

PARTICIPACIÓ DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES EN LA GÈNESI D'AMBIENTS PALUSTRES CONTINENTALS. EL CAS DELS PRATS DE SANT SEBASTIÀ (CALDES DE MALAVELLA, GIRONA)

Montserrat Vehí,* Rogelio Linares,* Carles Roqué,* Lluís Pallí i Joan Bach**

(*) Àrea de Geodinàmica Externa. Universitat de Girona, 17071 Montilivi.

(**) Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hydrogeologia. Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra.

RESUM

Els prats de Sant Sebastià, situats als encontorns de la població de Caldes de Malavella, formen part de les àrees humides que es desenvolupen en l'extrem sud-est de la depressió de la Selva. En aquests prats s'han identificat diverses zones en les quals la salinitat del sòl és anormalment elevada (CE –conductivitat elèctrica– de fins a 24.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), fet que permet el desenvolupament d'espècies botàniques molt especialitzades i relativament rares en l'àmbit geogràfic en què es troben. Aquests sòls salins es distribueixen preferentment alineats nord-sud. Les dades geofísiques obtingudes mitjançant un conductímetre de camp (EM-31) posen de manifest que aquesta alineació superficial té continuïtat en el subsòl. Així mateix, la cartografia de conductivitats efectuada per a una fondària d'exploració electromagnètica de 6 m, indica que l'amplada de la zona ocupada per aquestes anomalies de salinitat s'incrementa en profunditat. Aquestes dades, un cop integrades en el context hidrogeològic d'aquest sector de la depressió de la Selva, permeten aportar nous elements per a l'estudi de la gènesi i el funcionament d'aquests ambients palustres. Es proposa un model, que futures recerques hauran de validar i contrastar, en el qual la descàrrega d'aigua subterrània procedent de l'aquífer termal subjacent és un factor condicionant del fenomen descrit. Aquest flux ascendent d'aigües d'elevada mineralització (TSD –total de sòlids dissolts– en torn de 3.500 mg/l), pot produir i mantenir la salinitat del sòl.

RESUMEN

La zona conocida como "Prats de Sant Sebastià" está situada en la población de Caldes de Malavella y forma parte de las zonas húmedas que se desarrollan en el margen sudeste de la depresión de la Selva. En estos prados se han identificado diversas zonas en las que la salinidad del suelo es anormalmente elevada (CE de hasta 24.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), hecho que permite el desarrollo de especies botánicas muy especializadas y relativamente raras en el ámbito geográfico en que se encuentran. Estos suelos salinos se distribuyen preferentemente alineados norte-sur. Los datos geofísicos obtenidos mediante el conductímetro de campo (EM-31) ponen de manifiesto que esta alineación superficial tiene continuidad en el subsuelo. Asimismo, la cartografía de conductividad efectuada, para una profundidad de exploración electromagnética de 6 m, indica que la amplitud de la zona ocupada por estas anomalías de salinidad se incrementa en profundidad. Estos datos, una vez integrados en el contexto hidrogeológico de este sector de la depresión de la Selva, permiten aportar nuevos elementos para el estudio de la génesis y el funcionamiento de estos ambientes palustres. Se propone un modelo, que futuras investigaciones tendrán que validar y contrastar, en el que la descarga de agua subterránea procedente del acuífero termal subyacente es un factor condicionante del fenómeno descrito. Este flujo ascendente de aguas de elevada mineralización (TSD en torno a los 3.500 mg/l), puede producir y mantener la salinidad del suelo.

ABSTRACT

The area known as "prats de Sant Sebastià" is in Caldes de Malavella. It is part of the wetlands located in the south-eastern end of the Selva Basin. Several areas with unusually high conductivity (EC up to 24,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) have been identified in this place. This fact allows highly specialised and comparatively rare botanical species to grow in this area. These saline soils follow a north-south line-up. The geophysical data, obtained with a field conductivitymeter (EM 31), show that this superficial line-up continues in the subsoil. In addition to this, the conductivity cartography, made for an electromagnetic exploration depth of 6 meters, shows that the width of the region where these salinity anomalies take place increases in depth. When included in the hidrogeological context of this sector of the Selva Basin, these data bring new elements for the study of the genesis and working of these marshy environments. The model that future research will have to confirm, maintains that the groundwater discharges coming from the underlying hydrogeothermal aquifer are a conditioning factor of the aforementioned phenomenon. This ascending flow of highly mineralised waters (TDS of about 3,500 mg/l) can produce and keep stable the soil salinity.

Key words: Wetlands, salinization, groundwater flow, Girona, Catalunya.

INTRODUCCIÓ

A l'extrem meridional de la depressió de la Selva, entre les poblacions de Caldes de Malavella i de Sils, es desenvolupen zones palustres d'origen continental. De totes elles, dues destaquen per la seva major extensió i funcionalitat actual: l'estany de Sils i els prats de Sant Sebastià (figura 1).

Aquestes zones humides presenten un gran interès ecològic i per aquesta raó algunes han estat objecte de protecció parcial (DGPNNMF, 1998). No obstant això, mai no s'han estudiat detalladament des d'un punt de vista geomorfològic ni hidrogeològic, raó per la qual el seu origen i la seva dinàmica són desconeguts. En treballs d'àmbit regional aquestes zones palustres han estat considerades com a àrees endorreiques genèticament lligades a processos sedimentaris en la part distal de ventalls al·luvials, o bé lligades a manifestacions volcàniques, concretament a fenòmens de barratge de les aigües superficials, com a conseqüència de l'escolament de colades de lava. En tot cas, la possible participació de les aigües subterrànies en la gènesi i el funcionament d'aquestes zones fins ara no ha estat considerada.

Recentment, dos estudis centrats en la zona ocupada pels prats de Sant Sebastià han formulat hipòtesis en aquesta línia de recerca. D'una banda, Mercadal (2000) hi identifica i estudia espècies vegetals pròpies de sòls salins. Segons aquest autor, la conductivitat elèctrica de la superfície del terreny pot arribar a assolir valors de fins a 24.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, els quals correlaciona amb elevats valors de sodi. Aquest catió seria aportat de manera continuada, per mecanismes de capil·laritat, des de la zona saturada. Així mateix, atribueix l'origen d'aquest element a la descàrrega d'aigua subterrània des de l'aqüífer termal de la depressió de la Selva. Aquestes aigües, d'elevada mineralització (TSD = 3.200-3.600 mg/l), contenen fins a un 92% de sodi sobre el total catiònic (valors entre 1.250 i 1.350 mg/l són habituals).

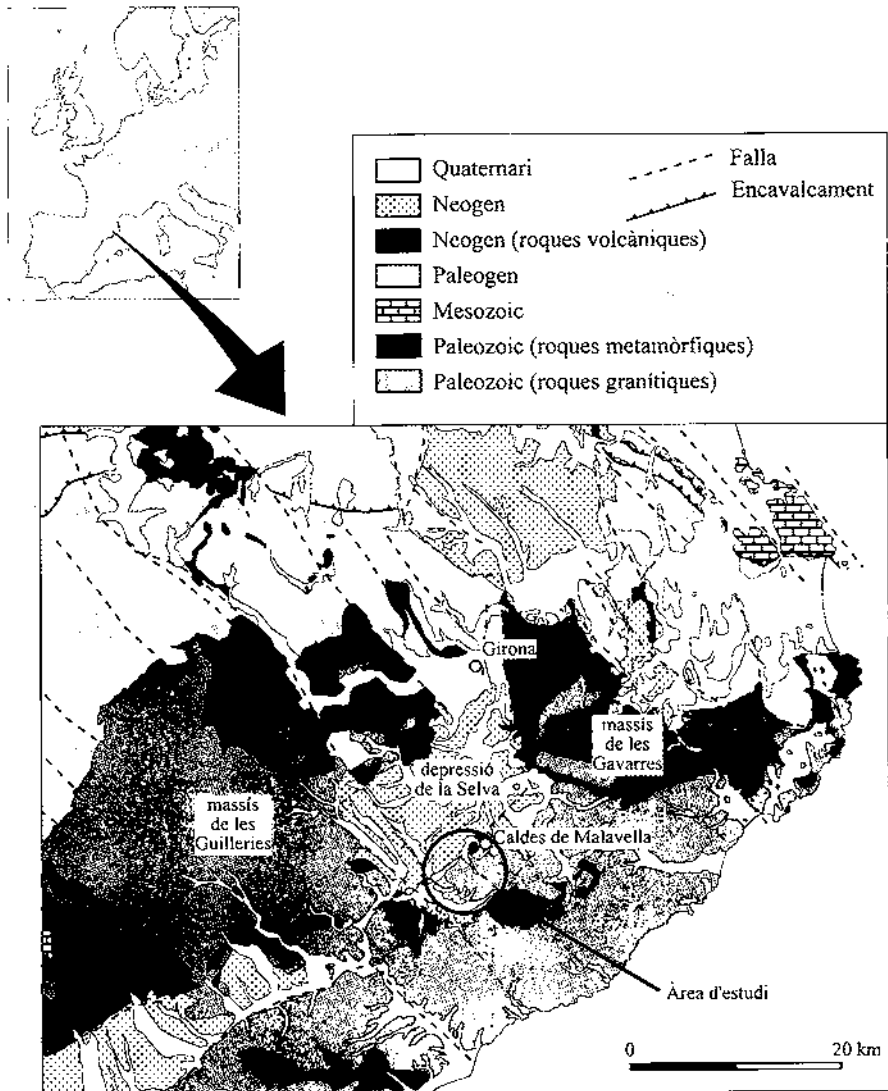


Figura 1. Situació de la zona d'estudi.

D'altra banda, Vehí (2001) corrobora els elevats registres de conductivitat detectats en la superfície del terreny i aporta noves dades, derivades, principalment, de l'estudi del subsòl mitjançant tècniques geològiques convencionals i mètodes de prospecció geofísica. La informació geològica obtinguda posa de manifest que la zona ocupada pels prats de Sant Sebastià pot formar part d'una de les zones de descàrrega de

l'aqüífer termal que es desenvolupa en els materials granítics que conformen el subsòl de la depressió de la Selva. Així, les zones amb sòls salins s'alineen seguint una direcció preferent nord-sud. Aquesta direcció coincideix amb el traçat de fractures que, en la població de Caldes de Malavella (a uns 700 m dels prats de Sant Sebastià), desenvolupen una important activitat hidrotermal (Vidal 1882; Font i Sagué 1903; Llopis Lladó 1943; Marçet Riba & Solé Sabaris 1949; Pallí et al. 1983; IGME 1983; i Vehí et al. 1999). A partir de l'estudi de les columnes litològiques de sondeigs mecànics de reconeixement propers i d'estudis geològics de camp, es considera que el subsòl de la zona ocupada pels prats de Sant Sebastià està constituït per uns 15 a 20 m de sediments fluvials i lacustres, principalment argiles amb pasades disperses de sorres i canals de sorres i graves, disposats sobre un substrat granític poc alterat. També les dades piezomètriques aconseguïdes evidencien l'existència d'un llinar, més o menys concèntric, entorn de la zona ocupada pels sòls salins, a partir del qual el flux subterrani és divergent. En la zona ocupada per aquest màxim piezomètric la conductivitat de l'aigua, mesurada a uns 2 m de fondària, és de 6.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A la mateixa profunditat, però en posicions més allunyades d'aquest punt, s'obtenen valors de conductivitat de només 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A les fondàries referides la temperatura de l'aigua és força constant i es manté entre els 12°C i els 13°C.

Les mesures geofísiques, obtingudes mitjançant equips de prospecció electromagnètica, objecte d'aquest treball, fan possible estudiar en profunditat les alineacions de conductivitat observades en superfície, tant en el sòl com en l'aigua subterrània. Aquestes dades, un cop integrades amb les edafològiques i geològiques disponibles, han permès elaborar una proposta de model de funcionament hidrogeològic per a aquestes zones humides.

METODOLOGIA

Per a la recerca del subsòl dels prats de Sant Sebastià s'ha utilitzat un conductímetre de camp, concretament l'EM-31 Geonics. Es tracta d'un equip de prospecció geofísica que es fonamenta en el mètode electromagnètic. Aquest mètode es basa en la generació elèctrica d'un camp magnètic primari mitjançant una antena emissora situada en les proximitats de la superfície del terreny. Aquest camp magnètic primari n'indueix un de secundari en el subsòl. La mesura de la relació entre ambdós, valorada en una antena receptora situada a certa distància, permet valorar la conductivitat aparent dels diversos cossos geològics del subsòl (McNeill 1979).

L'instrument EM-31 presenta un espaiament entre antenes fix de 3,7 m i utilitza una freqüència de 9,8 kHz. El registre dels components en quadratura i en fase dels camps electromagnètics generats es realitza de manera automàtica. L'equip està dissenyat perquè sigui portàtil i el pugui utilitzar una sola persona, que pot fer mesures en punts predeterminats o bé de manera contínua (figura 2).



Figura 2. Imatge de l'equip EM 31 utilitzat per a la mesura de conductivitat del sòl.

Essent fixa la separació entre l'emissor i el receptor, la variació de la seva orientació (tipus de dipòls) permet assolir profunditats d'investigació diferents. Per a aquesta investigació del subsòl s'ha utilitzat únicament una configuració d'antenes horitzontal (dipòls verticals). Aquesta disposició d'antenes és menys sensible als nivells més superficials i permet assolir una zona efectiva d'exploració de 6 m de fondària.

S'han realitzat uns 250 punts de mesura, seguint diferents transectes prèviament definits. En cadascun d'aquests punts s'han enregistrat els valors en quadratura (conductivitat aparent) i en fase del camp magnètic secundari, per a dipòls verticals.

RESULTATS

Les variacions més significatives s'han observat en els registres de conductivitat aparent (figura 3). Les mesures geofísiques obtingudes, corresponents a una zona d'exploració efectiva de 6 m de profunditat, posen de manifest l'existència d'anomalies de conductivitat en el subsòl en la vertical de les zones humides.

En el marge dret de la riera de Santa Maria, aquestes anomalies representen increments considerables de la conductivitat aparent del terreny, la qual, generalment, s'arriba a duplicar (d'uns 40-60 mS/m es passa a valors de 100-110 mS/m). La cartografia de conductivitats efectuada indica que l'amplada de la zona ocupada per aquestes anomalies de salinitat s'incrementa en profunditat (figura 4).

En canvi, en el marge esquerre, i també en coincidència amb la presència de sòls salins, l'increment que experimenta la conductivitat aparent en fondària és notablement menor, i no supera els 20 mS/m.

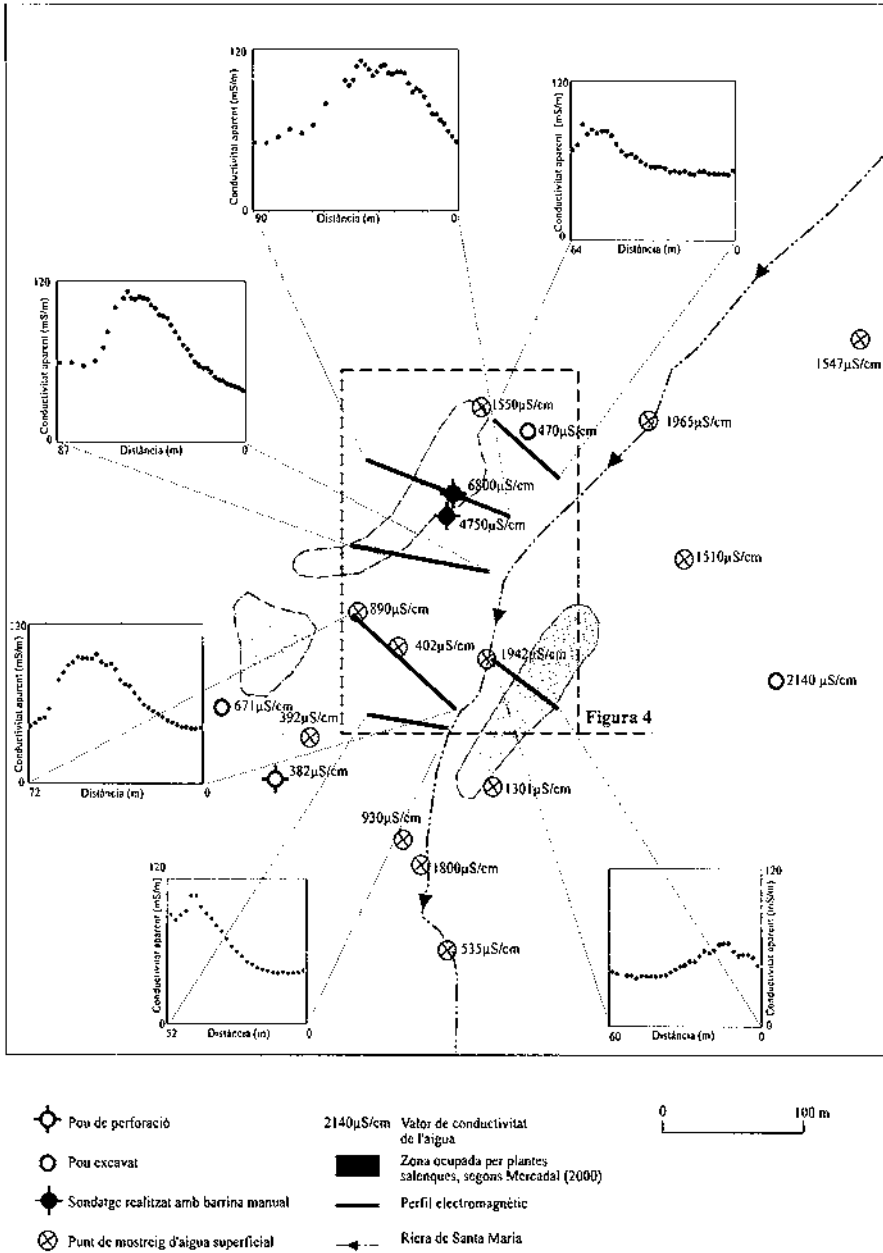


Figura 3. Situació i resultats de les seccions electromagnètiques.

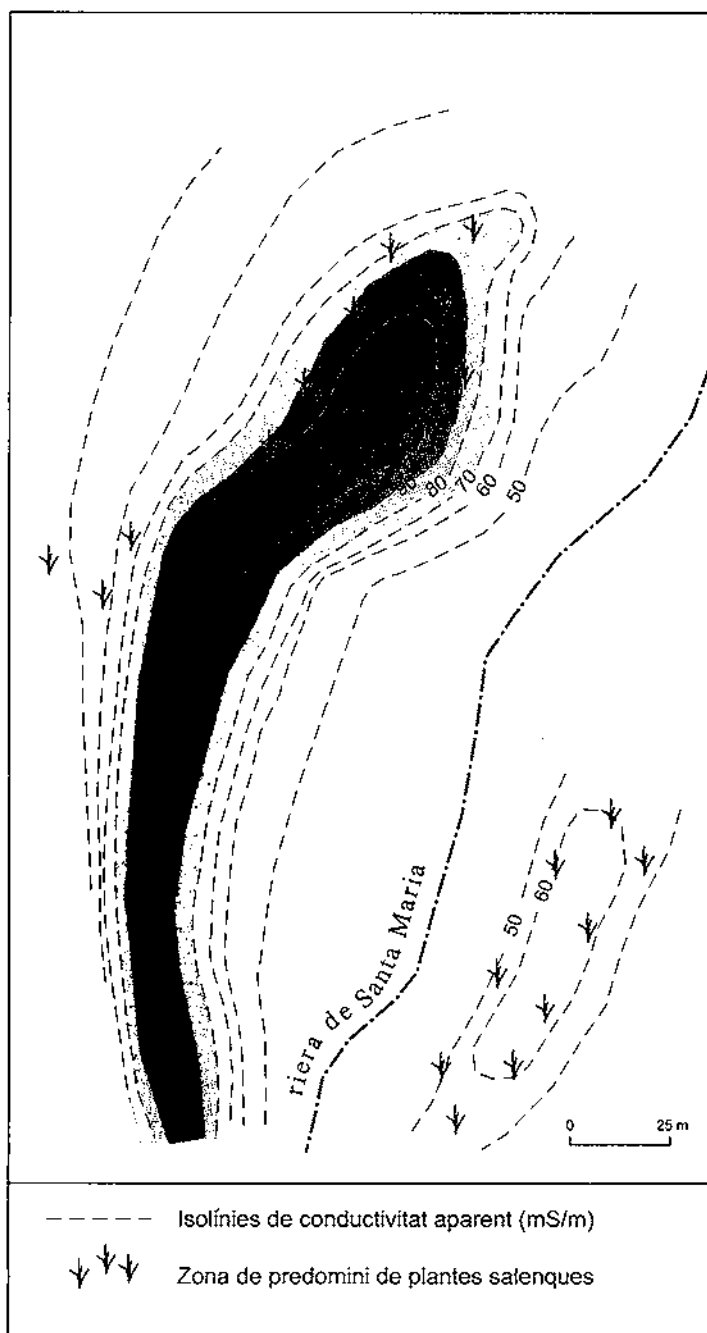


Figura 4. Cartografia de conductivitats aparents per a una fondària d'exploració de 6 m.

Per explicar aquestes variacions desiguals de conductivitat, en una zona de constitució litològica semblant, és necessari fer notar que per a la configuració d'antenes utilitzada els nivells més propers a la superfície tenen una contribució nul·la o molt baixa al camp magnètic secundari, i en conseqüència participen molt poc en els valors de conductivitat mesurada. D'aquesta manera, les dades obtingudes són independents, en gran part, de l'existència en superfície d'una elevada salinitat en el sòl i/o en l'aigua. Si la salinitat detectada a poca profunditat no té continuïtat en fondària, els valors de conductivitat aparent no es veuen afectats.

D'acord amb aquestes premisses, és probable que els sòls salins del marge esquerre de la riera de Santa Maria tinguin un origen diferent. En aquest cas s'ha d'admetre l'existència d'una via més superficial d'aportació de les sals, que probablement estaria també vinculada, en darrera instància, a la subterrània procedent de l'aqüífer termal. Així, seria factible atribuir la salinitat del marge esquerre a aportacions laterals del flux subterrani ascendent del marge dret, les quals serien redistribuïdes cap a aquesta zona pels nivells sorrencs més permeables, detectats en sondeigs manuals (figura 5).

DISCUSSIÓ. PROPOSTA DE MODEL HIDROGEOLÒGIC DE FUNCIONAMENT

La integració de les dades geofísiques amb les geològiques, edafològiques i hidrogeològiques anteriorment esmentades permet postular la participació d'un flux subterrani procedent de l'aqüífer termal en la gènesi de l'ambient palustre dels prats de Sant Sebastià (figura 5). En el model hidrogeològic que es presenta, que futures recerques hauran de validar i contrastar, la salinitat dels sòls i de les aigües de la zona d'influència dels prats de Sant Sebastià podria ser deguda a la descàrrega d'aigua subterrània molt mineralitzada procedent de l'aqüífer termal de la depressió de la Selva. L'existència d'un recobriment prim de sediments del Neogen, amb alguns nivells permeables, facilita la dispersió en sentit ascendent; això dona lloc a la mineralització del sòl en àrees aproximadament el·líptiques alineades seguint la falla.

Atès que els factors geològics condicionants del fenomen descrit en els prats de Sant Sebastià són presents a la zona ocupada per l'estany de Sils, és probable que en l'origen i en el funcionament d'aquesta zona humida les aigües subterrànies tinguin, igualment, un paper important. En aquest cas, com en d'altres zones de la depressió de la Selva, és probable que actuï aquesta dinàmica hidrogeològica descrita, encara que la barreja amb aigües superficials emmascari hidroquímicament el fenomen.

Entenem que els exemples presentats són prou il·lustratius de les potencialitats del mètode electromagnètic (equips EM-31) aplicats a la cartografia de conductivitat del terreny.

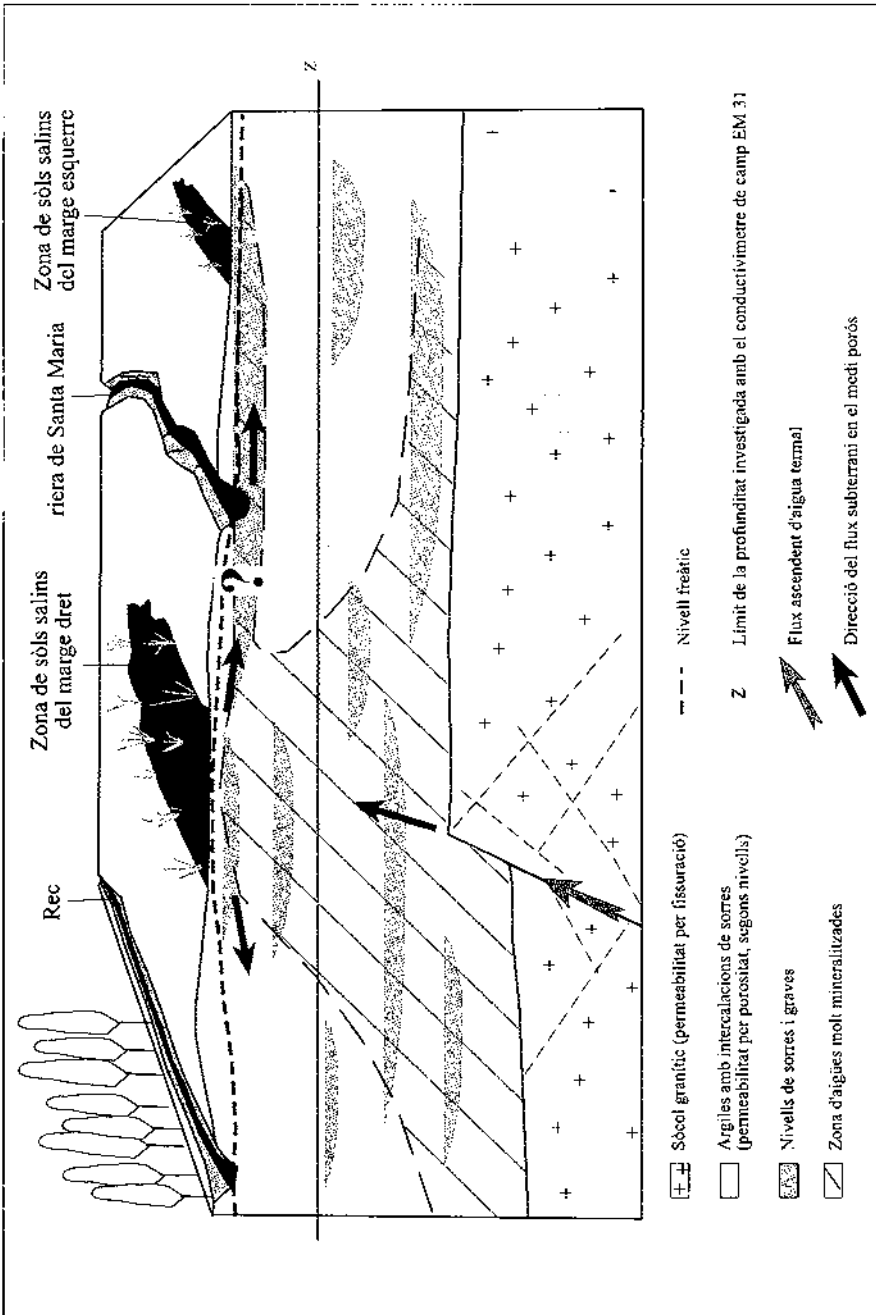


Figura 5. Esquema del model de funcionament hidrogeològic proposat per als prats de Sant Sebastià.

Referències bibliogràfiques

- DIRECCIÓ GENERAL DE PATRIMONI NATURAL I DEL MEDI FÍSIC (1998): *Pla especial de protecció del medi natural i del paisatge de l'Estany de Sils, la Riera de Santa Coloma i els Turons de Maçanet*. Document intern.
- FONT I SAGUÉ, N. 1903. Origen geológico de los manantiales termomedicinales de Caldas de Malavella (prov. de Gerona). Bol. R. Soc. Esp. de Hist. Nat., III: pp. 411-417.
- IGME. 1983. *Mapa geológico de España escala 1:50.000. Explicación de la hoja nº 333 Santa Coloma de Farners*. IGME, Madrid.
- LLOPIS LLADO, N. 1943. *Estudio hidrotectónico del valle de Caldas de Malavella*. Barcelona
- MARCEC RIBA, J. & SOLÉ SABARIS, L. 1949. *Mapa geológico de España, hoja núm. 334 "Gerona"*. IGME, Madrid.
- MCNEILL, J.D. 1979. Operating Manual for EM-31 Non-contacting Terrain Conductivity Meter. Geonics Limited, Canadà.
- MERCADAL G. 2000. *Estudi geobotànic dels prats de Sant Sebastià (Caldas de Malavella)*. Treball de recerca inèdit.
- PALLI, L., TRILLA, J & ESTALRICH, J. 1983. *Mapa morfològic de la Depressió de la Selva*. Dept. Geodinàmica Externa i Hidrogeologia UAB i Dep. de Geologia del Col·legi Universitari de Girona.
- PLA DALMAU, J. 1981 *Las aguas termales y mineromedicinales de Caldas de Malavella*. Analectas Farmacéutico Gerundenses. Girona.
- VEHI, M., PUJADAS, A., PALLI, L. & ROQUÉ, C. 1999. Un edifici volcànic inèdit a Caldes de Malavella (La Selva, Girona): el volcà del Camp dels Ninots. Quaderns de la Selva, 11. Centre d'Estudis Selvatans. pp. 45-72.
- VEHI, M. 2001 *Geologia ambiental de la depressió de la Selva*. Tesi doctoral inèdita.
- VIDAL, L.M. 1882. Estudio geológico de la estación termal de Caldas de Malavella. Bol. Com. Mapa Geológico Esp., T. IX, pp. 65-91.