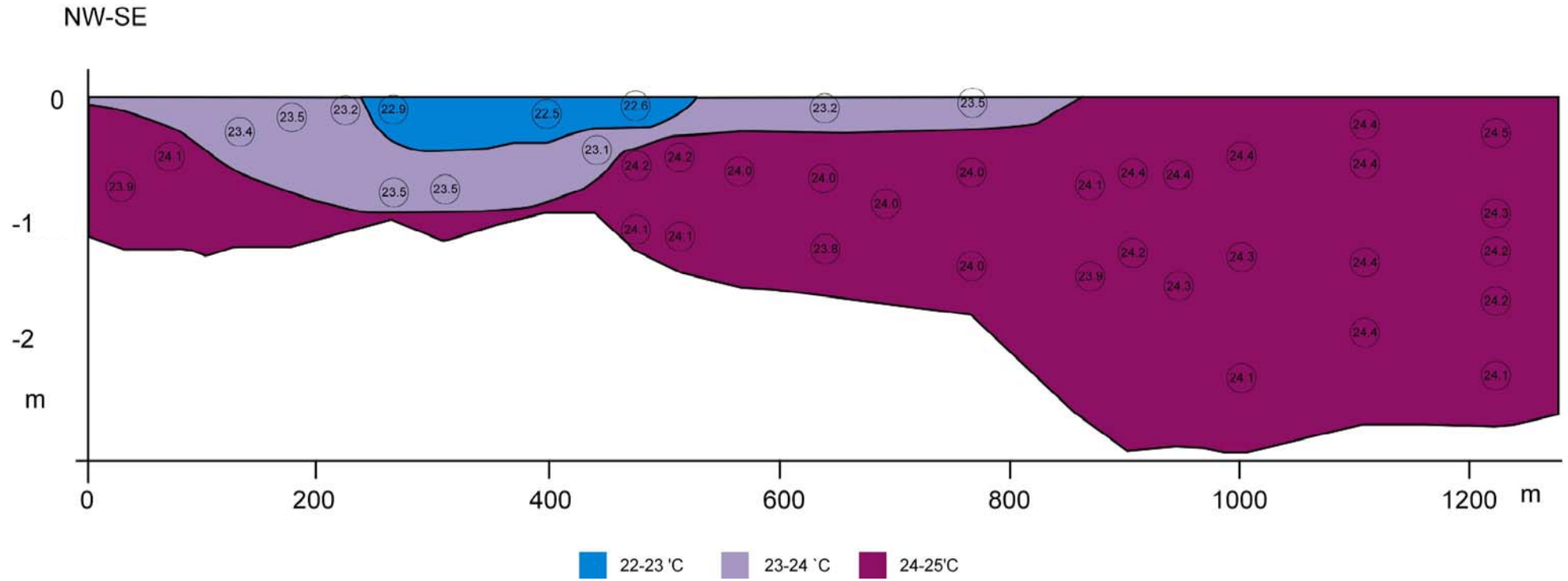


Fig.17: valors de temperatura del mes de juny a la Ilacuna de la Ricarda

5. BALANÇ HÍDRIC

En el present treball s'ha realitzat un balanç hídric per a tot el període d'estudi (desembre 2008- juny 2009) per tal de valorar les variacions estacionals entre la llacuna de la Ricarda i l'aqüífer.

El plantejament i el càlcul del balanç hídric per a un sistema determinat, sempre és un bon mètode per contrarestar la coherència entre el funcionament real del sistema i el model conceptual de la zona d'estudi (*Hidrogeología FCHIS, 2009*).

Cal dir que la realització d'un balanç comporta varies dificultats, generalment derivades de la poca fiabilitat de les dades necessàries per la seva elaboració (*Hernández y Vázquez-Suñe, 1995*), pel que algunes de les dades utilitzades s'han estimat i d'altres, presenten una gran variabilitat.

El balanç utilitzat en aquest estudi es defineix com:

$$E-S=\Delta S+\text{error}$$

On

E=Entrades d'aigua al sistema.

S=Sortides d'aigua del sistema.

ΔS =Variació de l'emmagatzematge.

La variació d'emmagatzematge és la diferencia de nivell de la llacuna diari, que presenta un valor de **-11449 m³**

El model conceptual en què es basa el balanç hídric es mostra en la *Figura 18*.

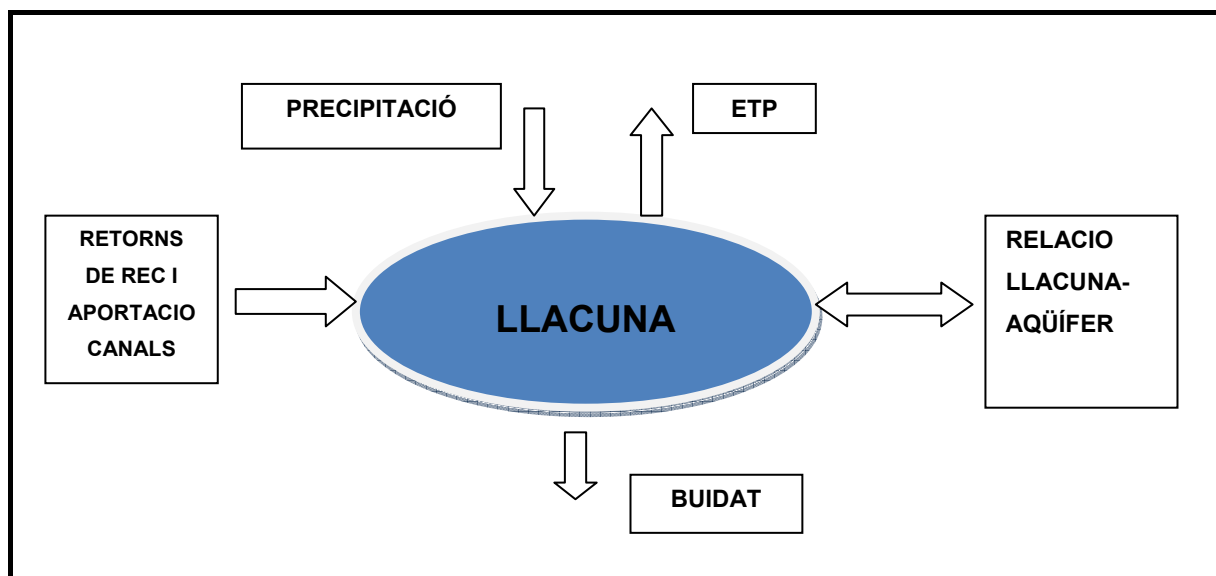


Fig.18 Model conceptual de les entrades i sortides del sistema.

El sistema de la Ricarda es defineix amb les variables de la precipitació i els aports de canals i recs, com a principals entrades del balanç. I com a principals sortides la ETP, i el buidat puntual per l'obertura de la barra de sorra.

Els fluxos subterranis aqüífer- llacuna en aquest estudi es defineixen com una entrada al sistema ja que el valor total al balanç, després de fer Darcy per cadascun dels dies, ens dona un valor positiu. Aquest valor ens ha sortit positiu ja que hom ha definit positiu quan el flux va de la llacuna a l'aqüífer i negatiu a l'inversa.

Per tant podem definir:

ENTRADES (+)

- Precipitació
- Aportacions canal i retorns de rec
- Fluxos subterranis aqüífer- llacuna

SORTIDES (-)

- Evapotranspiració
- Buidat de la llacuna

5.1 Entrades al sistema

5.1.1 Pluviometria

A partir de les dades de pluviometria cedides per l'estació meteorològica de l'Aeroport de Barcelona, s'ha enregistrat una entrada en forma de precipitació, de **320** mm durant tot el període d'estudi. Val a dir que la pluviometria ha estat l'aportació més important a tot el sistema.

Comptabilitzant la pluviometria per tota l'àrea de la llacuna s'obté un total de :

$$0.320 \text{ m} * 86989\text{m}^2 = \mathbf{27871 \text{ m}^3}$$

5.1.2 Aportacions de canal i retorns de rec

Les aportacions d'aigua pels canals de rec s'han comptabilitzat com a zero, ja que en tot el període d'estudi no han portat aigua, i l'aportació del retorn de rec al sistema s'ha depreciat per la poca activitat en l'àmbit d'estudi.

5.1.3 Fluxos subterranis llacuna- aquífer

Com a última entrada del balanç hídric s'han calculat el fluxos subterranis llacuna-aquífer a través de la Llei de Darcy.

$$Q = T * L * i = K * b * L * \Delta h / L$$

$$T = K * b$$

Q=Cabal (m³/d)

T=Transmissivitat (m²/d)

L=Longitud dels sectors (m)

K=Conductivitat hidràulica (m/d)

b=Espessor (m)

$\Delta h/L$ =Potencial hidràulic o gradient (adimensional)

Per al càlcul del volum de l'aigua subterrània entre la llacuna i l'aquífer, i utilitzant la fórmula de Darcy serà necessari definir set sectors al voltant de la llacuna de la Ricarda (*Figura 20*) i calcular el potencial hidràulic.

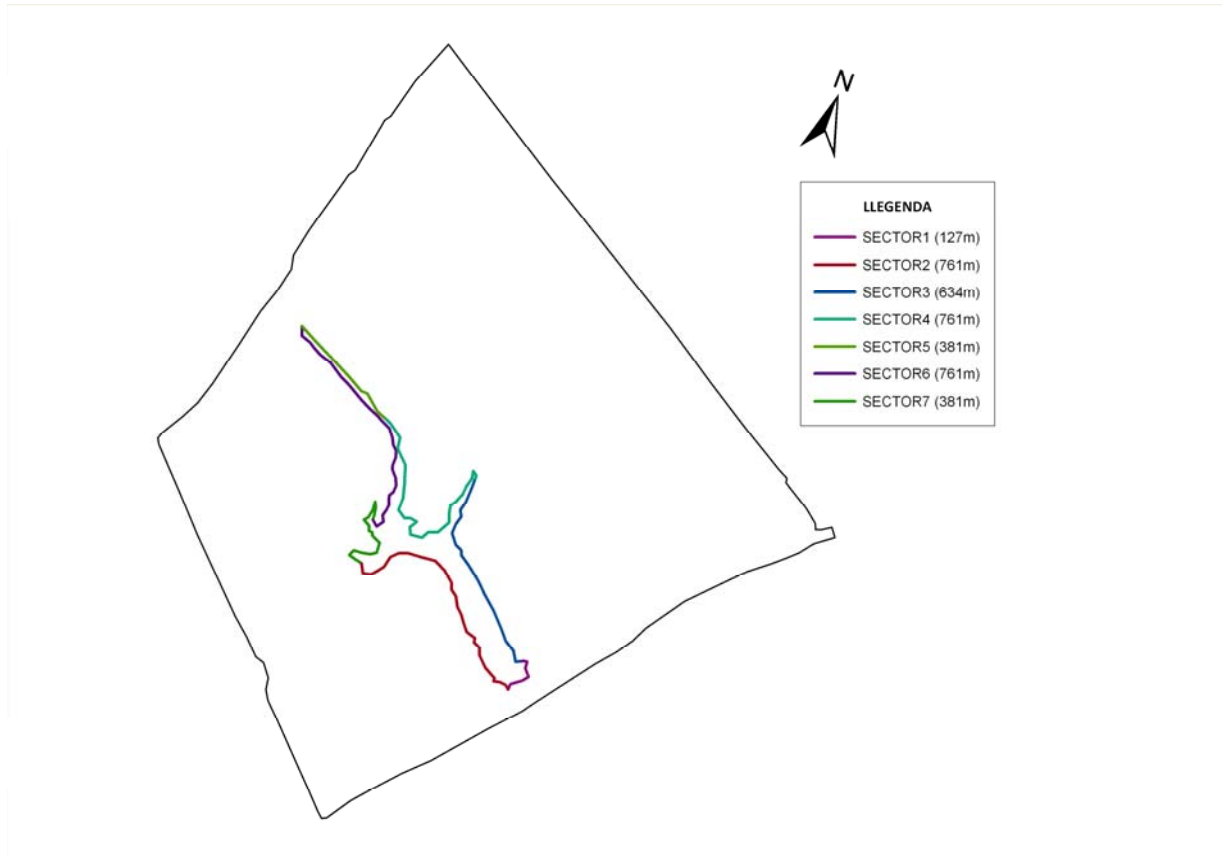


Fig.20. Sectors del perímetre de la llacuna

Per calcular el potencial hidràulic, s'ha fet la diferència entre el nivell del piezòmetre assignat al sector i la llacuna, (per tots els dies de l'estudi), i aquesta s'ha dividit per la distància mitja que hi ha entre cadascun dels piezòmetres i la llacuna

Ara només falta trobar els valors de la transmissivitat (T) que depèn de la conductivitat hidràulica (K) i l'espessor de l'aqüífer (b). Per determinar la conductivitat hidràulica de l'aqüífer superficial s'ha considerat homogeni, amb un valor de $K=1$ m/d (sorres fines i mitges) i un espessor constant de $b=2$ m. Per tant la transmissivitat de l'aqüífer superficial a la zona de la llacuna de la Ricarda és de $T=50\text{m}^2/\text{d}$.

Per tant tenim un flux subterrani de **27279m³** que té la direcció aqüífer superficial-llacuna de la Ricarda.

5.2 Sortides del sistema

5.2.1 Evapotranspiració (ETP i ETR)

L'evapotranspiració potencial (ETP) (*Thornthwaite, 1948*), es defineix com la màxima quantitat d'aigua que es pot evaporar en un sòl completament cobert de vegetació. A partir de l'ETP es defineix l'evapotranspiració real (ETR), que és l'evapotranspiració que es produeix en realitat; la que depèn de la quantitat d'aigua que disposa el sòl.

El fet de tenir el nivell freàtic tan a prop de la superfície, es considera l'evapotranspiració potencial (ETP) igual que l'evapotranspiració real (ETR).

Per calcular l'ETP diària, s'ha utilitzat un full de càlcul que utilitza el mètode Hargreaves, (*Vázquez Suñe, 2007.*). El càlcul utilitzat el defineix la igualtat:

$$ETR=0.0023*Ra*(Tm+17.8)*\sqrt{TD}$$

On

ETR=Evapotranspiració de referència (mm/dia)
Ra=Radiació extraterrestre (mm/dia)
Tm=Temperatura mitja diària (°C)
TD=Diferència de temperatura mitja diària en el període considerat (°C)

Obtenint d'aquesta forma un valor de **546** mm per tot el període d'estudi.

En conseqüència fent el càlcul per tota la àrea de la llacuna s'obté un total de:

$$0.546 * 86989m^2=47512m^3$$

En la *Figura 19* s'observa en color verd els mm de precipitació que han caigut al llarg de tot el període d'estudi, i amb color lila els mm d'evapotranspiració potencial que ha patit la llacuna.

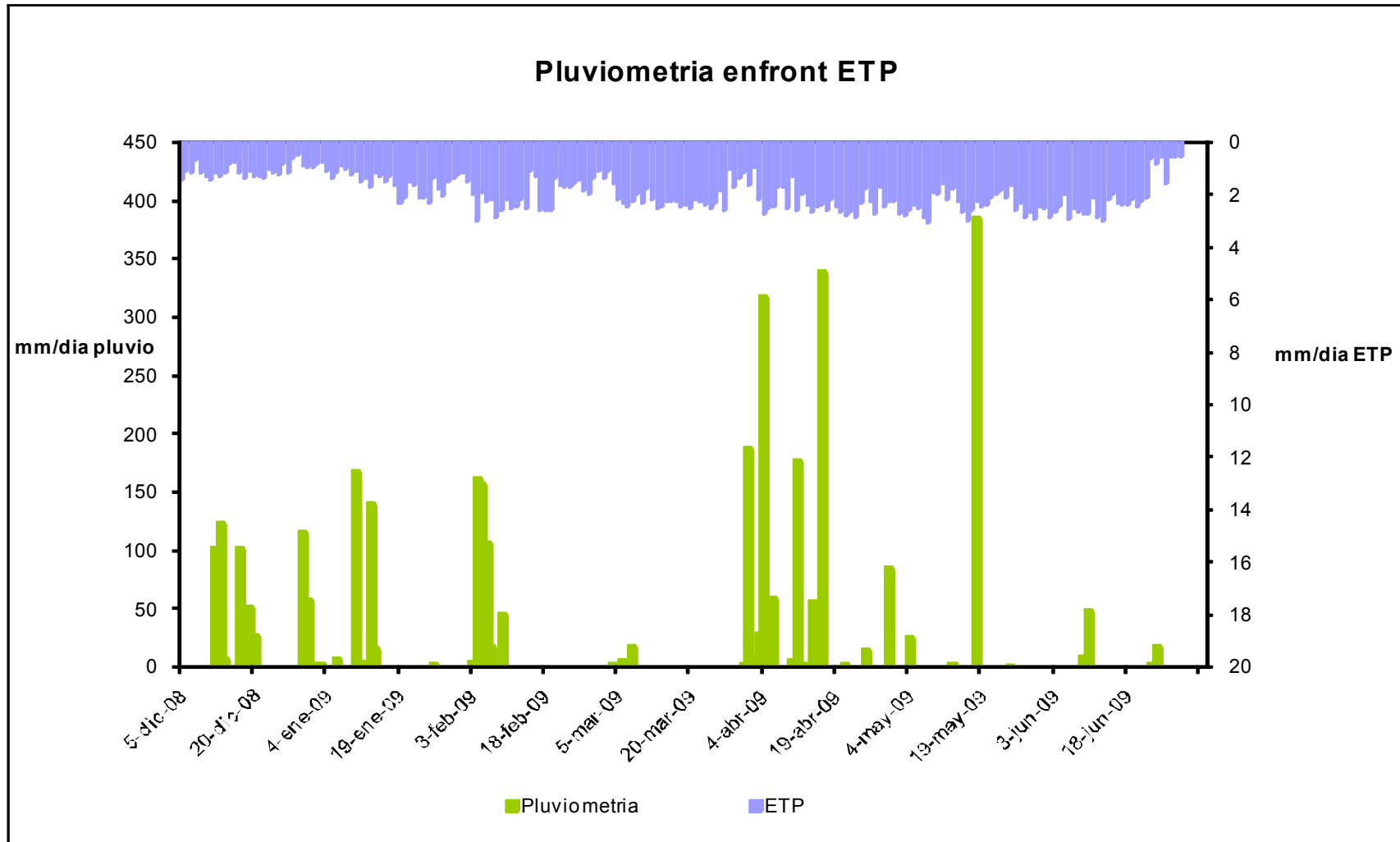


Fig.19. Representació de la pluvimetria envers de la ETP

5.2.2 Buidat de la llacuna

Quan es parla del buidat, es refereix al volum d'aigua que evacua la llacuna al mar quant s'obre la barra de sorra que separa físicament la platja del Prat de Llobregat i el mar. Com s'ha dit anteriorment, aquest és un fenomen puntual en el temps.

El buidat s'ha calculat tenint en compte l'àrea de la llacuna de la Ricarda, que és de **86989 m²** i el descens de nivell de la llacuna en el període considerat.

Per tant, alhora de fer constar el volum perdut al balanç, s'ha optat per focalitzar-lo només als dies compresos entre el 16 i el 19 de gener, on la barra va estar oberta.

Per tant el volum del buidat ha estat de: **18574 m³**.

Per tant com a resum del balanç hídric de la llacuna de la Ricarda es té:

ENTRADES

- Precipitació.....27871m³
- Aportacions de canal i rec.....0
- Fluxos subterranis aqüífer- llacuna.....27279m³


Total 55151m³

SORTIDES

- Evapotranspiració.....47512m³
- Buidat de la llacuna.....18574m³

Total 66086m³

Per tant fent.

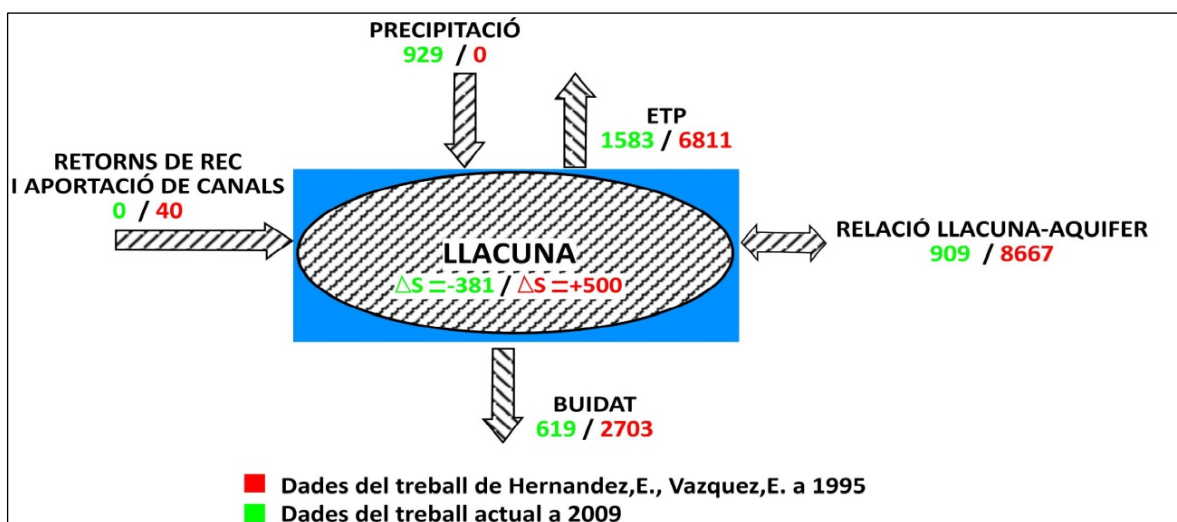
<p>$E-S=\Delta S+Er$</p> <p>$Er=E-S-\Delta S=55151-66086-(-11449)=\mathbf{514m^3}$</p> <div style="text-align: center;">  <p>$\approx 1\%$</p> </div>
--

6. CONCLUSIONS

En aquest treball diferenciar la part teòrica de la pràctica ha estat un mica complicat ja que en tots els objectius proposats han requerit tant treball de camp com de gabinet. El que si cal remarcar són els errors que es poden haver comés prenent dades de camp errònies o la falta d'algunes dades per a calcular el balanç hídric. Tot i això, les conclusions que es deriven del present treball s'expliquen a continuació:

- ✓ Es pot assegurar que la llacuna de la Ricarda actualment tan es comporta com un sistema influent o efluent depenen de si rep o cedeix aigua a l'aquífer superficial, tot depenent de la piezometria que hi hagi en el moment. Aquesta continua presentant un mateix comportament que l'estudi realitzat 1995.
- ✓ Tots els nivells piezomètrics i el nivell de la llacuna presenten una mateixa tendència a la disminució del nivell durant el període d'estudi.
- ✓ Una de les obres civils que més ha influenciat a la llacuna de la Ricarda ha estat l'ampliació de la tercera pista de l'Aeroport de Barcelona. Aquesta, ha fet disminuir la zona de recàrrega més propera a la finca de la Ricarda degut a la impermeabilització del terreny natural. D'altra banda a l'aeroport del Prat, quant el nivell freàtic és pròxim a la superfície és desguassa l'aigua per uns canals perimetrals a l'aeroport.
- ✓ Els piezòmetres del costat E de la finca presenten els nivells piezomètrics més elevats de tots.
- ✓ L'àrea d'influència de la llacuna coincideix amb els límits de la finca per l'est, l'aeroport del Prat per l'oest i el nord, i pel sud el mar.
- ✓ Els valors de conductivitat mesurats a la llacuna de la Ricarda varien entre 8 i 12 mS/cm.
 - A la zona de l'embarcador s'hi poden trobar els valors més baixos i els més elevats es detecten a la zona de la desembocadura.
 - El mes de febrer es detecten els valors més alts de conductivitat i amb major extensió a la llacuna.
 - El mes que presenta més diferències de conductivitat és el juny amb major estratificació de les aigües.
- ✓ Els perfils de temperatura mostren estratificació de les aigües.

- Aigües fredes a les zones profundes i aigües càlides a les zones més superficials, excepte anomalies puntuals.
- ✓ El balanç hídric durant el període d'estudi mostra que la llacuna ha patit pèrdua de volum. En canvi, en el treball anterior el balanç del sistema indica un augment de volum (període d'estudi d'un mes i escaig). El rang d'estudi i el període d'estudi (hivern a estiu) condicionen el resultat del balanç.



7. REFERENCIES BIBLIOGRAFQUES

AENA, (2008). Informe de Vigilància Ambiental : Fase d'obres. Barcelona: Ampliació del Aeroport de Barcelona. Informe mensual de l'equip de vigilància ambiental (E.V.A)

COMISIÓN DOCENTE CURSO INTERNACIONAL DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA (2009). Hidrogeología. Conceptos básicos de hidrología subterránea. Primera edición. Barcelona. ISBN:978-84-921469-1-8.

CUSTODIO, E i LLAMAS, M.R (1983). Hidrologia Subterranea. Barcelona: Ed. Omega. ISBN:84-282-0446-2.

Ferret, J (2004). Els carrabiners de la platja del Prat. El Prat de Llobregat. ISBN:84-87486-18-5.

FUNDACIÓN CENTRE INTERNACIONAL DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA (1996). Vocabulari d'hidrologia subterrània. Primera edició. Barcelona. ISBN 84-921469-0-7.

GÁMEZ, D. (2007). Sequence stratigraphy as a tool for water resource management in alluvial coastal aquifers: application to the Llobregat delta (Barcelona, Spain). Tesis Doctoral. Department of Geotechnical Engineering and Geo-Sciences (ETCG). Technical University of Catalonia (UPC). 1-177 + An.

GOLDEN SOFTWARE, IMC (1999). User's Guide, Contouring and 3D surface mapping for scientist and engineers. USA.

GRUPO DE HIDROLOGIA UPC,(2002). Proyecto de canalizacion del río llobregat desde el puente de mercabarna al mar, con inclusión de medidas correctoras de impacto ambiental , actualización según D.I.A.,con adenda de octubre de 1999, en el término municipal del Prat de Llobregat. Barcelona

HERNÁNDEZ, M^a i VÁZQUEZ-SUÑE, E (1995). Hidrología de las zonas Húmedas de la Ricarda (Delta del Llobregat). Gurguí, A i Gomà, J. Barcelona. Curso Internacional de Hidrología Subterránea.

HERNÁNDEZ, M^a i VÁZQUEZ-SUÑE, E (1995). Informe fundación CHIS. Estudio sobre el funcionamiento hidráulico de la laguna de la Ricarda.

ICC, Institut cartogràfic de Catalunya. Consulta i descàrrega de mapes: http://www.icc.cat/vissir2/?lang=ca_ES&zoom=4&lat=4582782.92683&lon=426248.78049&layers=B00FFFFFFE. últim accés: octubre 2009.

IRÍBAR, V (1992). Evolucion hidroquímica e isotòpica de los acuíferos del Baix Llobregat. Custodio, E i Carrera, J (tutors). Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. Departament de geoquímica, petrologia i prospecció geològica

MANZANO, M (1993). Génesis del agua interesticial del acuitardo del Delta del Llobregat: Origen de los solutos i transporte interactivo con el medio sólido. Custodio, E (tut.) Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior de Camins, Canals i Ports.

MARQUÈS, M.A. (1984). Las formaciones cuaternarias del delta del Llobregat. Tesis Doctoral. Facultat de Ciències Geològiques, Universitat de Barcelona: 1-280.

MOLIST, J. (2005): La segregació dels efluents salobres industrials. Estudi de viabilitat. Agència Catalana de l'Aigua

MOP (1966). Estudio de los recursos hidráulicos totales de las cuencas de los ríos Besós y Bajo Llobregat. Comisaría de aguas del Pirineo Oriental – Servicio Geológico de Obras Públicas, 4 vol. Barcelona.

PLANAS, R (1984). Braços de riu, estanys i maresmés del Delta del Llobregat. Barcelona. ISBN:84-505-0122-9.

SOLA, V (2009). Actualització hidroquímica i isotòpica dels aquífers del Baix Llobregat per a la determinació de la intrusió marina, amb consideració de la isotopia del sulfat. Custodio, E. Tesis de màster. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica de Camins, Canals i Ports.

ANNEX 1: Piezometria de l'estudi

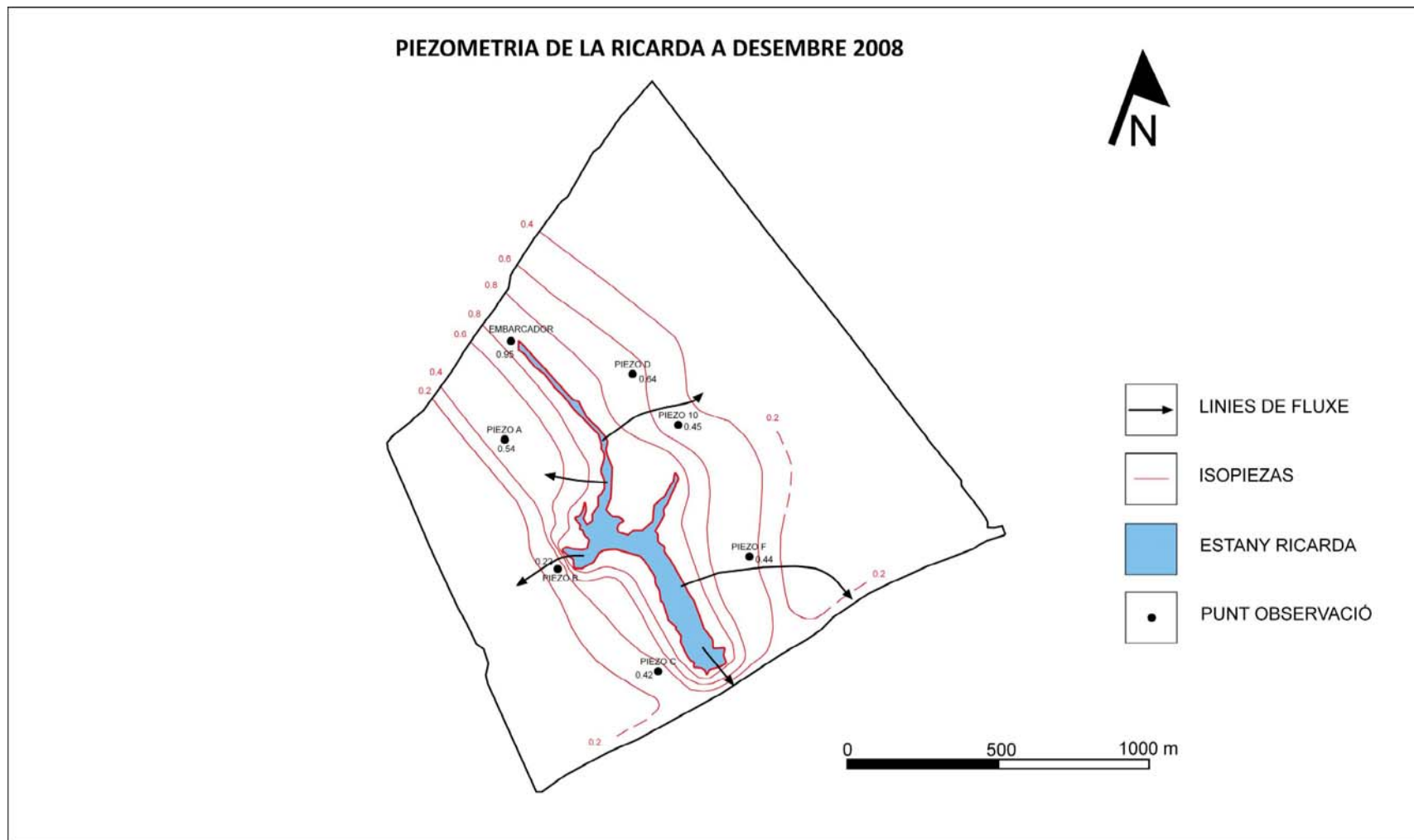


Fig.23 Piezometria de desembre 2009

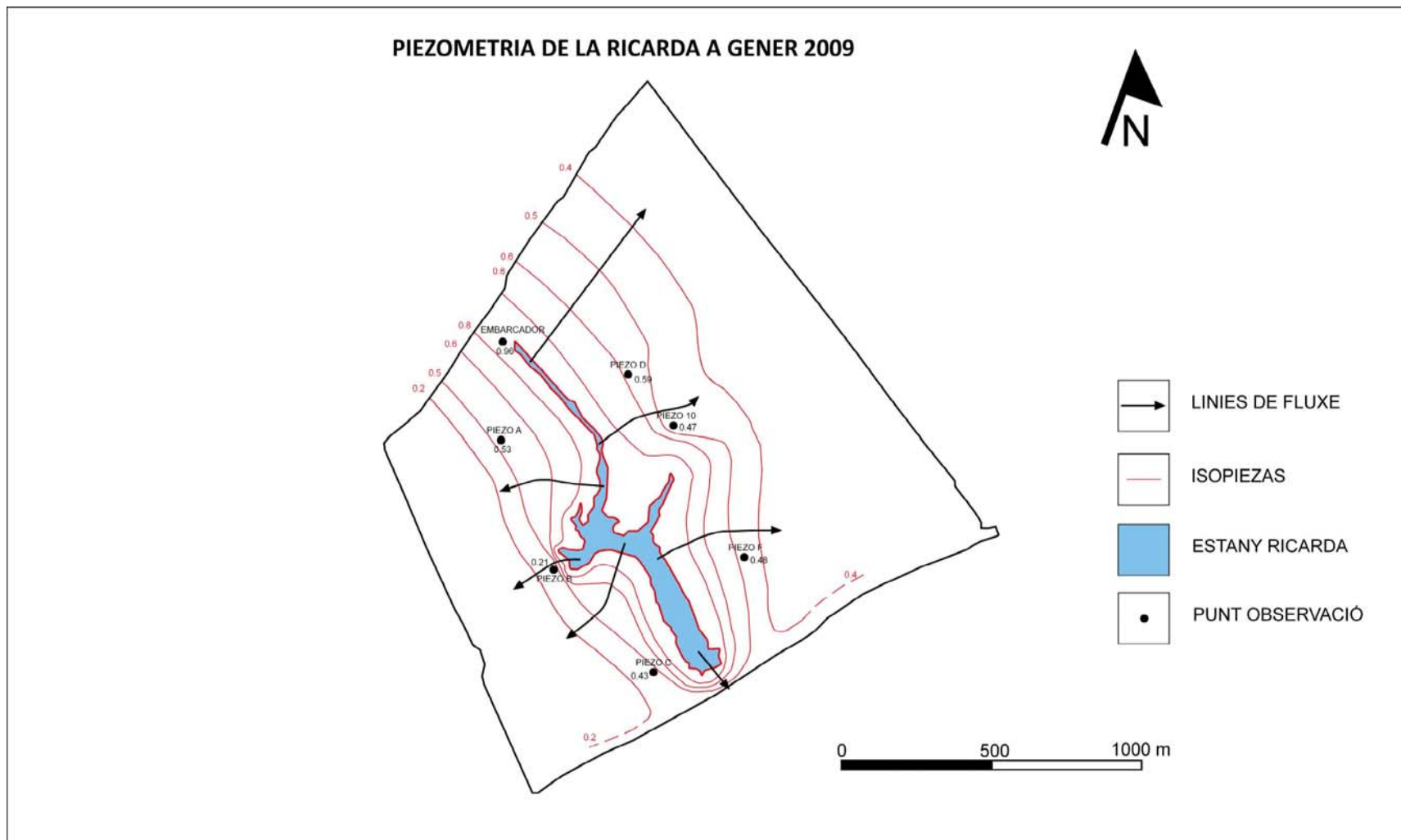


Fig.24. Piezometria de gener 2009

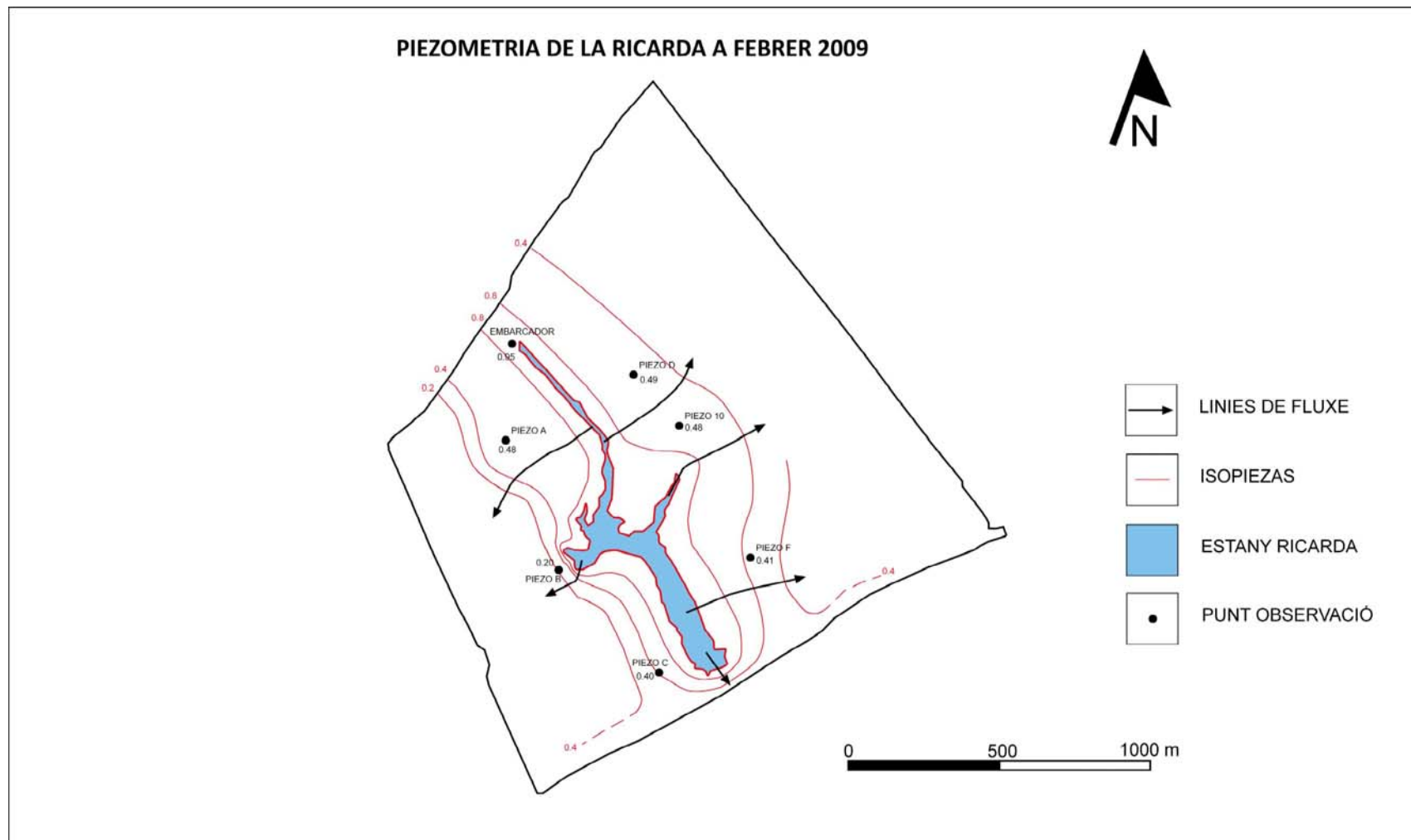


Fig.25. Piezometria de febrer 2009

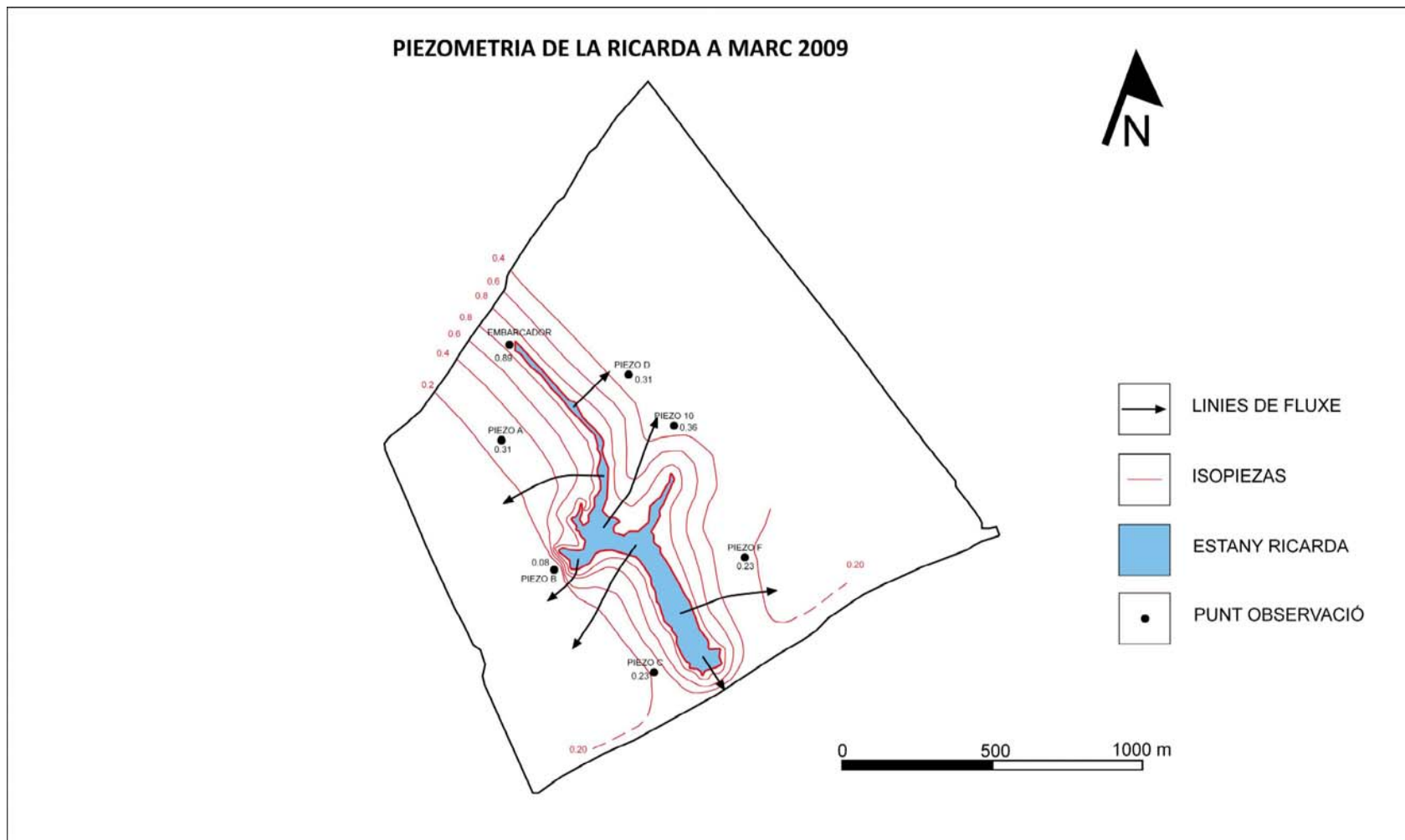


Fig.26. Piezometria de març 2009

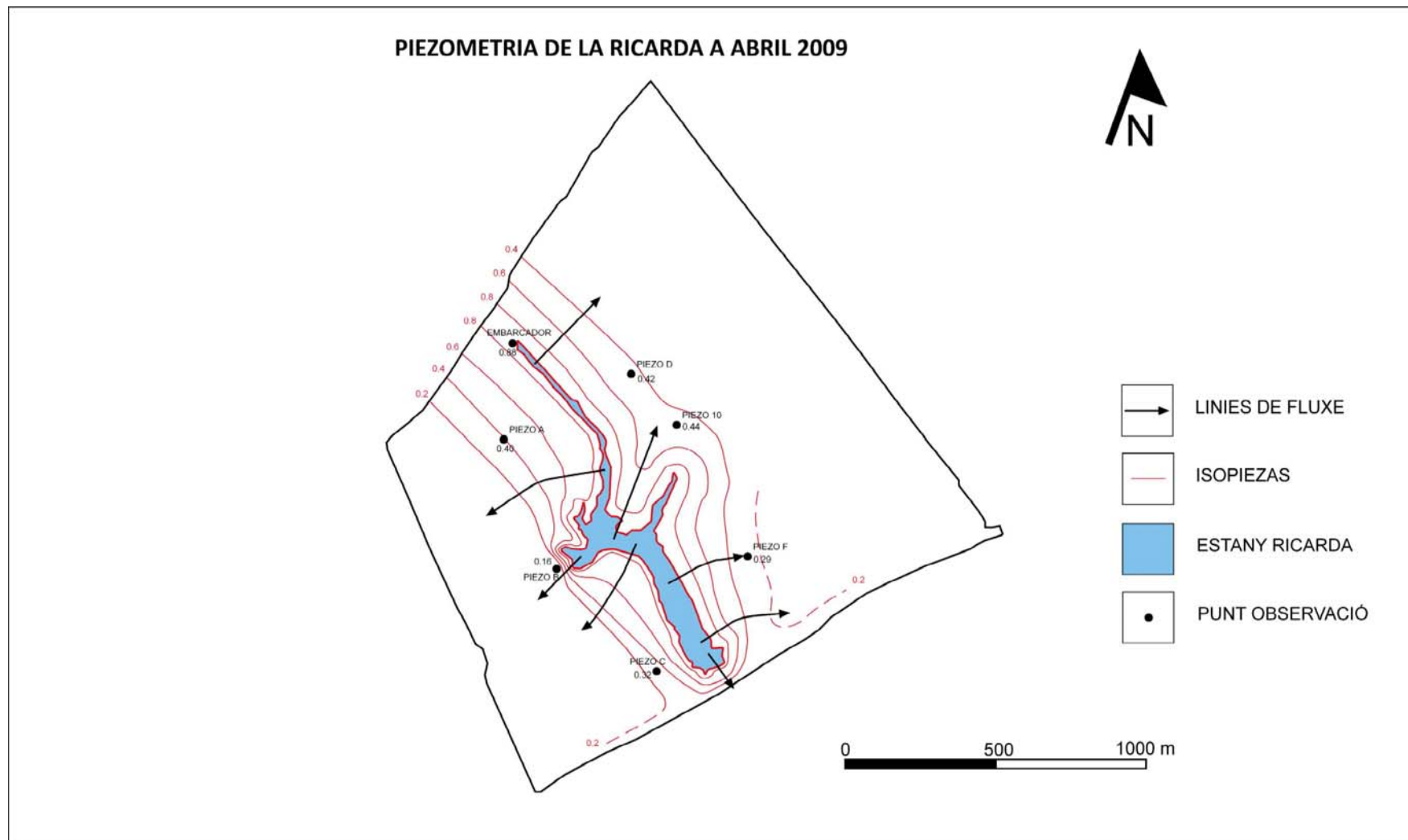


Fig.27. Piezometria d'abril 2009

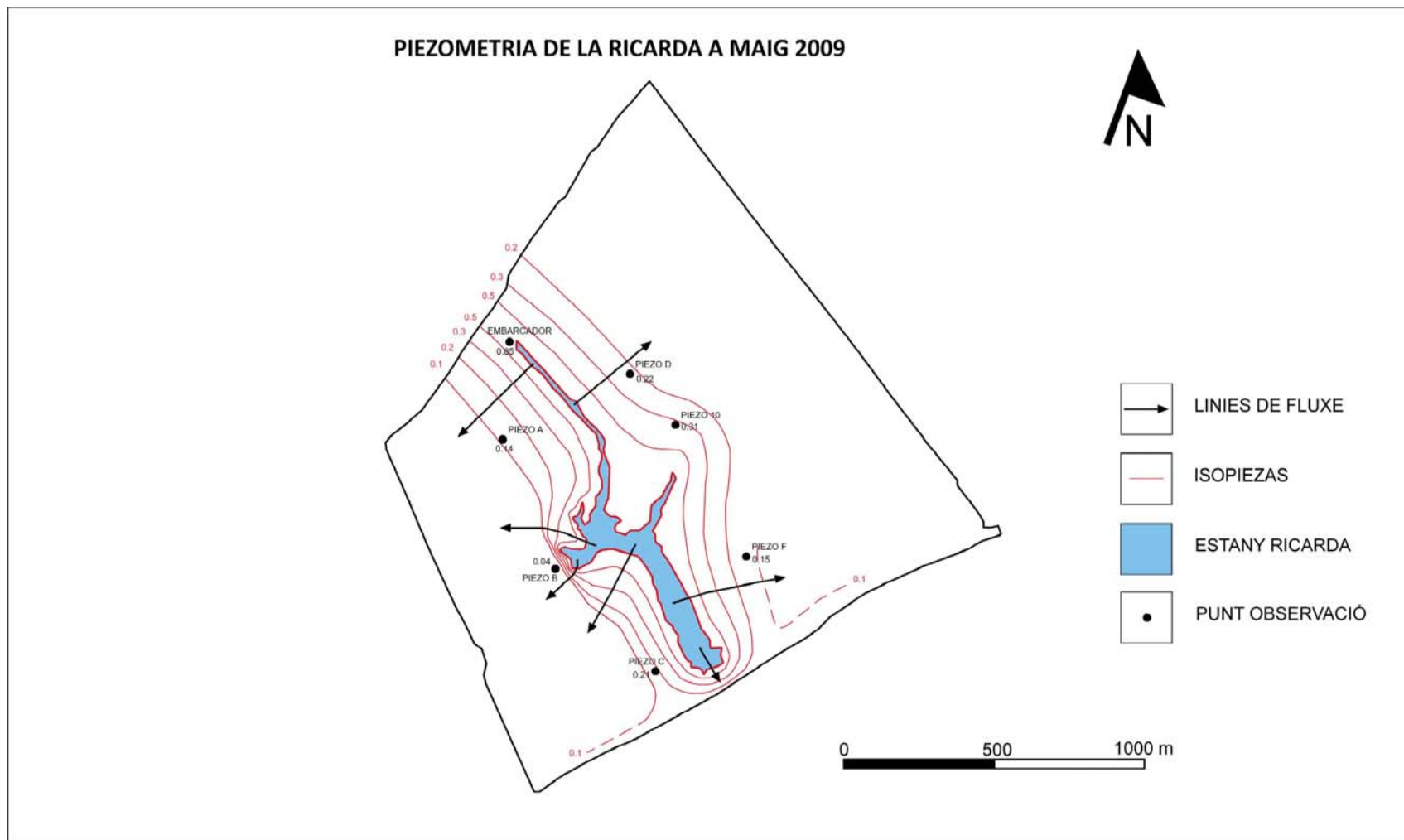


Fig.28. Piezometria de maig 2009

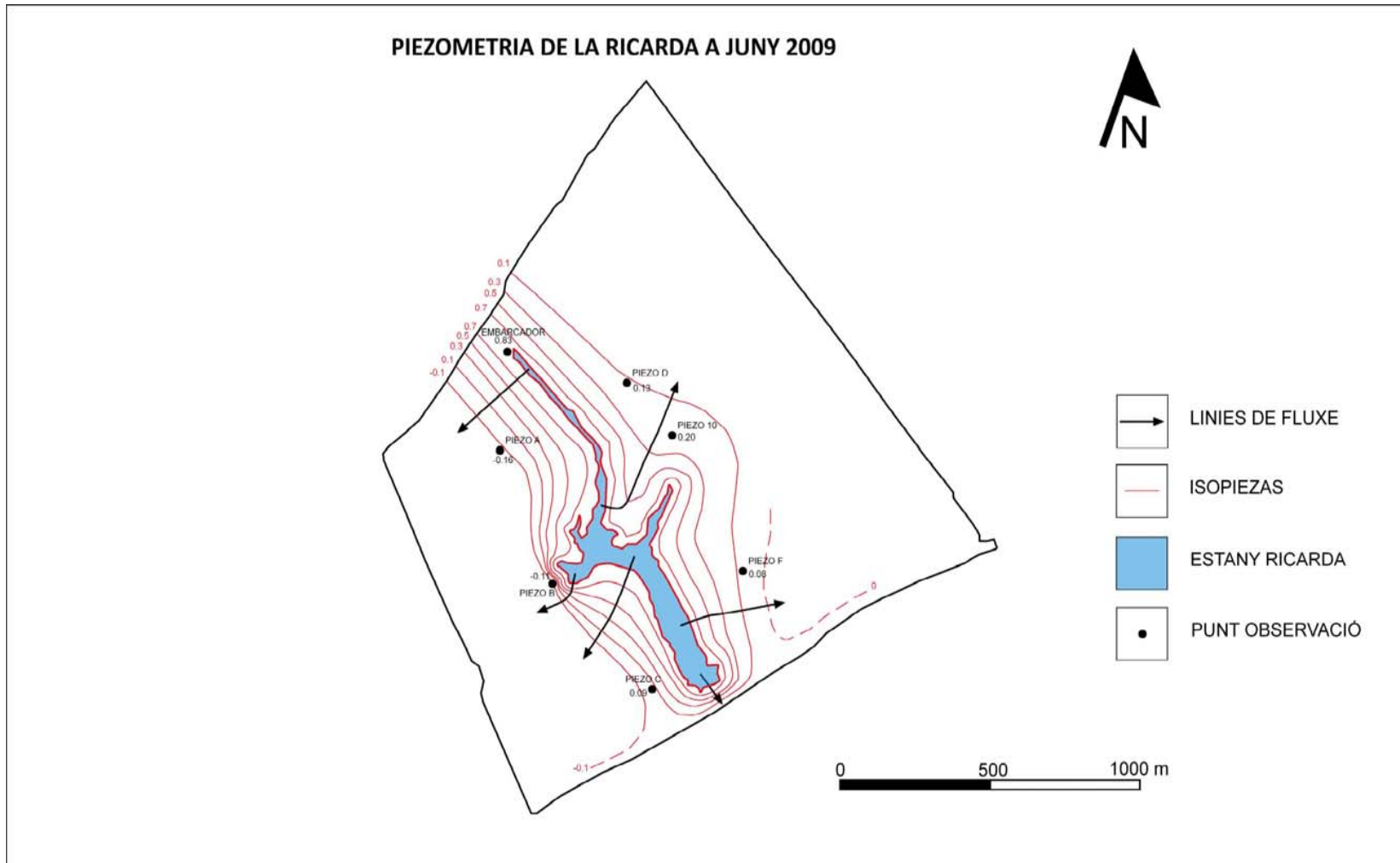


Fig.29. Piezometria de Juny 2009

ANNEX 2: Annex fotogràfic



UN CARRABINER CONTROLANT
L'OBERTURA DE L'ESTANY DE LA RICARDA
A LA DÈCADA DELS ANYS 10 DEL SEGLE XX

Fig.30. Barra de sorra oberta manualment per homes.



Fig.31. Zona de l'embarcador a la llacuna de la Ricarda.



Fig.32.Zona de la llacuna més pròxima al mar



Fig.33. Piezòmetre de control construït per l'estudi.



Fig.34. Mesura in-situ del nivell piezomètric.



Fig.35. Mostreig en una de les campanyes de camp.

