

TREBALL FINAL DE GRAU

Estudi de la font de Can Verdaguer: origen, evolució de les característiques fisicoquímiques de l'aigua i relació amb els ecosistemes associats

Autor: Arnau Canelles Garcia

Tutor: Dra. Anna Menció Domingo

Institució: Universitat de Girona

Data: 28/05/2015

Estudis: 4rt del grau en Ciències Ambientals

RESUM

Aquest estudi s'ha realitzat en la font de Can Verdaguer i en el seu rec associat, la qual es troba situada dins del terme municipal de Sant Gregori. A nivell geològic aquesta font es localitza al NE de la Depressió de la Selva, just en el seu límit amb la Serralada Transversal.

Els objectius d'aquest treball es poden definir com: 1) conèixer l'origen geològic de les aigües; 2) investigar l'evolució de la biota algal al llarg del rec, a mesura que les propietats de l'aigua varien i 3) estudiar en detall el quimisme de l'aigua.

Per acomplir aquests tres objectius s'ha realitzat: 1) un recopilatori de la informació geològica de la zona; 2) una campanya de prospecció geofísica (tomografia de resistivitats elèctriques); 3) l'anàlisi de l'aigua de la font (pH, oxigen dissolt, cabal, potencial redox, temperatura, Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻, F⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, P total, As total, B total, Fe total, Mn total, Rb total i Sr total) al llarg de 11 punts de mostreig i 4) l'estudi de la biota algal present en el sediment del rec a partir de mesurar 4 variables representatives de la biologia de la zona (Índex de Margalef, clorofil·la, biovolum, número de diatomees per cm² i pes).

Considerant els treballs anteriors realitzats i els perfils de la campanya geofísica realitzats, es pot atribuir l'origen en fondària de les aigües de la font de Can Verdaguer a la infiltració de l'aigua a través de la falla de Llorà, durant el seu recorregut al llarg de la Serralada Transversal.

Des del punt de vista hidroquímic, les aigües d'aquesta font en general es poden classificar com bicarbonatades sòdiques, amb un pH lleugerament àcid i elevades concentracions de ferro dissolt, calci, sodi i bicarbonats. Aquests paràmetres són els que defineixen de forma més representativa aquesta font i els que a més, controlen de forma majoritària les propietats químiques de l'aigua.

Pel que fa a la biota algal, la major part de les diatomees presenten una morfologia de tipus prisma, sobre una base el·líptica. El tipus d'espècies predominants són: *Navicula cincta* i *Achnanthes minutissima* var. *Gracillima*. Pel que fa a les variables biològiques (clorofil·la, Índex de Margalef, individus per cm², biovolum i pes) totes elles tendeixen a augmentar en general a mesura que s'avança en el rec. Per últim, s'ha vist com la biota algal apareix relacionada de forma significativa amb les propietats hidroquímiques de l'aigua del rec, especialment amb el ferro, l'oxigen dissolt, la temperatura, el calci i el pH.

RESUMEN

Este estudio tiene lugar en la fuente de “Can Verdaguer” y en su riego asociado. La fuente se sitúa dentro del término municipal de “Sant Gregori”. A nivel geológico esta zona aparece situada al NE de la “Depressió de la Selva”, justo en su límite con la “Serralada Transversal”.

Los objetivos de este trabajo pueden resumirse como: 1) conocer el origen geológico del agua de la fuente; 2) investigar la evolución de las algas a lo largo del riego, a medida que las propiedades fisicoquímicas de éste cambian y 3) analizar en detalle la química de las aguas.

Para cumplir estos objetivos, se han realizado las siguientes acciones: 1) hacer un recopilatorio de la información geológica de la zona; 2) hacer una campaña de prospección geofísica (tomografía de resistividades eléctricas); 3) analizar el agua de la fuente (pH, oxígeno disuelto, caudal, potencial redox, temperatura, Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , F^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , P total, As total, B total, Fe total, Mn total, Rb total y Sr total) a lo largo de 11 puntos de muestreo y 4) estudiar la biota de las algas presentes en el sedimento del riego a partir de la medida de diferentes variables (Índice de Margalef, clorofila, biovolumen, número de diatomeas por cm^2 y peso).

Considerando los trabajos anteriores realizados y los perfiles de eléctrica obtenidos, se puede atribuir el origen en profundidad de las aguas de “Can Verdaguer” a la infiltración del agua a lo largo de la falla de “Llorà”, durante su recorrido por la “Serralada Transversal”.

Hidroquímicamente, las aguas de la fuente pueden clasificarse como bicarbonatadas sódicas, con un pH ligeramente ácido y concentraciones elevadas de hierro en disolución, calcio, sodio y bicarbonatos. Estos parámetros son los que definen de forma más representativa esta fuente y los que además, controlan la mayor parte de las propiedades químicas del agua.

Por lo que respecta a la biota de las algas, la mayoría de las diatomeas presentan una morfología de tipo prisma con base elíptica. Las especies predominantes de diatomeas en este espacio son: *Navicula cincta* y *Achnanthes minutissima* var. *Gracillima*. En relación con las variables biológicas medidas (Índice de Margalef, clorofila, biovolumen, número de diatomeas por cm^2 y peso) todas ellas tienden a aumentar al avanzar por el riego. Finalmente, se ha observado como la biota de las algas aparece relacionada de forma significativa con las propiedades hidroquímicas del agua, especialmente con el hierro, el oxígeno disuelto, la temperatura, el calcio y el pH.

SUMMARY

The present study takes place in the fountain of “Can Verdaguer” and its associated canal. The area appears inside the municipality of “Sant Gregori”. Geologically, the fountain is located NE of the “Depressió de la Selva”, just on its limit with the “Serralada Transversal”.

The main objectives of this project are: 1) to know the geological origin of the water; 2) investigate the evolution of the algae biota along the canal, while the hydrochemical properties of the water change through its path and 3) to study in detail the water chemistry.

In order to accomplish these objectives, the following actions have been completed: 1) collect the existent information about the geology of the zone; 2) the development of a geophysical campaign (electrical resistivity tomography); 3) water analysis (pH, dissolved oxygen, water flow, redox potential, temperature, Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , F^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , total P, total As, total B, total Fe, total Mn, total Rb and total Sr) along 11 sampling points and 4) the study of the algae biota present in the canal sediment by measuring some biological variables (Margalef Index, chlorophyll, biovolume, diatom density per cm^2 and weight).

Taking into account the previous projects present on the scientific background of this fountain and the ERT profiles, it can be advocated that the deep origin of the water in the “Can Verdaguer” fountain is related to the water infiltration inside the fault of “Llorà” through the “Serralada Transversal”.

According to the hydrochemical point of view, the water of “Can Verdaguer” can be classified as sodium bicarbonate. In addition, it presents a slightly acidic pH, with high concentration of dissolved iron, calcium, sodium and bicarbonates. These chemical parameters are the ones that define, in a more representatively way, the chemical properties of this water system.

In relation with the algae biota, it presents in general, a prism morphology with an elliptic base. The main diatom species are: *Navicula cincta* and *Achnanthes minutissima* var. *Gracillima*. About the biological variables measured (Margalef Index, chlorophyll, biovolume, diatom density per cm^2 and weight) all of them tend to increase as the distance of the canal increases too. Finally, it has been stated that the algae biota is significantly related with the hydrochemical properties of the water, especially with iron, dissolved oxygen, temperature, calcium and pH.

ÍNDEX

1-INTRODUCCIÓ	1
2-OBJECTIUS	3
3- METODOLOGIA DE MOSTREIG I ANÀLISI	4
Campanya geofísica	4
Mostreig d'aigua i sediment al camp	4
Anàlisi de l'aigua	5
Anàlisi del sediment	5
Tractament estadístic de les dades	6
4-RESULTATS	7
4.1-CONTEXT GEOLÒGIC	7
Unitats geològiques principals	7
Sector 1	8
Sector 2	9
Sector 3	9
Relació materials geològics – aigua	10
Campanya de tomografia de resistivitats elèctriques	10
4.2- RESULTATS DE L'ANÀLISI HIDROQUÍMICA	12
Resultats generals	12
Models hidroquímics	16
4.3- RESULTATS DE L'ANÀLISI BIOLÒGICA	19
Clorofil·la i Índex de Margalef	19
Individus i biovolum	20
Pes individual i pes total	21
Models de regressió lineal múltiple	22
5-DISCUSSIÓ GLOBAL	23
6-CONCLUSIONS	27
7-BIBLIOGRAFIA	28

1.INTRODUCCIÓ

La font de Can Verdaguer es troba situada dins del terme municipal de Sant Gregori, pròxima al Veinat de l'Església, aproximadament a 8 km al NO-O de la ciutat de Girona (Figura 1).



Figura 1. Localització topogràfica de la Font de Can Verdaguer. Font: ICGC.

A nivell geològic aquesta font es localitza al NE de la Depressió de la Selva, just en el seu límit amb les zones muntanyoses de la Serralada Transversal (Figura 2). Pel que fa a les unitats geològiques que limiten amb la zona estudiada, s'observa com: al nord apareix la Serralada Transversal (dins del seu límit), al nord-est la depressió del Baix Empordà (16 km aproximadament de distància), al sud-est el Massís de Les Gavarres (a uns 10 km de distància del límit més pròxim), al sud-oest el Massís de Les Guilleries (12 km del límit més proper) i al sud amb la Depressió de la Selva (dins de la seva superfície).

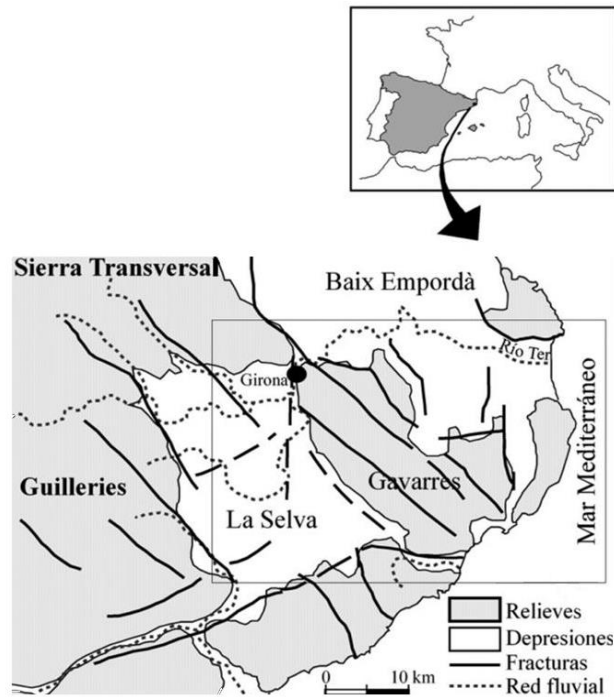


Figura 2. Distribució de les unitats geològiques principals que limiten la zona de la Font de Can Verdaguer. Font: Vilanova et al, 2008.

La font de Can Verdaguer ha estat emprada pels habitants de Sant Gregori i els seus voltants com a aigua de consum ocasional, tot i que l'aigua no compleix els límits establerts de potabilitat (principalment degut a la seva elevada concentració de metalls i sals dissoltes - Real Decreto 140/2003). Les propietats que més interessen als consumidors de l'aigua de la font de Can Verdaguer són principalment l'elevada concentració de sals (sodi, potassi, clorurs, etc.), metalls (especialment ferro) juntament amb la presència de bicarbonats i CO₂, que aporten un sabor peculiar a l'aigua. A més d'aquestes propietats químiques característiques, la font presenta altres elements d'interès com l'origen poc conegut de les seves aigües i l'específica comunitat algal present durant el curs del seu rec (la qual presenta una evolució al llarg del seu recorregut).

Per tant, es pot veure com la font presenta interès en tres camps (geològic, biològic i hidroquímic). Aquests elements ja van ser estudiats anteriorment en altres treballs (Puigdevall et al. 2007; París & Albert-Beltrán, 1976 i Guasch et al. 2012), on de forma integrada o individual, es tractaven els tres camps presentats anteriorment, o fins i tot, es generaven propostes de gestió per a l'espai en qüestió. Tanmateix aquesta font no ha estat la única objecte d'estudi, si més no, altres fonts dels voltants de la zona, també han estat estudiades per altres investigadors (Menció, 2005; Folch & Mas-Pla, 2008; Solé Sabarís, 1946; Vilanova, 2004; Folch et al. 2011).

2.OBJECTIUS

Considering people's use of the water of "Can Verdaguer" fountain and the research background, it has been considered necessary to undertake a multidisciplinary study of it. The main objective of the present investigation is to determine the hydrochemical changes that happen in the water of "Can Verdaguer" fountain, as well as in its canal. In order to achieve the main goal of this investigation, three secondary objectives have to be accomplished:

- 1) Increase the scientific knowledge about the geological origin of "Can Verdaguer" water.
- 2) Analyse and modulate the water chemistry at the source and its evolution along the canal.
- 3) Study the algal biota evolution through the canal (while the chemical properties of the water change).

The realization of these three secondary objectives will not only be approached individually, but also the assessment of their dependence relationship will be an inherent part of their global accomplishment.

3.METODOLOGIA DE MOSTREIG I ANÀLISI

Campanya geofísica:

La campanya de geofísica va suposar la realització de tres perfils de tomografia de resistivitats elèctriques. D'aquests tres perfils, dos van ser realitzats de forma perpendicular a la direcció del rec, amb una llargada aproximada de 80 metres, mentre que el tercer va ser realitzat en el mateix sentit que el rec (paral·lel) però amb una distància de 200 metres aproximadament.

El primer dels perfils perpendiculars va ser realitzat travessant el canal, uns metres abans d'arribar a la bassa on finalitza el rec. El segon dels perfils perpendiculars, es va situar alguns metres per sobre de la font on per tant no es creuava el rec. Aquests dos perfils van ser realitzats utilitzant els programes "Schlumberger curt" (elèctrodes cada 1 m) i "Schlumberger llarg" (elèctrodes cada 2 m). Inicialment es realitzava el programa llarg i un cop finalitzat, es procedia amb el programa curt (a partir de clavar piquetes en l'espai buit entre elèctrodes i tornar a activar el resistímetre). En tots dos casos va ser necessari seguir l'esquema present en la Figura 3.

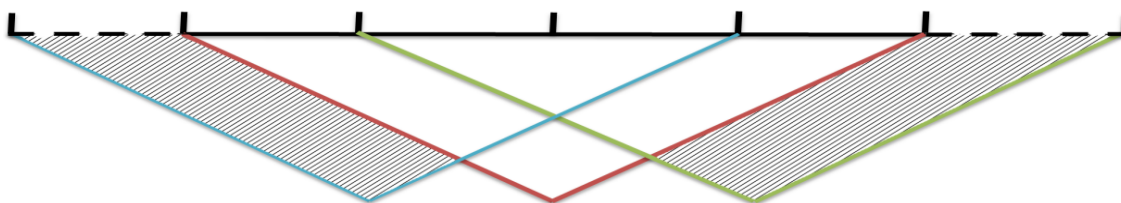


Figura 3. Esquema de la tomografia de resistivitats elèctriques realitzat a la zona de Can Verdaguer. Font: elaboració pròpia.

En aquest esquema s'observa com es realitzen tres tandes de presa de dades del subsòl. La primera (color blau) implica l'ús de tres carros de cablejat reals (línia negra contínua) i 1 carro fictici (línia negra discontinua), obtenint dades de l'àrea compresa entre les línies blaves (excepte la zona ratllada on no hi ha dades). La segona tanda (color vermell) va suposar l'ús de quatre carros de cablejat, obtenint dades del total de la zona compresa entre les línies vermelles. Finalment, la tercera tanda (color verd) va suposar l'ús de tres carros reals i un de fictici, on les dades obtingudes eren les compreses dins de les línies verdes (excepte la zona ratllada).

Mostreig d'aigua i sediment:

S'han mostrejat 11 punts al llarg del rec, ordenats de menor a major distància respecte del punt d'inici. A cada punt s'han obtingut 10 mostres de sediment (5 pel recompte d'individus i biovolums i unes altres 5 per la mesura de la clorofil·la), excepte en el punt 0 on per falta de substrat no s'han pogut obtenir aquestes mostres. Pel que fa a les mostres d'aigua, s'han recollit 4 mostres d'aigua per cada punt de mostreig, pel cas concret de l'anàlisi de metalls, la mostra va ser filtrada amb filtres de 0,2 µm i acidificada fins a pH 2 amb àcid nítric al 90%. A més, a cada punt mostrejat, es van mesurar al camp diferents paràmetres fisicoquímics

mitjançant sondes portàtils. Aquests paràmetres van ser: conductivitat, pH, oxigen dissolt, cabal, potencial redox i temperatura.

Per al mostreig del sediment, es van obtenir 5 mostres de cada punt, mitjançant les xeringues de 1 cm² fins a tenir un volum de 2ml, per tant obtenint finalment per tot el punt un volum de 10 ml (les mostres van ser preses al llarg del punt de mostreig, intentant agrupar la màxima variabilitat possible d'aquell punt a partir d'una línia recta imaginària, perpendicular a la direcció de màxim pendent). Les mostres de clorofil·la, es van emmagatzemar en pots de plàstic recoberts de paper d'alumini i posteriorment congelades. En canvi les mostres pel càlcul de biovolum es van mantenir en pots de vidre de caramel, amb un cert volum (5ml) de formol al 4%.

Cal destacar que en el punt 4, degut a dificultats durant la campanya de camp, no es van recollir les corresponents mostres d'aigua. En el punt 6 d'altre banda, no es van recollir les mostres de sediment per l'anàlisi de la clorofil·la.

Anàlisi de l'aigua:

Les mostres van ser analitzades en un laboratori extern, per l'anàlisi d'anions (Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻ i F⁻) cations (Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺ i Ca²⁺), nutrients (NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ i P total), es va utilitzar el mètode de cromatografia iònica, excepte pel fòsfor total el qual es va mesurar per espectrofotometria, el carboni i nitrogen totals van ser mesurats per oxidació catalítica. El contingut de metalls total (As, B, Fe, Mn, Rb i Sr) van ser mesurats a partir d'espectroscòpia d'emissió atòmica (OES). L'alcalinitat es va determinar a través del mètode de Gran. En general, l'error analític obtingut a través del balanç de càrregues ha estat entre -7 i 14 %, on de mediana, l'error observat resulta ser del -1%.

Anàlisi del sediment:

Individus i bio-volums: En la determinació dels individus i biovolums, es va realitzar el seu recompte fins a 100 camps al microscopi o 300 individus, anotant la seva mida. Pel càlcul del biovolum, la fórmula era $V = \frac{\pi}{4} \cdot a \cdot b \cdot c$ (Hillebrand et al, 1999), on "a" representa l'eix apical (llargada), "b" l'eix transapical (amplada) i "c" l'eix valvar (alçada). Per últim, tant pel biovolum com el número d'individus totals, calia expressar les dades en funció de la superfície mostrejada en el rec, considerant que per cada cm² mostrejat, es va obtenir 2 ml de mostra amb 5 ml (un total de 7000 µL) d'una dissolució de formol al 4%. Cada camp de recompte de diatomees tenia una àrea igual a $(0,17^2) \cdot \pi \text{ mm}^2$ i el volum observat al microscopi era de 20 µL en una superfície del cobreobjectes de $24 \cdot 24 \text{ mm}^2$.

Pes: Per calcular el pes, primerament calia calcular el biovolum i obtenir el biovolum mitjà per individu i un cop conegut aquest biovolum, aplicar l'equació: $\log_{\text{pgC cell}^{-1}} = \log a + b \cdot \log V$; on "log a" = -0,541, "b" = 0,811 i "V" = volum mesurat per individu en µm³ (modificat de Menden-Deuer, 2000).

Clorofil·la i Índex de Margalef: En l'anàlisi de la clorofil·la i el Índex de Margalef es va descongelar inicialment la mostra 24h abans del seu tractament al laboratori, a temperatura ambient. Posteriorment la mostra va ser filtrada, i del filtre emprat (0,7µm de fibra de vidre), es va extreure la clorofil·la amb acetona en fred durant 24h. De l'extracte obtingut, es va mesurar l'absorbància a les longituds d'ona de 665, 430 i 750 nm amb un espectrofotòmetre, i es va aplicar la fórmula pel càlcul de la Clorofil·la a: Chl-a (µg/L) = 11.4 x (A₆₆₅-A₇₅₀) x V/B, on "V" és el volum del extracte (10 ml de acetona, expressat en ml) i "B" el volum de sediment mostrejat (2 ml de sediment, expressat en litres). Respecte el Índex de Margalef (IM), a partir dels valors d'absorbància obtinguts, es va aplicar la fórmula: IM = A₄₃₀/A₆₆₅. Aquest índex indica l'estat de la comunitat algal fotosintètica, on valors majors a 2 indiquen que la comunitat està dominada per organismes amb pigments de tipus carotenoide enlloc d'organismes amb major proporció de clorofil·la a (modificat de Wellburn , 1994 i Ritchie, 2008).

Tractament de les dades:

Les dades obtingudes han estat tractades estadísticament a partir de tres tipus de procediments: 1) regressió lineal (simple o múltiple) comparant els valors obtinguts de les diferents variables respecte la distància de mostreig en el rec o respecte una altre variable numèrica quantitativa; 2) ANOVA unifactorial amb comparacions entre grups, aquest anàlisi es realitzava comparant la informació de cada variable (que complís el supòsit de normalitat i homogeneïtat de variàncies) respecte el punt de mostreig; 3) Kruskal-Wallis amb comparacions entre grups, aquest anàlisi presenta les mateixes característiques que l'ANOVA però sense la necessitat de complir els seus supòsits. En els punts 2 i 3 les anàlisis estadístiques han permès classificar cada punt de mostreig en una categoria. Les categories suposen que els valors de concentració més baixos tenen la lletra "a" i els més alts la lletra "c", on per tant la "b" serien els intermedis (la combinació de diferents lletres indica una combinació entre categories, per exemple la categoria "bc" seria una nova categoria mescla de les categories "b" i "c" on principalment està més relacionada amb la categoria "b"). Per últim, les dades de tipus hidroquímic van ser modelitzades a través del programa PHREEQC. Aquest model és el resultat d'introduir les dades hidroquímiques dels punts del rec mesurats al camp (amb els seus corresponents valors de concentració dels diferents elements químics) al PHREEQC, i executar l'eina "INVERSE MODELING", per tal de que el programa calculi quins haurien de ser en realitat els valors de concentració dels diferents paràmetres mesurats. Dins del programa, s'han mantingut els valors de pH, O₂, pe i temperatura mesurats al camp. A més, el model considerava que les fases actives principals a tenir en compte en la Font de Can Verdaguer eren: hidròxid de ferro III, calcita i CO₂. Segons el programa el rec es regia en funció de la precipitació, migració o dissolució d'aquestes fases actives.

4.RESULTATS

4.1.Context geològic

Unitats geològiques principals:

Considerant alguns dels treballs anteriors realitzats a l'entorn de la font de Can Verdaguer (Menció, 2006 i Folch et al. 2011), es pot atribuir com a origen en fondària de les aigües de la font de Can Verdaguer a la infiltració de l'aigua a través de la falla de Llorà, durant el seu recorregut al llarg de la Serralada Transversal, la qual resulta ser la seva zona de recàrrega principal. Per tant, resulta necessari fer especial incís en la geologia d'aquesta unitat muntanyosa. Tot i això, les altres unitats com Les Guilleries, Les Gavarres o la Depressió de La Selva resulten ser d'interès per la seva proximitat a la font. Les Guilleries estan formades essencialment de roques sedimentàries i metasedimentàries, intercalades amb nivells de roques ígnies i metamòrfiques, originals del paleozoic. Aquesta zona apareix altament fracturada degut a diverses falles, principalment de direcció NE-SO i algunes de direcció NO-SE (Menció 2005). Les Gavarres estan compostes bàsicament per roques sedimentàries i volcanosedimentàries (ambdues amb un grau variable de metamorfisme) de l'era paleozoica, les intrusions de roques volcàniques plutòniques o filonianes són també importants, la zona apareix amb falles rellevants, sobretot en sentit NE-SO (Menció 2005). La Depressió de La Selva, en la part més propera a la font, està reblerta per materials sedimentaris d'origen al·luvial (principalment argiles, sorres i graves). En canvi el seu sòcol està format principalment per argiles i margues vermelles de la formació Pontils, amb intercalacions de conglomerats, calcàries i margocalcàries amb nummulits de la formació Girona. Les falles presents a la zona són sobretot d'orientació NO-SE i en general els materials són del paleogen (Menció 2005). Pel que fa a la unitat geològica de la Serralada Transversal, aquesta resulta estar formada per un conjunt de serres d'orientació NO-SE, els materials geològics que la formen són sobretot sedimentaris detrítics i carbonatats de l'edat Paleògena. Les falles que hi apareixen tenen majoritàriament direcció NO-SE (entre les quals s'inclou la falla de Llorà, en la qual es troba la font de Can Verdaguer, objecte d'aquest estudi). La falla de Llorà (Figura 4) recorre la unitat de la Serralada transversal, en contacte amb una gran varietat de materials (que poden diferir o no dels majoritaris d'aquesta unitat).

roques volcàniques àcides en superfície (Ordv) i granits biotítics, granodiorites i tonalites en fondària (Ggr), que apareixen en les zones muntanyoses.

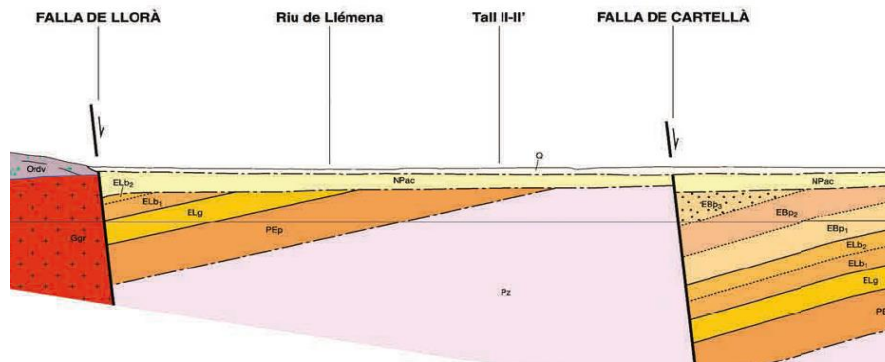


Figura 6. Tall geològic representatiu del Sector 1. Font: ICGC.

Cal destacar que en aquest cas el tall geològic representatiu del sector (Figura 6) no coincideix amb la imatge presentada, això es deu a que el tall geològic presentat es situa en la zona deprimida de la zona de Can Verdaguer i per tant els materials han estat parcialment erosionats i substituïts per materials sedimentaris d'origen al·luvial (NPac). Tot i així, el sector de la font, apareix més elevat topogràficament i manté els materials gresosos (EBp2 i EBp1).

Sector 2:

Aquest sector (Figura 7) presenta en el bloc inferior de la falla gresos blavosos en superfície (EBp3). A major fondària apareixen gresos blavosos de granulometria fina i bioturbats (EBp2), juntament amb gresos arcòsics (EBp1). Per sota de les capes de gresos, es troba una capa de margues, margocalcàries i gresos amb bioclasts (ELb2), després de la qual s'arriba a una capa de margues blaves i argiles (ELb1). Finalment apareixen nivells intercalats d'argiles, gresos, llims i conglomerats d'origen filonià (PEp) i per últim una capa de calcàries sorrenques amb bioclasts (ELg). En el bloc superior apareix en superfície una capa de gresos arcòsics (EBp1), immediatament després una capa de calcàries sorrenques amb bioclasts (ELg), calcàries amb intercalacions de lutites (SDcl) i finalment una capa de pissarres negres (Spn).

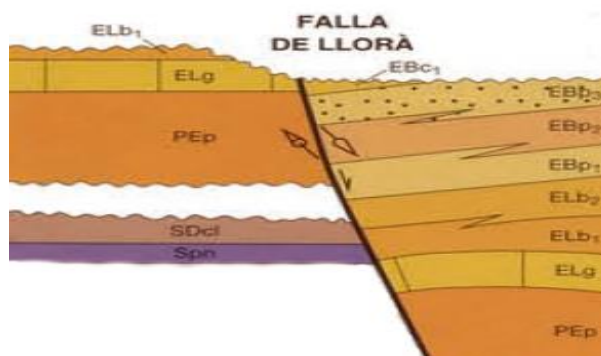


Figura 7. Tall geològic representatiu del Sector 2. Font: ICGC.

Sector 3:

En aquest sector (Figura 8), concretament en el bloc inferior de la falla, s'observen en superfície gresos blavosos heteromètrics de granulometria mitjana-grollera (EBp3), on per sota, en ordre descendent, es troben gresos blavosos de granulometria molt fina bioturbats amb intercalacions de sorres (EBp2) i gresos arcòsics de tonalitats blanquinoses (EBp1). En major fondària apareix una capa de gresos lítics amb intercalacions de margues i argiles (ELb2), posteriorment una capa de margues blaves i argiles (ELb1), una penúltima capa de calcàries sorrenques amb bioclasts (ELg) i finalment una capa de conglomerats, gresos, i lutites vermelles (PEp). En canvi en el bloc superior de la falla, afectat pel vulcanisme, apareix en superfície una capa de dipòsits de piroclastos de diferents mides i en diversos graus de classificació (Qvcl) i colades de basanites olivíniques (Qvml) on a més fondària continuen calcàries amb intercalacions de lutites (SDcl), pissarres negres (Spn), gresos quarsítics massius (Orgq), gresos quasifeldespàtics amb lutites (Org) i finalment gresos/lutites gris-verdoses (Ord).

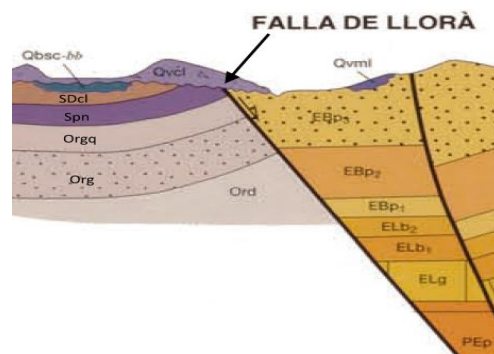


Figura 8. Tall geològic representatiu del Sector 3. Font: ICGC.

Relació materials geològics – aigua:

Aquests grups de materials presenten com a components minerals principals: calci, carbonats, sofre, ferro, altres compostos metàl·lics o elements secundaris associats a la natura filoniana d'alguns dels materials i compostos silicatats (associats amb sodi, potassi, estronci, bari, alumini, bor i silici). Del recorregut de la falla per zones de vulcanisme, apareixen sobretot magnesi, ferro (també de les piritess associades a les pissarres), diòxid de carboni, sodi, potassi i silicats.

Campanya de tomografia de resistivitats elèctriques:

En la zona de la font de Can Verdager, tal i com s'ha explicat a la metodologia, s'hi han realitzat tres perfils d'elèctrica (Figura 15). A partir d'aquests perfils s'obtenen els models de resistivitats (Figures 9, 10 i 11), els quals indiquen la resistivitat elèctrica dels materials del subsòl i per tant permeten relacionar-los amb el tipus de material i el seu contingut en aigua (juntament amb el grau de mineralització d'aquesta). A partir dels models de resistivitats elèctriques es generen els models geològics associats al perfil. Aquests models geològics (Figures 12, 13 i 14) són el resultat de contraposar la informació de l'estudi dels mapes geològics, d'altres treballs realitzats a la zona i de les observacions visuals de la geologia de l'entorn de la font amb la informació dels perfils de resistivitats elèctriques.

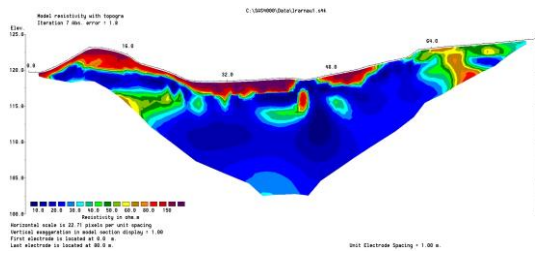


Figura 9. Perfil 1 de tomografia de resistivitats elèctriques. Font: elaboració pròpia.

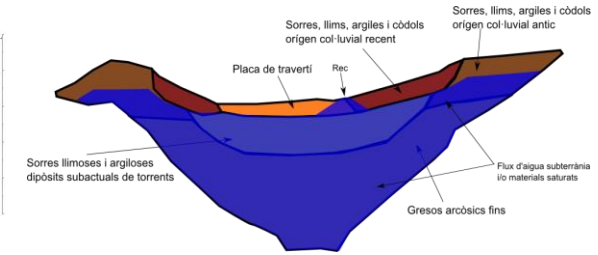


Figura 12. Model geològic del perfil 1. Font: elaboració pròpia.

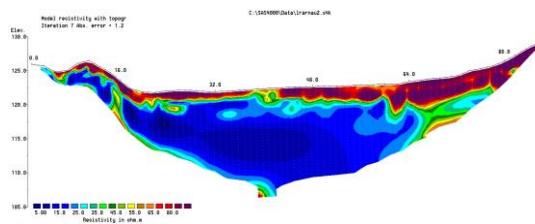


Figura 10. Perfil 2 de tomografia de resistivitats elèctriques. Font: elaboració pròpia.

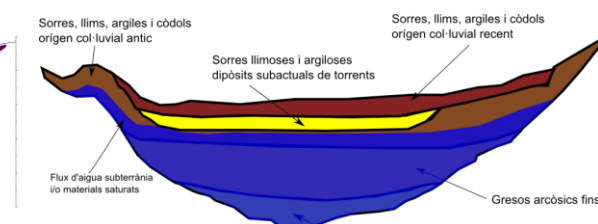


Figura 13. Model geològic del perfil 2. Font: elaboració pròpia.

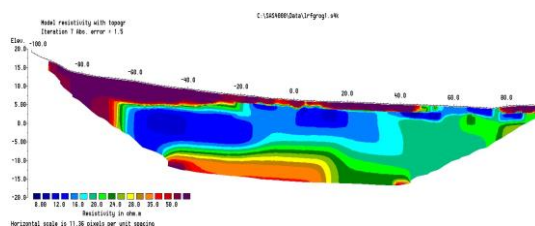


Figura 11. Perfil 3 de tomografia de resistivitats elèctriques. Font: elaboració pròpia.

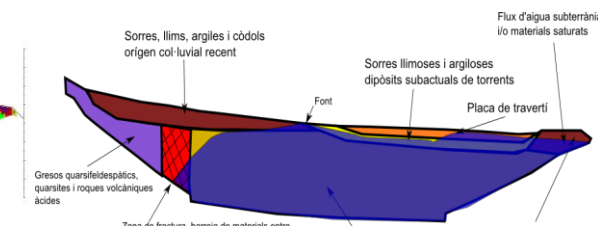


Figura 14. Model geològic del perfil 3. Font: elaboració pròpia.

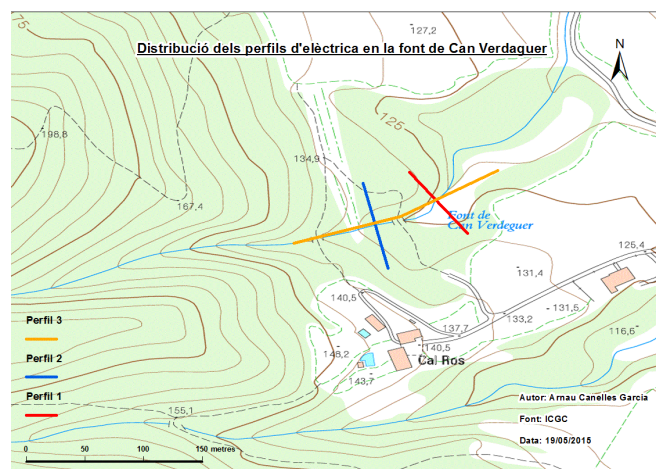


Figura 15. Distribució geogràfica dels perfils d'elèctrica a la zona de Can Verdaguer. Font: elaboració pròpia.

4.2. Resultats de l'anàlisi hidroquímica

Resultats generals:

Per tal d'exposar inicialment els resultats de l'anàlisi hidroquímica, es presenta el diagrama de Piper sobre l'aigua present al llarg dels diferents punts del rec de la font de Can Verdaguer (Figura 16).

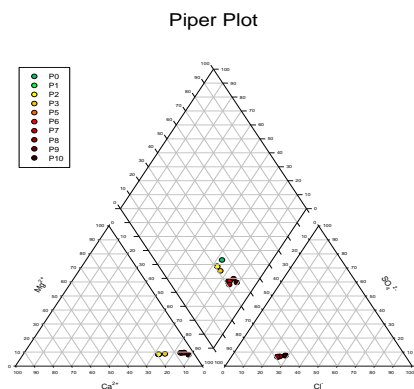


Figura 16. Diagrama de Piper de l'aigua mostrejada a la Font de Can Verdaguer i al rec. Font: elaboració pròpia.

Al llarg dels diferents punts del rec, les propietats hidroquímiques de l'aigua varien lleugerament (principalment incrementant la proporció de sodi respecte els altres elements i una lleugera disminució de l'alcalinitat cap al final del rec). Tot i aquesta variació al llarg del rec, segons el diagrama de Piper, l'aigua d'aquesta font en general es pot classificar com de tipus bicarbonatada sòdica. Aquesta informació comparada amb l'obtinguda en altres treballs (Folch, 2010; Guasch, 2012 i Solé-Sabarís, 1946) en els que s'analitzaven els components químics de l'aigua d'aquesta font, resulta ser coincident. Aquests estudis destaquen les elevades concentracions de sodi i bicarbonats respecte la resta d'elements dissolts a l'aigua. A més, si es comparen els valors de les concentracions dels diferents elements d'aquesta font amb altres fonts properes a la zona, s'observen diferències significatives, especialment en el contingut en ferro, l'alcalinitat, el sodi i el calci (Solé-Sabarís, 1946; Vilanova, 2004 i Menció, 2005).

Per tal d'entendre amb major detall la química de les aigües de la zona de Can Verdaguer, s'ha analitzat la composició de les seves aigües de forma específica, obtenint la concentració dels diferents components d'aquesta aigua al llarg dels punts de mostreig realitzats. S'han analitzat els següents paràmetres: conductivitat elèctrica, potencial redox, O₂ dissolt, pH, temperatura, alcalinitat, clorurs, sulfats, brom, fluor, nitrits, nitrats, fòsfats, fòsfor total, sodi, amoni, potassi, magnesi, calci, carboni orgànic total, nitrogen total, arsènic total, bor total, ferro total, manganès total, rubidi total i estronci total. D'aquests elements analitzats només alguns han resultat tenir una variació significativa dels seus valors al llarg del rec (model de regressió lineal significatiu), d'aquests paràmetres s'ha realitzat un model de regressió lineal (Figura 17).

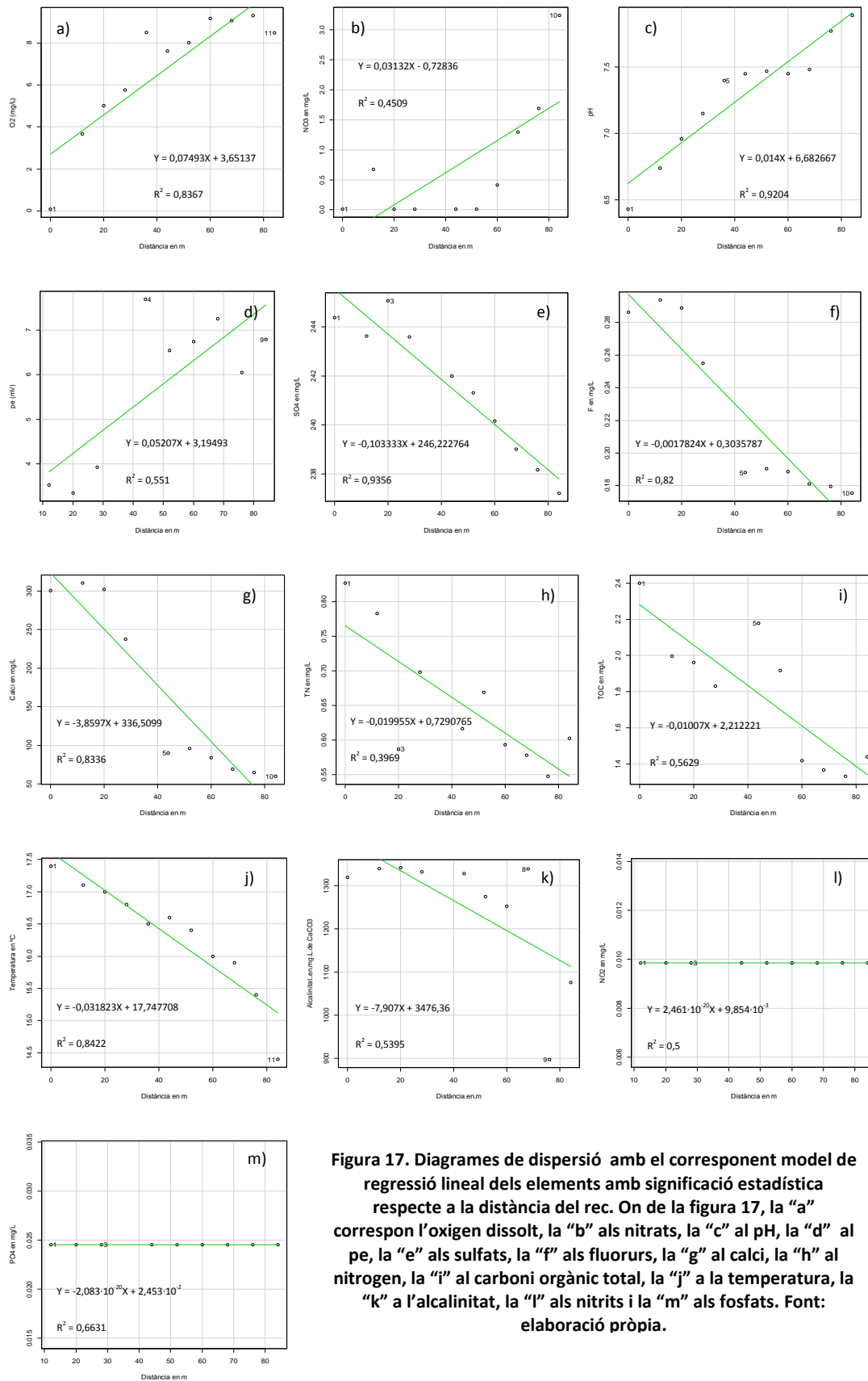


Figura 17. Diagrames de dispersió amb el corresponent model de regressió lineal dels elements amb significació estadística respecte a la distància del rec. On de la figura 17, la "a" correspon l'oxigen dissolt, la "b" als nitrats, la "c" al pH, la "d" al pe, la "e" als sulfats, la "f" als fluorurs, la "g" al calci, la "h" al nitrogen, la "i" al carboni orgànic total, la "j" a la temperatura, la "k" a l'alcalinitat, la "l" als nitrats i la "m" als fosfats. Font: elaboració pròpia.

Tal i com s'observa en els gràfics anteriors, podem dir que al llarg del recorregut del rec el pH, l'oxigen dissolt i el potencial redox augmenten els seus valors de forma significativa. Mentre que els sulfats, el fluor, el calci, el nitrogen total, el carboni orgànic total i la temperatura veuen els seus valors disminuir significativament durant el recorregut del rec.

Només visualment i organolèpticament es pot veure com les aigües de la font objecte d'estudi presenten un elevat contingut en metalls i per tant el seu anàlisi resulta rellevant per tal d'entendre aquest sistema. En el cas dels metalls, a més del model de regressió lineal, s'han realitzat les anàlisis estadístiques de tipus Kruskal-Wallis, representats en gràfics de barres (Figura 18).

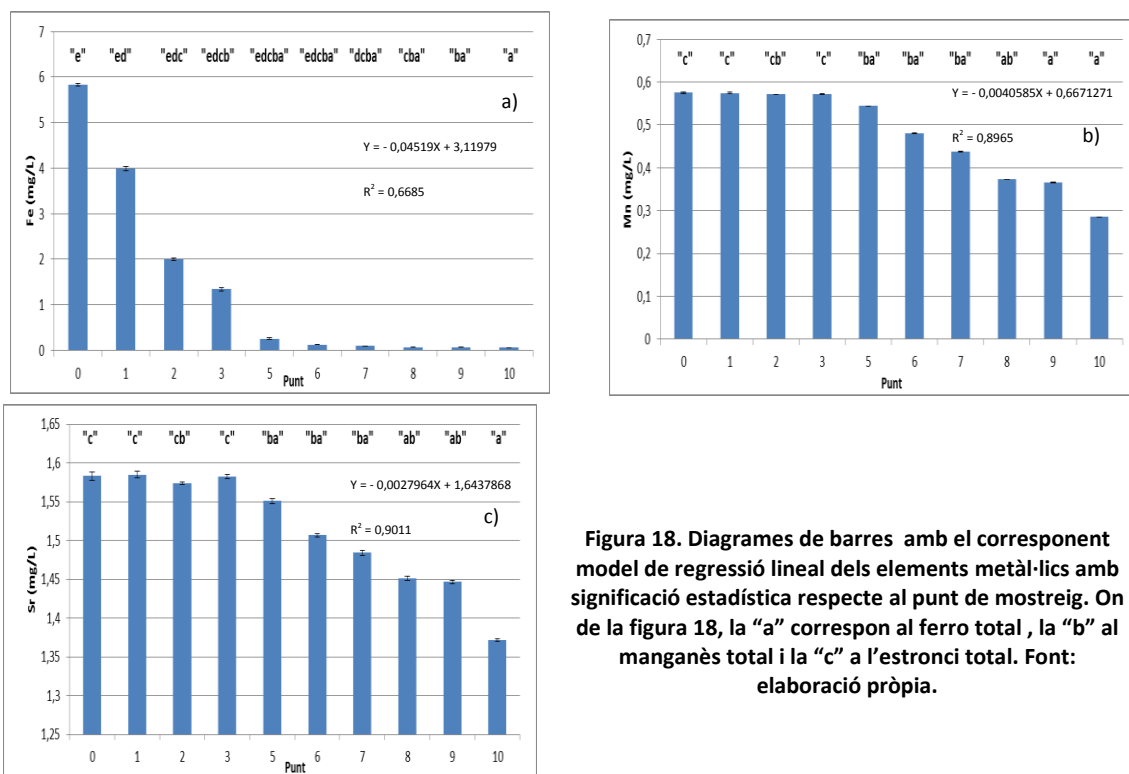


Figura 18. Diagrames de barres amb el corresponent model de regressió lineal dels elements metàl·lics amb significació estadística respecte al punt de mostreig. On de la figura 18, la "a" correspon al ferro total, la "b" al manganès total i la "c" a l'estronci total. Font: elaboració pròpia.

Com es pot veure, l'anàlisi estadístic de regressió lineal mostra com la concentració d'aquests metalls disminueix significativament al llarg del rec. Pel que fa a les anàlisis estadístiques de tipus Kruskal-Wallis (ferro, manganès i estronci), aquestes corroboren la informació de l'anàlisi de regressió lineal, indicant la disminució dels valors al llarg del recorregut, però a més indiquen a quina categoria poden assimilar-se els valors de cada punt. En el cas de l'arsènic es veu com els dos primers punts presenten les concentracions més elevades del rec, succeeix una reducció significativa de l'arsènic en el punt 3, tot i que a partir del punt 3 els nivells d'arsènic apareixen més o menys estables a excepció del punt 5 on torna a disminuir de forma significativa. Pel que fa al ferro, es veu com a cada punt que s'avança del rec es produeix una reducció significativa de la seva concentració en dissolució (a excepció dels punts 5 i 6 que es consideren similars), tot i això es poden distingir dues parts més o menys diferenciades estadísticament, la del punt 0 al 3 (reducció major quantitativament parlant) i la del punt 7 al 10 (menor quantitativament parlant). En el manganès es pot destacar com del punt 0 al 3

apareixen els valors més alts d'aquest element, a partir del punt 5 disminueix significativament la seva concentració (tot i que dels punts 5 al 7 es consideren concentracions similars estadísticament, igual que els punts 9 i 10). Per l'estronci, la seva distribució és gairebé idèntica a la del manganès (exceptuant que en aquest cas els punts 8 i 9 es consideren similars estadísticament).

Els gràfics anteriors descriuen principalment l'evolució d'un paràmetre en concret (eix Y) respecte de la distància del rec (eix X). Per això, resulta necessari representar en diversos gràfics diferents variables hidroquímiques (principalment ferro i calci, dos dels paràmetres més representatius del sistema de la font de Can Verdaguer) sense la presència de la distància (Figura 19).

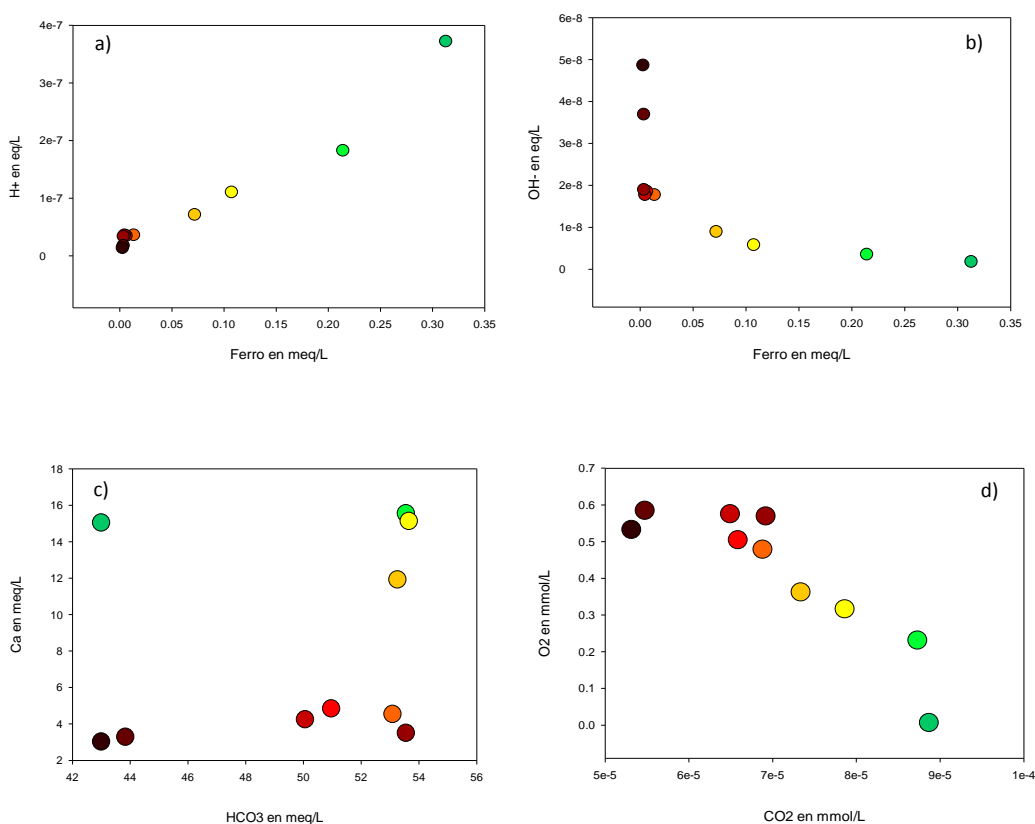


Figura 19. Diagrames de dispersió d'alguns dels elements hidroquímics més rellevants, el patró colorimètric dels punts segueix la mateixa distribució que en la Figura 2. On de la figura 19, la "a" correspon als H⁺ respecte el Fe, la "b" als OH⁻ respecte el Fe, la "c" al Ca respecte el HCO₃⁻ i la "d" a l'oxigen respecte el CO₂. Font: elaboració pròpia.

En aquests gràfics, es pot observar com el ferro en dissolució augmenta a mesura que la concentració de protons (indicador de l'acidesa del medi) també augmenta. En canvi en el gràfic representant els ions hidroxil, un augment de la concentració d'aquests ions implica una disminució del ferro en dissolució. La relació calci – alcalinitat suposa en general que una disminució de l'alcalinitat implica al seu torn una baixada en la concentració de calci en dissolució (excepte pel Punt 0 en aquest supòsit no es compleix). Finalment la relació O₂ – CO₂ suposa que a major concentració d'oxigen en dissolució, menor és la quantitat de CO₂ present a l'aigua.

Per tal de complementar les dades en el camp, s'han comparat els valors d'oxigen teòric que hauria de ser present a l'aigua del rec en funció de la temperatura (Llei de Henry) i considerant el contacte de l'aigua amb l'atmosfera, amb els valors reals mesurats al llarg del rec (Taula 1).

Taula 1. Comparació de la concentració d'oxigen dissolt real amb l'obtinguda a partir d'aplicar la Llei de Henry, considerant una pressió de 1 atm i una temperatura de 25 °C. Font: elaboració pròpia.

Punt	O2 aigua real en mg/L	O2 aigua teòric en mg/L
0	0,07	4,22
1	3,66	4,22
2	5,02	4,22
3	5,76	4,22
4	8,51	4,22
5	7,62	4,22
6	8,03	4,22
7	9,17	4,22
8	9,07	4,22
9	9,32	4,22
10	8,48	4,22

Aquesta taula ens indica com els primers punts el rec, l'oxigen teòric és superior al real però que aquesta tendència canvia a partir del Punt 2, on des de llavors l'oxigen real resulta ser superior al teòric, augmentant cada cop més a mesura que s'avança en el rec.

Finalment, per tal d'avaluar la disminució del ferro en dissolució i degut a que el ferro resulta tenir un paper rellevant, s'ha decidit realitzar altres tipus de gràfics per observar el seu estat (en dissolució o precipitat, juntament amb l'estat d'oxidació i el tipus de compost generat) al llarg del rec, en funció de la concentració, el pH o el pe (Figura 20).

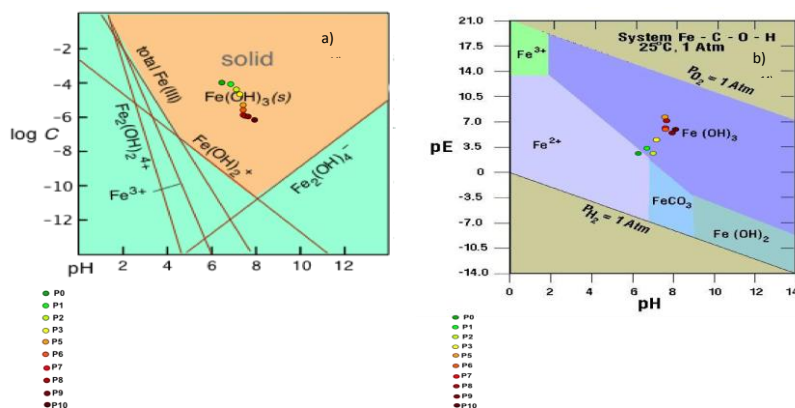


Figura 20. Diagrames de dispersió, indicant les fases en les que es troba el ferro en els diferents punts de mostreig. On de la figura 20, la "a" correspon al diagrama de concentració de Fe respecte al pH i la "b" al diagrama del pe respecte el pH. Font: elaboració pròpia en base a Stumm & Morgan, 1996.

Tal i com es pot veure en els gràfics anteriors, considerant la concentració de ferro (mols/L), els valors de pH i els de potencial redox (mV), el ferro en el sistema de la font de Can Verdaguer apareixeria sobretot en forma d'hidròxid de ferro III sòlid. Només en els punts inicials es podria considerar que aquest ferro apareix en dissolució i en forma de Fe^{2+} però que finalment acabaria precipitant en forma de $Fe(OH)_3$ en els altres punts del rec més allunyats.

Models hidroquímics:

A més de les dades obtingudes al camp, resulta necessari intentar obtenir un model teòric de l'evolució química de les aigües del rec, mitjançant el programa PHREEQC. Els resultats obtinguts es resumeixen en la Taula 2.

Taula 2. Valors resultants dels paràmetres hidroquímics modelitzats a partir del programa PHREEQC, amb la corresponent comparació amb els valors reals. Font: elaboració pròpia.

Tipus	Punt	pH	Alcalinitat (HCO ₃ ⁻ mg/L)	B (mg/L)	Br (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	F (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Na (mg/L)	PT (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Sr (mg/L)	T ^o (°C)	O ₂ (mg/L)	pe (mV)
PHREEQC	0	6,43	2625,57	2,23	2,01	300,46	691,65	0,29	5,83	30,88	78,31	0,58	0,45	0,01	0,01	1304,85	0,03	244,38	1,58	17,40	0,07	3,27
PHREEQC	1	6,74	3354,39	2,22	2,01	310,56	694,15	0,29	3,99	30,87	78,26	0,57	0,55	0,03	0,00	1304,40	0,03	244,30	1,58	17,10	1,58	3,53
PHREEQC	2	6,96	3993,06	2,21	1,48	302,23	694,15	0,29	2,00	31,07	78,77	0,57	0,01	1,47	0,04	1556,36	0,02	244,30	1,57	17,00	5,02	3,34
PHREEQC	3	7,15	3963,17	2,21	1,48	237,82	693,44	0,25	1,35	31,13	78,75	0,57	0,01	1,22	0,04	1618,89	0,02	243,62	1,57	16,80	5,76	3,93
PHREEQC	5	7,45	3950,36	2,21	1,48	89,89	692,73	0,19	0,26	31,21	78,68	0,54	0,01	1,32	0,04	1783,49	0,02	241,99	1,55	16,60	7,62	7,69
PHREEQC	6	7,47	3792,98	2,21	1,48	96,07	693,09	0,19	0,12	31,20	78,68	0,48	0,01	1,16	0,04	1716,82	0,02	241,32	1,51	16,40	8,03	6,55
PHREEQC	7	7,45	3725,27	2,21	1,48	84,20	693,09	0,19	0,09	31,24	78,68	0,44	0,01	1,59	1,83	1705,32	0,02	240,17	1,48	16,00	9,17	6,75
PHREEQC	8	7,48	3985,13	2,21	1,48	69,29	693,09	0,18	0,07	31,22	78,68	0,37	0,01	0,88	5,74	1939,58	0,02	239,01	1,45	15,90	9,07	7,25
PHREEQC	9	7,77	3262,28	2,21	1,48	64,97	693,09	0,18	0,07	31,20	78,68	0,37	0,01	1,01	7,47	1672,45	0,02	238,15	1,45	15,40	9,32	6,05
PHREEQC	10	7,89	3238,49	2,21	1,48	59,76	693,09	0,18	0,06	31,19	78,65	0,29	0,01	1,45	14,35	1672,45	0,02	238,15	1,37	14,40	8,48	6,79
ORIGINAL	0	6,43	2625,57	2,23	2,01	300,46	691,65	0,29	5,83	30,88	78,31	0,58	0,45	0,01	0,01	1304,85	0,03	244,38	1,58	17,40	0,07	3,27
ORIGINAL	1	6,74	3269,30	2,22	2,01	310,56	694,24	0,29	3,99	31,06	78,93	0,57	0,42	0,01	0,67	1308,47	0,03	243,62	1,59	17,10	1,58	3,53
ORIGINAL	2	6,96	3275,78	2,21	2,01	302,26	694,37	0,29	2,00	31,08	78,80	0,57	0,45	0,01	0,01	1306,89	0,02	245,07	1,57	17,00	5,02	3,34
ORIGINAL	3	7,15	3251,44	2,25	2,01	237,83	693,57	0,25	1,35	31,14	78,41	0,57	0,37	0,01	0,01	1307,24	0,03	243,58	1,58	16,80	5,76	3,93
ORIGINAL	5	7,45	3241,07	2,21	2,01	89,92	694,90	0,19	0,26	31,22	77,35	0,54	0,40	0,01	0,01	1309,92	0,02	242,00	1,55	16,60	7,62	7,69
ORIGINAL	6	7,47	3111,62	2,22	2,01	96,09	693,11	0,19	0,12	31,11	77,27	0,48	0,35	0,01	0,01	1306,69	0,03	241,31	1,51	16,40	8,03	6,55
ORIGINAL	7	7,45	3056,23	2,23	2,01	84,21	695,79	0,19	0,09	31,24	77,53	0,44	0,49	0,01	0,41	1312,69	0,02	240,15	1,48	16,00	9,17	6,75
ORIGINAL	8	7,48	3269,35	2,25	2,01	69,31	694,94	0,18	0,07	31,22	77,23	0,37	0,27	0,01	1,30	1310,77	0,02	239,02	1,45	15,90	9,07	7,25
ORIGINAL	9	7,77	2676,38	2,23	2,01	64,96	694,46	0,18	0,07	31,66	77,33	0,37	0,31	0,01	1,69	1307,13	0,03	238,17	1,45	15,40	9,32	6,05
ORIGINAL	10	7,89	2625,44	2,22	2,01	59,77	692,16	0,18	0,06	42,35	85,17	0,29	0,44	0,01	3,24	1796,95	0,02	237,21	1,37	14,40	8,48	6,79

Mitjançant la prova de Kruskal-Wallis, s'han comparat els valors obtinguts pel model i els originals, de forma significativa s'ha observat que la distribució de les dades és diferent entre els dos grups en les següents variables: Alcalinitat, Bor, Brom, Clorurs, Nitrits, Amoni i Fòsfor total. Tal i com s'ha comentat anteriorment, el model PHREEQC ha suposat considerar que les fases reactives del model eren: CO₂, Fe(OH)₃ i CaCO₃ (Taula 3 i Figura 21).

Taula 3. Valors de la precipitació modelitzada de les diferents fases reactives segons el model PHREEQC. Font: elaboració pròpia.

Punt	CO ₂ (g) en mg/L	CaCO ₃ en mg/L	Fe(OH) ₃ en mg/L
0 a 1	-0,0009043	0,0000256	-0,0000015
1 a 2	-0,0004464	-0,0000208	-0,0000038
2 a 3	-0,0003314	-0,0001619	-0,0000013
3 a 5	-0,0004306	-0,0003723	-0,0000021
5 a 6	0,0000005	0,0000010	0,0000011
6 a 7	-0,0000069	-0,0000146	-0,0000155
7 a 8	-0,0000313	-0,0000658	-0,0000697
8 a 9	-0,0000985	-0,0002069	-0,0002194
9 a 10	-0,0000414	-0,0000869	-0,0000921

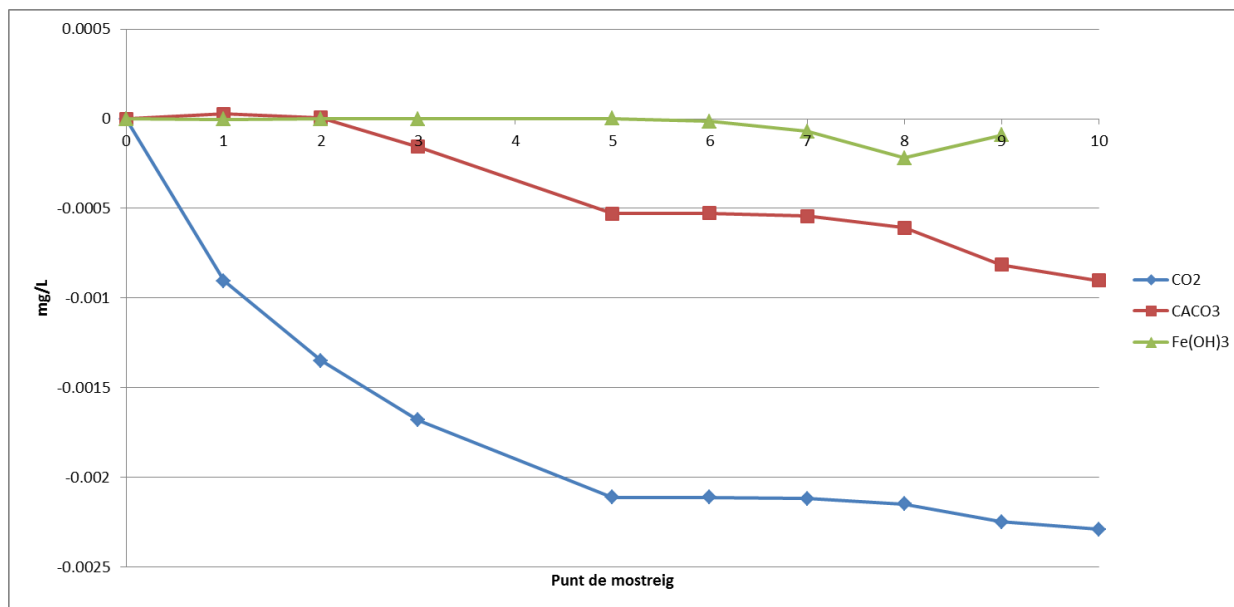


Figura 21. Valors de la precipitació modelitzada de les diferents fases reactives segons el model PHREEQC representats de forma gràfica. Font: elaboració pròpia.

De la Taula 3 es pot extreure que quan els valors són negatius, es suposa una precipitació o migració de l'element en qüestió (per tant la seva concentració en l'aigua disminueix), mentre que quan aquests són positius el model implica un augment de la dissolució de l'element considerat (on per tant la concentració en l'aigua s'incrementa). En la Figura 21 la traducció dels valors seria similar, on un increment dels valors suposa un augment de la seva dissolució mentre que un decreixement d'aquests suposaria una major precipitació del compost (es considera el valor 0 de l'eix Y com el valor de referència del punt 0, o sigui just l'aigua de la sortida de la font).

4.3. Resultats de l'anàlisi biològica

Tal i com s'ha comentat en la introducció d'aquest document, a la zona del rec de Can Verdaguer s'hi ha realitzat altres estudis, dels quals en aquest apartat resulta interessant centrar-se en tres d'ells: Puigdevall et al. 2006, Guasch et al. 2010 i Guasch et al. 2012. A partir d'aquests treballs realitzats a la zona, de les observacions realitzades durant el recompte i de la mesura de les diatomees al laboratori, s'ha observat que:

- A la zona estudiada, la major part de les diatomees (gairebé el 100%) presenten una morfologia de tipus prisma sobre una base el·líptica.
- El tipus d'espècies predominants són *Navicula cincta* i *Achnanthes minutissima* var. *Gracillima*.

Considerades les observacions anteriors els resultats de l'anàlisi biològica ha estat el següent:

Clorofil·la i Índex de Margalef:

L'estudi d'aquestes dues variables resulta interessant per determinar el tipus de comunitat fotosintètica que apareix en el rec. En aquest cas l'anàlisi estadístic de tipus regressió lineal va mostrar com la variable distància està significativament relacionada tant amb la clorofil·la com amb l'Índex de Margalef, indicant que els diferents punts al llarg del rec presentaven diferències rellevants. A més s'han portat a terme altres anàlisis de tipus ANOVA (Índex de Margalef) i Kruskal-Wallis (clorofil·la), permetent categoritzar els diferents punts de mostreig, segons els valors observats (Figura 22).

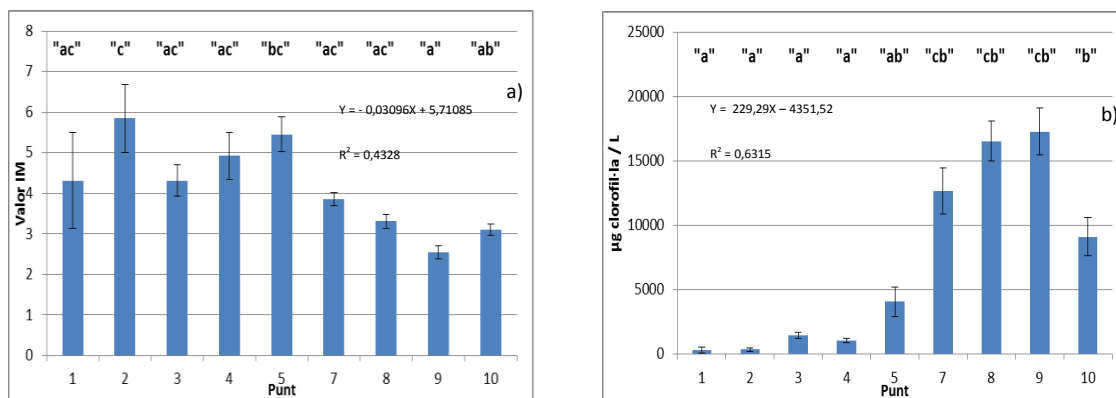


Figura 22. Diagrames de barres amb el corresponent model de regressió lineal del IM "a" i la clorofil·la "b", en relació amb el punt de mostreig. Font: elaboració pròpia.

Tal i com podem veure en la Figura 22a per l'Índex de Margalef (IM), en general els seus valors tendeixen a disminuir a mesura que s'avança en el recorregut del rec. Des de l'inici del rec fins al punt 8 els valors del IM es mantenen més o menys estables (excepte en els punts 2 i 5 on es produeixen augments significatius dels seus valors). Finalment en el punt 9 es produeix una davallada significativa en els valors de IM. En canvi en el punt 10, s'observa un augment també significatiu respecte el punt 9. Això ens indica que en primer lloc, el rec resulta tenir una comunitat fotosintètica amb major presència de carotenoides que no pas de clorofil·la a

(valors del IM majors a 2 en tots els punts). Tot i això, a mesura que s'avança en el rec, la comunitat d'algues verdes, amb major presència de clorofil·la a, es veu potenciada i per tant això suposa una disminució dels valors del IM.

En canvi en la Figura 22b per la clorofil·la a, els seus valors segueixen un patró general d'augmentar a mesura que s'avança en el rec. En els quatre punts inicials, els valors de clorofil·la presenten els valors més baixos de tot el rec fins que s'arriba al punt 5, on la concentració de clorofil·la augmenta significativament. Del punt 5 al 7 es produeix un altre augment significatiu del seu valor. En el punt 8 el valor de la concentració de clorofil·la torna a augmentar, però manté uns valors similars als punts 7 i 9. Finalment en el punt 10 apareix una reducció de la clorofil·la.

Individus i biovolum:

Aquestes variables són les indicades per explicar l'estat de la comunitat de diatomees del sediment del rec i per tant resulten ser d'interès en aquest estudi. Per al seu anàlisi, es van realitzar estadístics de tipus regressió lineal. En els quals es pot observar com el número d'individus per cm^2 apareix significativament relacionat amb la distància. Pel que fa a la variable biovolum per individu, la seva relació amb la distància també resulta ser significativa. A més dels anàlisis estadístics de tipus regressió lineal (només el biovolum resultava ser significatiu), s'han realitzat proves de Kruskal-Wallis, considerant les dues variables anteriors (nombre d'individus per cm^2 i biovolum per individu) respecte el punt de mostreig dins del rec. En aquest cas els resultat analítics posen de manifest que tant pel cas del nombre d'individus com pel biovolum, existeixen diferències significatives al llarg dels diferents punts de mostreig (Figura 23).

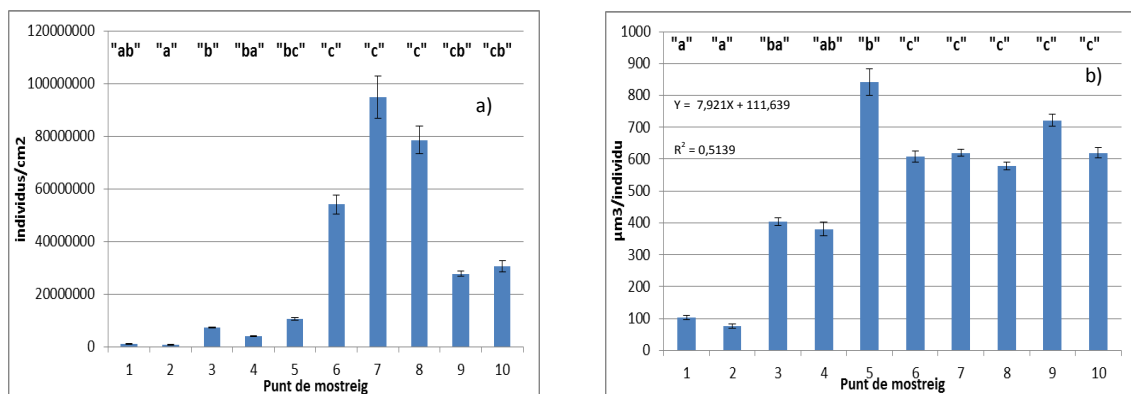


Figura 23. Diagrames de barres amb el corresponent model de regressió lineal (només biovolum) del número de diatomees per cm^2 "a" i el biovolum "b" en relació amb el punt de mostreig. Font: elaboració pròpia.

Com podem observaren la Figura 23, a partir del punt 3 apareix un increment tant del nombre de diatomees per cm^2 com del seu biovolum individual. Tot i això, el comportament d'aquestes dues variables no és idèntic a mesura que s'avança dins de la categoria de punts de mostreig.

En el cas del nombre d'individus per cm^2 , s'observa una certa fluctuació dels valors fins a arribar al punt 5, a partir del qual es produeix un increment significatiu del número d'individus

per cm^2 (el qual es manté estable entre els punts 6 i 8). El nombre disminueix de forma significativa en el punt 9, on per últim el punt 10 resulta tenir uns valors similars als del punt anterior.

Per que fa al biovolum, es veu com aquest apareix amb valors estables i baixos en els dos primers punts fins a arribar al punt 3 on augmenta significativament, mentre que en el punt 4 hi ha una lleugera disminució dels valors respecte al punt anterior. Un altre augment sobtat en el biovolum de les diatomees apareix entre els punts 4 i 5 arribant al pic de biovolum de tot el rec. A partir d'aquest punt 5 el biovolum de les diatomees es redueix significativament en el punt 6 per després mantenir-se en valors estables fins al final del rec.

Pes individual i pes total:

Unes altres variables d'interès per al major coneixement de la comunitat de diatomees del rec resulten ser les variables pes per diatomea i pes per cm^2 . Analitzant estadísticament els models de regressió de les variables considerades, observem que només la variable pes individual apareix significativament relacionada amb la distància. A través de les anàlisis realitzades, es demostra que existeixen diferències en els valors de pes individual i pes total entre els punts de mostreig estudiats (Figura 24).

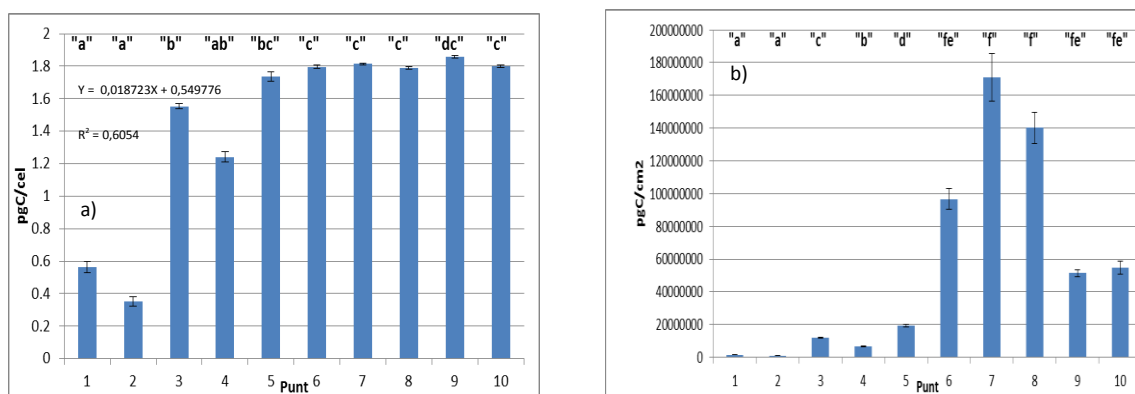


Figura 24. Diagrames de barres amb el corresponent model de regressió lineal (només pes individual) del pes per individu "a" i el pes per cm^2 "b" en relació amb el punt de mostreig. Font: elaboració pròpia.

Com es pot observar en la Figura 24, en general a partir del punt 3, tant el pes individual com total, augmenten respecte els dos punts anteriors. Tot i això l'evolució dels valors no és igual en les dues variables i respon de la següent forma:

En el cas del pes individual al passar del punt 2 al 3 es veu un augment important del pes de les diatomees. Després del punt 3 es produeix una davallada en el pes (punt 4) i posteriorment un altre augment significatiu del punt 4 al 5, on a partir del qual els valors de pes individual es mantenen més o menys estables fins al final del rec (exceptuant l'augment en el punt 9).

Pel que fa al pes total del punt 3 al 5 els valors de pes total fluctuen. Tot i això, a partir del punt 5 es produeix un augment significatiu del pes fins arribar al seu màxim en els punts 7 i 8. Després d'aquest últim punt, el pes total disminueix significativament al arribar al punt 9. Del punt 9 al 10 no s'observen diferències significatives en els valors.

Models de regressió lineal múltiple:

Per tal de determinar si la comunitat algal es troba relacionada i influenciada amb la composició química de les aigües, s'han realitzat diferents models de regressió lineal múltiple. En aquests quatre models, s'ha pogut observar com la biota algal apareix relacionada de forma directa amb les propietats hidroquímiques de l'aigua del rec. De cada model es pot veure quines propietats específiques de l'aigua són les que modifiquen de forma significativa les característiques de la biota algal. Com a variables fisicoquímiques s'han tingut en compte totes les variables de l'apartat de "Resultats de l'anàlisi hidroquímica", mentre que com a variables representatives de la biomassa algal, s'han considerat: 1) Número d'individus per cm²; 2) Biovolum; 3) Clorofil·la a; 4) Índex de Margalef. El resultat ha sigut la realització de 4 models (un per cada variable representativa de la biota algal), els quals apareixen resumits en la Taula 4.

Taula 4. Models de regressió lineal múltiple per a les variables representatives de la biota algal. Font: elaboració pròpia.

Variable explicada (Y)	Variables explicatives (nX)	P-valor model de regressió	R quadrat ajustat	Equació
Número d'individus per cm ²	X ₁ = Fe(mg/L) X ₂ = O ₂ (mg/L) X ₃ = pH X ₄ = T(°C)	*	0,8056	Y = 2247624289 - 13632935X ₁ + 30897731X ₂ - 242058890X ₃ - 39798837X ₄
Biovolum (µm ³)	X ₁ = Fe(mg/L) X ₂ = O ₂ (mg/L) X ₃ = pH X ₄ = T(°C) X ₅ = Ca(mg/L)	*	0,8857	Y = -9142,997 - 2,752X ₁ + 48,702X ₂ - 52,065X ₃ + 840,263X ₄ + 259,433X ₅
Clorofil·la (µg/L)	X ₁ = K(mg/L) X ₂ = Na(mg/L) X ₃ = O ₂ (mg/L) X ₄ = T(°C)	***	0,9676	Y = 622102,5 - 21614,3X ₁ + 395,7X ₂ - 2807,6X ₃ - 26728,8X ₄
Índex de Margalef	X ₁ = Fe(mg/L) X ₂ = O ₂ (mg/L) X ₃ = CO ₂ (mmol/L) X ₄ = T(°C) X ₅ = Ca(mg/L) X ₆ = HCO ₃ ⁻ (mg/L)	*	0,9835	Y = 22,49 - 2,801·10 ⁻³ X ₁ - 8,765·10 ⁻³ X ₂ + 1,156·10 ⁻³ X ₃ - 7,092X ₄ - 1,724X ₅ + 5,701·10 ⁻³ X ₆

Tal i com es pot veure en la Taula 4, els quatre models resulten ser significatius, amb un R quadrat ajustat de més de 0,8. En general, les variables hidroquímiques que expliquen la major part de la variabilitat de les variables de la biomassa algal són: ferro, oxigen dissolt, temperatura, calci i pH. Aquestes variables hidroquímiques relacionades amb la biota algal, coincideixen en gran part amb les descrites en el apartat de "Resultats de l'anàlisi hidroquímica" que presenten concentracions més elevades o variacions al llarg del reg més significatives. Pel cas concret del número d'individus per cm² es pot veure com la concentració d'oxigen en dissolució té una relació positiva amb aquesta variable, mentre que el pH, el ferro en dissolució i la temperatura, presenten una relació negativa amb aquesta variable, a més segons el model les dues variables més significatives serien el pH i l'oxigen dissolt. En el cas del biovolum, el ferro dissolt, el pH i la temperatura tenen una relació positiva amb la variable de referència, mentre que l'oxigen dissolt i el calci presenten una relació negativa amb el biovolum, en aquest cas el model no considera cap de les variables com a significativa. Per la clorofil·la a, el sodi resulta tenir-hi una relació positiva, mentre que el potassi, l'oxigen dissolt i la temperatura hi tenen una relació negativa, d'aquestes variables totes resulten ser significatives estadísticament tot i que la temperatura seria la més significativa. Per últim, el Índex de Margalef resulta estar relacionat positivament amb el CO₂ dissolt i la temperatura, mentre que ho està de forma negativa amb el ferro dissolt, l'oxigen en dissolució, el calci i l'alcalinitat (en forma de HCO₃⁻), d'aquestes variables totes (excepte la temperatura) resulten estar relacionades de forma significativa amb el IM, tot i que les més relacionades serien l'alcalinitat, el ferro, l'oxigen i el CO₂.

5.DISSCUSSIÓ GLOBAL

Un cop considerada en general la informació d'aquests tres blocs, juntament amb els resultats més detallats exposats en apartats anteriors, es pot descriure de forma multidisciplinària el sistema de la Font de Can Verdaguer, juntament amb l'evolució al llarg del seu rec.

Observant els resultats del context geològic i l'anàlisi hidroquímic, es pot dir que l'aigua al llarg del seu recorregut per la falla de Llorà s'enriqueix de compostos minerals al estar en contacte amb la roca (Tóth, 1999 i Menció, 2005). Aquests compostos minerals presents en els materials geològics al llarg de la falla, coincideixen amb els que apareixen finalment a l'aigua que brota de la font (carbonats, ferro, calci, sodi i clorurs principalment), associats a la natura sedimentària i en alguns trams volcànica dels materials geològics descrits (Mas-Pla, 2008 i Folch et al. 2011). A més, s'ha obtingut confirmació del tipus de materials que apareixen en superfície a la zona de surgència de la font a partir dels perfils d'elèctrica realitzats.

Respecte l'hydroquimisme de les aigües, un cop l'aigua surt per la font, aquesta presenta un pH lleugerament àcid, amb una elevada quantitat de ferro dissolt, calci, sodi i bicarbonats. Aquests paràmetres són els que defineixen de forma més representativa aquesta font i els que a més, controlen de forma majoritària les propietats químiques de l'aigua i la seva evolució al llarg del recorregut del rec. Com es pot observar en les dades hidroquímiques (Figura 18a), en els primers punts és on té lloc la major part de la precipitació de ferro (ja que és on disminueix de forma més significativa la concentració de ferro en dissolució, indicant per tant la seva precipitació en el medi) fins a aproximadament la meitat del rec en el punt 5. On a partir d'aquest punt la precipitació de ferro es redueix significativament degut a la falta de ferro en dissolució. En el calci precipita a la meitat del rec (entre els punts 3 i 5) que és la franja on succeeix de forma efectiva la seva precipitació, on a partir d'aquí es redueix significativament la quantitat de calci precipitat (Figura 17g). El pH presenta un augment constant i gradual des de l'inici de la font fins al final del rec, passant de pHs lleugerament àcids fins a pHs bàsics. Pel que fa al CO₂, aquest no va poder ser mesurat al camp, tot i això a partir del programa PHREEQC i el model hidroquímic generat, s'ha observat com la concentració de CO₂ dissolt a l'aigua disminueix gradualment a mesura que s'avança en el rec. Pel que fa als bicarbonats, de forma general, disminueixen a mesura que s'arriba al final del rec. A partir del diagrama de Piper realitzat (Figura 16), es pot veure com les aigües de la font es poden classificar com de tipus bicarbonatada sòdica. Dels elements principals del quimisme de les aigües, són especialment destacables els bicarbonats, el calci i el ferro, ja que són els que juguen un paper clau en l'evolució de l'aigua al rec (ja que les concentracions de SO₄⁻, Cl⁻ i Na⁺ es veuen molt poc modificades al llarg del rec). Aquests paràmetres hidroquímics afecten a la biota algal del rec al anar evolucionant les seves concentracions. Aquesta afecció a la biota al seu torn, també implica una modificació de les propietats hidroquímiques de l'aigua, ja que la biota consumeix i genera uns determinats components en l'aigua, que alteren les concentracions inicials (principalment CO₂, oxigen en dissolució i pH). D'aquesta biota present al rec (diatomees i algues verdes), destaca l'augment del biovolum i pes individual al llarg del rec. El número

d'individus per cm^2 i el pes total de diatomees per cm^2 arriben al seu màxim en els punts 7 i 8 abans del final del rec (degut parcialment al fet que en els punts 9 i 10 el substrat del rec resultava ser rocallós, per tant impedia un correcte mostreig del punt).

Finalment, es pot descriure el següent model detallat pel rec de la font.

A la sortida de l'aigua en la font, és on apareix la major concentració de minerals en dissolució, especialment de ferro, aquest ferro resulta ser principalment Fe^{2+} tal i com es pot veure en la Figura 20b. Al entrar en contacte amb l'atmosfera, aquesta aigua passa d'estar en un sistema en equilibri (subsòl) amb unes condicions determinades, a un altre sistema (exterior, en contacte amb l'atmosfera) amb unes noves condicions. Aquest canvi de sistema cap a unes condicions més oxidants és el que produeix que aquest ferro s'oxidi a Fe^{3+} (Figura 20a, Figura 20b i Reacció 1).

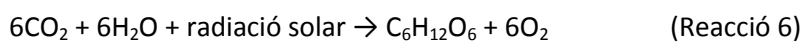
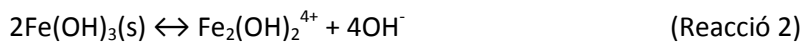
En el punt 1 aquest ferro en dissolució comença a precipitar per formar hidròxid de ferro III generant un excés de protons en el medi (Reaccions 2 i 3), aquest excés de protons no resulta ser gaire significatiu pel pH, ja que degut a l'elevada alcalinitat de l'aigua (Reaccions 4 i 5), la variació del pH resulta ser molt petita. En aquest punt degut a l'elevada concentració de ferro, sals dissoltes i pH lleugerament àcids, la presència de biota algal és molt reduïda (tan de diatomees com d'algues verdes). A més, resulta destacable la mida de les diatomees presents, la qual és la més baixa de tots els punts del rec, això és deu al fet que quan major és la pressió sobre els individus i més dures les condicions de vida (en aquest cas major concentració de ferro i menor pH), menor és la mida i la quantitat de les diatomees presents (Morin et al. 2008).

A mesura que el ferro precipita en els següents punts (P2 i P3), la seva concentració en dissolució disminueix, provocant que l'estrès en l'aigua (per metalls) per a la biota sigui menor, implicant un augment en la quantitat i mida de les diatomees (Corcoll, 2014). A més, a mesura que s'avança en el rec, la precipitació d'hidròxids de ferro és menor (ja que el ferro en dissolució disminueix) i per tant la generació de protons cada cop és més baixa (Reaccions 2 i 3), això sumat al fet de que els carbonats i bicarbonats tendeixen a captar els protons del medi (Reaccions 4 i 5) i de les molècules d'aigua (Reacció 4), fa que el pH augmenti lleugerament.

En els punts 4 i 5, apareix un canvi significatiu en la dinàmica del rec, la concentració de ferro dissolt arriba al seu mínim i la precipitació d'hidròxids de ferro també. En aquest punt, degut a l'augment de pH (que continua a mesura que s'avançava en el rec) en els punts 2 i 3, i sobretot amb la disminució de CO_2 observada, es produeix una gran precipitació de carbonat de calci que implica una disminució significativa en la concentració de calci en dissolució (Figura 17g i Figura 19c). En aquest punt les condicions de toxicitat (ferro principalment) i de pH són les adequades per a que es produeixi un increment significatiu en l'activitat de la biota (incloent en aquest cas algues verdes i diatomees). Això s'observa en l'augment de la mida de les diatomees (Figura 23b) i en l'increment dels individus per cm^2 (Figura 23a), però també en l'increment de la concentració de clorofil·la (Figura 22b).

A partir del punt 6 es pot apreciar de forma completa el canvi de dinàmica en el rec, el pH pateix un augment significatiu respecte els punts anteriors, el calci i ferro en dissolució apareixen en concentracions baixes. Tot i això el canvi més important ve donat pel desenvolupament de la biota, especialment de les algues verdes. En el punt 6 i els subsegüents punts, el fet de tenir una concentració de ferro baixa, suposa una menor toxicitat o estrès per a les espècies presents al rec, i per tant una major facilitat per a desenvolupar-se. Aquest fenomen s'aprecia en la Figura 22b sobre la concentració de clorofil·la. El desenvolupament de la biota fotosintètica implica un increment substancial de l'oxigen en dissolució, tal i com es pot veure en la Taula 1, al comparar l'oxigen real amb el model teòric degut a la Llei de Henry, juntament amb la disminució del CO₂ al llarg del recorregut (Figura 19d). El pH també augmenta significativament (Reaccions 4 i 6) a partir d'aquest punt (Figura 17c) degut en part a l'augment de l'activitat dels organismes fotosintètics que consumeixen el CO₂ (Stumm & Morgan, 1996).

Per tant en general es pot considerar que el sistema hidroquímic del rec de la Font de Can Verdaguer està controlat per les següents reaccions químiques:



On inicialment el ferro precipita seguint les Reaccions 2 i 3 (a més de succeir la Reacció 1 per tal de transformar el ferro II a ferro III), generant un medi relativament àcid, el qual és parcialment neutralitzat degut a les Reaccions 3 i 4. A mesura que es consumeix el ferro al llarg del rec, ja no es generen més protons ja que no es produeix més la reacció definida en les Reaccions 2 i 3. Gradualment hi ha un consum de bicarbonats degut a la neutralització dels protons, tal i com s'observa en la Reacció 4. Un cop ha precipitat la major part del ferro, les condicions en l'aigua són les òptimes per al desenvolupament de la biota algal. Aquesta consumeix el CO₂ de l'aigua a partir de la fotosíntesi (Reacció 6) es produeix la precipitació de la calcita segons la Reacció 1. Al consumir CO₂ per la fotosíntesi, la Reacció 4 es veu afavorida per neutralitzar els protons en l'aigua, això al seu torn fa que segons la Reacció 8 es generi una major quantitat de OH⁻, augmentant el pH.

Per últim, el model PHREEQC ha resultat ser coherent amb algunes de les variables principals de l'aigua de la font de Can Verdaguer (calci i ferro principalment). En la Taula 3 i la Figura 21 sobre les fases reactives del model, es pot veure com en general el model descriu que els hidròxids de ferro III, la calcita i el diòxid de carboni desapareixen del sistema en dissolució. Tot i això, els valors no són (proporcionalment parlant) coherents amb el què passa en el sistema, indicant en el model que la major part de la precipitació dels hidròxids de ferro III succeeix en la segona meitat del rec (quan de forma visual s'observava clarament al camp que aquest no era el cas i on la concentració de ferro en dissolució també desmenteix aquesta hipòtesi). En el cas del CO_2 les dades del model no poden ser contrastades (ja que no es disposa de mesures al camp del CO_2 present a l'aigua) i per tant semblarien indicar que hi ha una pèrdua de CO_2 al llarg del rec, possiblement deguda a l'activitat fotosintètica (tot i que el model PHREEQC no inclou reaccions de fotosíntesi i per tant no es pot introduir informació respecte aquest procés en les dades del model a generar). Pel cas del carbonat de calci, el model s'ajusta de forma precisa amb les dades obtingudes i amb la hipòtesis plantejada pel sistema de la font, indicant que la major part de la precipitació de carbonat de calci succeeix entre els punts 3 i 5 (Figura 17g).

Cal fer un incís sobre el comportament estacional de la font i la influència de la precipitació en les seves característiques hidroquímiques. Degut a la tornada a la font de Can Verdaguer el dia 3 de desembre es va prendre una mostra d'aigua de la font en el punt 0 (les mostres de referència d'aquest estudi daten del 27 de novembre) després d'un fort episodi de precipitacions a la zona. Aquesta mostra no va ser analitzada al laboratori ja que l'objectiu de l'estudi era modelitzar la font de Can Verdaguer i el seu rec en un moment determinat, tot i això, l'alcalinitat sí que va ser mesurada. Els valors d'alcalinitat del 27 de novembre pel punt 0 eren de 2625,57 mg/l de HCO_3^- , mentre que el dia 3 de desembre els valors de l'alcalinitat van ser de 1719,45 mg/l de HCO_3^- . Respecte el cabal (el valor de cabal el primer dia de mostreig va ser de 0,44 l/s) de la font, el segon dia de mostreig era significativament major que en el primer (tot i que les dades d'aquest segon cabal no van ser mesurades, simplement van ser observades de forma visual). A més, a partir de la informació geològica recopilada (Figura 6) i dels perfils realitzats (Figures 12, 13 i 14), es pot observar com a la zona propera a la font de Can Verdaguer hi apareixen materials al·luvials i col·luvials, els quals podrien afectar a la recàrrega de la font degut a la seva elevada permeabilitat i proximitat a la zona d'estudi. Per tant, aquesta informació semblaria aportar indicis de que la font de Can Verdaguer podria tenir influència parcial d'aqüífers superficials, indicant una possible nova línia d'investigació. Per últim, a partir dels resultats del present treball i reprenent la tasca del projecte de Puigdevall et al. (2006) s'ha decidit iniciar un seguit d'actuacions d'adequació i millora de la zona del rec de la font de Can Verdaguer. Aquestes actuacions suposaran principalment la realització de cartells informatius de caire didàctic al llarg del rec, per tal d'informar als visitants i usuaris de la font sobre el seu origen, les seves propietats i els processos que hi tenen lloc.

6.CONCLUSIONS

Can Verdaguer water is an excellent example of a groundwater that initially has a determinate equilibrium with the deep geological environment, which is completely modified when the water wells up to the surface. This fountain can be used as an exemplification of an environment that hydrochemically and biologically evolves in a rapid way, as well as a reference of the dependence relationship between algae and the chemical properties of the water. In addition, it can be used to study the type of chemical reactions that regulate the water properties of this kind of fountains and canals, due to the fact that the elements concentrations are high and relatively easy to quantify and to observe changes in their concentration along the canal. To summarise, the following conclusions have been obtained:

- 1- According to the geology of the fault zone, it has been proved that the rocks and minerals that configured it are clearly related to the mineralogy of the water present at the fountain of Can Verdaguer. In addition, the geology of the zone was corroborated with the realization of three geological models by applying the technique of electric resistivity tomography into the ground. These models coincided with the information existent in the maps of the Catalan Geological Institute.
- 2- About the hydrochemistry of the fountain and its canal, it was stated that pH, Fe, alkalinity, Ca and Na were the most important parameters in relation to the water chemistry. These parameters are affected mainly by the iron hydroxide III and calcium carbonate, which are the active phases of the Can Verdaguer system. These active phases are the ones that modify the entire development of the hydrochemistry of the water with their associated reactions.
- 3- In relation to the algae, it has been demonstrated that the biota is affected significantly by the water chemistry (Puigdevall et al, 2006) and vice versa. The presence of the algae has been stated with the analysis of the chlorophyll, the microscopy sample observation and the increase in the dissolved oxygen concentration.
- 4- The theoretical modulation of the hydrochemical and biological parameters using the PHREEQC program and the multiple lineal regression (respectively) have been adequate to obtain similar values of the studied variables measured in the field (especially calcium and iron for the PHREEQC model and chlorophyll for the multiple regression model).

7.BIBLIOGRAFIA

Clotet, M.T. *“Les fonts picants de la Vall d’Aro”*. Institut d’Estudis del Baix Empordà (1990). Print.

Corcoll, Natàlia et al. *“The Effect of Metals on Photosynthesis Processes and Diatom Metrics of Biofilm from a Metal-Contaminated River: A Translocation Experiment.”* Ecological Indicators 18 (2012): 620–631. Web. 14 Nov. 2014.

Folch, Albert and Mas-pla, Josep. *“Hydrogeological Interactions between Fault Zones and Alluvial.”* 3487.Hydrological processes (2008): 3476–3487. Web.

Folch, Albert et al. *“Groundwater Development Effects on Different Scale Hydrogeological Systems Using Head, Hydrochemical and Isotopic Data and Implications for Water Resources Management: The Selva Basin (NE Spain).”* Journal of Hydrology 403.1-2 (2011): 83–102. Web. 31 Oct. 2014.

Guasch, Helena, Manel Leira, et al. *“Use of Multivariate Analyses to Investigate the Contribution of Metal Pollution to Diatom Species Composition: Search for the Most Appropriate Cases and Explanatory Variables.”* Hydrobiologia 627.1 (2009): 143–158. Web. 14 Nov. 2014.

Guasch, Helena, Xavier Garcia Acosta, et al. *“Changes in the Microbial Communities along the Environmental Gradient Created by a Small Fe Spring.”* Freshwater Science 31.2 (2012): 599–609. Web. 14 Nov. 2014.

Guasch, Helena, Marta Ricart, et al. *“Les Diatomees Com a Indicadors de Canvis Ambientals : El Riu Llémèna I Les Seves Fonts.”* Annals de la Delegació de la Garrotxa de la ICHN (2013): 17–24. Print.

Hillebrand, Helmut et al. *“BIOVOLUME CALCULATION FOR PELAGIC AND BENTHIC MICROALGAE 1 Claus-Dieter Du.”* Journal of Phycology 424 (1999): 403–424. Print.

Menció, Anna. *“Anàlisi multidisciplinària de l’estat de l’aigua a la depressió de la Selva”* PHD dissertation UAB (2005). Print.

Menden-Deuer, Susanne, and Evelyn J. Lessard. *“Carbon to Volume Relationships for Dinoflagellates, Diatoms, and Other Protist Plankton.”* Limnology and Oceanography 45.3 (2000): 569–579. Web.

Morin, S et al. *“Long-Term Survey of Heavy-Metal Pollution, Biofilm Contamination and Diatom Community Structure in the Riou Mort Watershed, South-West France.”* Environmental pollution (Barking, Essex : 1987) 151.3 (2008): 532–42. Web. 13 May 2015.

París, Carmen i Albert-Beltrán, José F. *“Sobre la génesis de las aguas carbónicas de la Provincia de Gerona”*. Acta geológica hispánica XI (1976): 124-128. Print.

Puigdevall, Maria alba et al. "*Gestió d'un espai natural d'alt interès limnològic; la Font de Can Verdaguer*". TFG UdG (2007). Print.

Sabarís, Luis Solé. "*Características hidrogeológicas de los manantiales carbónicos de Gerona llamados «Fontes Picants»*." *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins* 1 (1946): 236–269. Web. 8 Dec. 2014.

Sabater, Sergi et al. "*STRUCTURE AND FUNCTION OF BENTHIC ALGAL COMMUNITIES IN AN EXTREMELY ACID RIVER 1.*" *Journal of Phycology* 489 (2003): 481–489. Print.

Solé Sabarís, Luis. *CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LOS MANANTIALES CARBÓNICOS DE GERONA LLAMADOS "FONTES PICANTS"*. *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins* (1946): 236-269. Print.

Stumm, Werner et al. "*Aquatic Chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters. Third Edition*". New York. Environmental Science and Ttechnology. 1996.

RITCHIE , R.J. "*Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls a, b, c, and d and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents*". *PHOTOSYNTHETICA* 46 (2008): 115-126. Print.

Tóth, József. "*Groundwater as a Geologic Agent : An Overview of the Causes , Processes , and Manifestations.*" *Hydrology Journal* (1999): 1–14. Print.

Vilanova, Ester. "*Anàlisi dels sistemes de flux a l'àrea Gavarres-Selva-Baix Empordà*". PHD dissertation UAB (2004). Print.

Vilanova, Ester; Mas-pla, Josep i Menció, Anna. "*Determinación de Sistemas de Flujo Regionales Y Locales En Las Depresiones Tectónicas Del Baix Empordà y La Selva (NE de España) En Base a Datos Hidroquímicos e Isotópicos.*" *Boletín Geológico y Minero* (2008): 51–62. Print.

Wellburn, Alan. "*The Spectral determination of chloropylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spetrophotometers of different resolution*". *Journal of Plant Physiology* 144 (1994): 307-313. Print.