

# Hidroquímica de l'aigua de fonts de la Serra de Tramuntana (Mallorca)

Martín LLOBERA i Antònia FERRIOL

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Llobera, M. i Ferriol, A. 2021. Hidroquímica de l'aigua de fonts de la Serra de Tramuntana (Mallorca). *In*: Pons, G.X., Vicens D. i del Valle, L. (edit.). La Història Natural de les Balears i Andreu Muntaner Darder. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 33: 175-186. ISBN 978-84-09-33509-1. Palma (Illes Balears).

En aquest article es presenten dades hidroquímiques de l'aigua de 180 fonts de la Serra de Tramuntana. Els paràmetres són l'altitud, la temperatura de l'aigua, el pH, la conductivitat, els principals anions (bicarbonats, clorurs i sulfats) i els principals cations (calci, magnesi, sodi i potassi). Al llarg de l'article es mostren les principals característiques d'aquests paràmetres i les relacions entre ells. A continuació es dedueixen els principals compostos que cal esperar en aquestes aigües. Finalment, es classifiquen aquestes aigües d'acord amb les característiques mostrades mitjançant un diagrama de Piper. La majoria d'aigües són bicarbonatades càlciques o magnèsiques i, en segon lloc, sulfatades càlciques o magnèsiques. L'aportació dels clorurs i del sodi sempre són minoritàries.

**Paraules clau:** hidroquímica, fonts, Serra de Tramuntana, Mallorca.

WATER CHEMISTRY OF SPRINGS IN THE TRAMUNTANA MOUNTAIN RANGE (MALLORCA). This article presents water chemistry characters of 180 springs of the Tramuntana mountain range. Studied parameters are altitude, water temperature, pH, conductivity, main anions (bicarbonates, chlorine, sulphates) and main cations (calcium, magnesium, sodium, potassium). Principal features about these parameters are explained through the article and also relations among them. Main chemical compounds are deduced from this information. Finally, waters are classified in relation with their main ions through a Piper diagram. Most of these waters are bicarbonate calcic or magnesian and, secondly, sulphated calcic or magnesian. Chlorine and sodium participation are always a minority.

**Keywords:** hydrochemistry, springs, Tramuntana Mountain Range, Mallorca.

*Martín LLOBERA i Antònia FERRIOL, Societat d'Història Natural de les Balears. Carrer Margarida Xirgu 16 baixos. 07011 Palma.*

## Introducció

La Serra de Tramuntana s'ubica al nord-est de l'illa de Mallorca, ocupant una superfície d'uns 1.100 km<sup>2</sup>. La seva topografia és abrupta, amb altures de més de 1.400 metres. L'estructura geològica és molt complexa, originada en els encavalcaments de direcció N.O. que actuaren durant el Burdigalià-Langhià (Miocè). Tot això provoca diverses sèries tectòniques amb nombroses imbricacions i falles direccionals.

Aquesta estructura, afegit a la necessitat d'aprofitar al màxim qualsevol font d'aigua permanent o semi-permanent per les explotacions agràries o ramaderes, ha permès l'existència de nombroses fonts al llarg de tota la serra. L'origen de totes aquestes fonts és hidrogeològic, però les necessitats humanes han estabilitzat i ordenat en gran mesura la manera en què aquestes fonts s'han explotat.

Actualment s'han inventariat aproximadament unes 1240 fonts a la Serra de Tramuntana i part del Raiguer; als municipis d'Alaró, Andratx, Banyalbufar, Bunyola, Calvià, Campanet, Deià, Escorca, Esporles, Estellencs, Fornalutx, Lloseta, Mancor de la Vall, Palma (zona de Serra de Tramuntana), Pollença, Puigpunyent, Santa Maria, Selva, Sóller, Valldemossa (<https://sites.google.com/view/fontsdetramuntana> , novembre 2019).

Des del punt de vista pràctic la importància real de les fonts varia molt, depenent del seu cabal i de l'ús que es fa. Algunes es fan servir pel proveïment d'aigua potable a quasi totes les poblacions a la Serra de Tramuntana, moltes encara s'empren per regar horts de propietats i unes poques, cada vegada menys, estan comercialitzades per la beguda. De les primeres i de les darreres es fan controls de la seva qualitat, però es tracta d'un percentatge mínim.

Per altra banda, a part de la seva utilitat pel proveïment o el reg, les fonts de la Serra de Tramuntana tenen un gran interès des del punt de vista hidrogeològic, ecològic, naturalístic sobre tot de fauna, i patrimonial. Cal tenir present la pràctica inexistència d'ambients d'aigües corrents permanents a Mallorca, llevat d'algunes zones humides litorals. En conseqüència les fonts són l'única representació d'aigües dolces, corrents i permanents a Mallorca.

En aquest article es presenten dades hidroquímiques bàsiques de 180 fonts de la Serra de Tramuntana, aproximadament un 14% de les fonts existents. Els mostresos es varen realitzar entre els anys 1986 i 1989 al Laboratori de Limnologia de la UIB (Llobera, 1990). Malgrat el temps recorregut, es presenten les dades per tal de ser útils com a referència davant possibles canvis hidrològics i climàtics i degut a la manca absoluta de dades en la gran majoria de casos.

El comportament hidrogeològic dels materials que componen la Serra de Tramuntana és molt variable. Són impermeables les argiles del Keuper i les margues del Cretàcic i del Terciari (Oligocè i Burdigalià). Les calcàries margoses (Liàsic Superior-Cretàcic) es poden considerar impermeables. Les carniols i les calcàries de l'Infralías, calcàries dolomítiques, dolomies i calcàries oolítiques del Lias constitueixen les formacions permeables més importants de tota la serra. El Quaternari, que també és permeable, té només interès local degut a la seva limitada extensió i reduïts espessors.

El Keuper juga un paper hidrogeològic de primer ordre, actuant sempre com una barrera impermeable. És el principal responsable de la compartimentació observada en les unitats hidrogeològiques. Degut a la seva plasticitat ha patit migracions durant el procés orogènic, acumulant-se preferentment darrera els fronts dels mantells de corriments i injectant-se a les zones de fractura. En altres casos pot haver quedat eliminat per laminació, posant en contacte blocs permeables que, originàriament, estaven separats.

La permeabilitat de les formacions calcàries liàsiques i infraliàsiques és molt variable, depenent de la seva fracturació i evolució càrstica. De vegades a la serra apareixen aparells càrstics superficials molt permeables en els que s'infiltra ràpidament l'aigua de pluja, però amb poca capacitat de retenció. L'aigua infiltrada desaigua ràpidament a la mar o alimenta fonts subjectes a fortes oscil·lacions estacionals.

Aquest estudi presenta dades hidroquímiques de 180 fonts, la majoria de les quals es troben a la zona central de la Serra, entre les poblacions de Lluc i Puigpunyent. La llista de fonts es mostra a la Taula 1, indicant municipi i altitud (m).

**Taula 1.** Localització de les fonts analitzades.**Table 1.** Spring location.

Codi	Font	Municipi	Altitud				
1	Nus	Escorca	572	54	S'Hortet	Escorca	870
2	Puig Ferrer	Escorca	539	55	L'Ofre	Escorca	759
3	Son Amer	Escorca	517	56	S'Aritja	Escorca	881
4	Des Viver	Escorca	570	57	Pintada	Lloseta	260
5	Menut	Escorca	624	58	Nova-Lloseta	Lloseta	358
6	Cossí	Escorca	656	59	Na Barbara	Mancor	507
7	Pedregaret	Escorca	752	60	Biniarroi	Mancor	459
8	Negra	Escorca	582	61	Sa Pressa	Mancor	324
9	Falgueres	Escorca	724	62	Patro	Mancor	332
10	Muntanya	Escorca	521	63	D'Abaix	Mancor	274
11	Sa Mina	Escorca	358	64	Es Trenc	Lloseta	206
12	Cosconar	Escorca	497	65	Coma Freda	Escorca	688
13	Cocó de sa Murtera	Escorca	400	66	Sa Teula	Escorca	828
14	Nespler	Escorca	567	67	Voltor	Escorca	1116
15	Cuberta	Escorca	498	68	Prat	Escorca	768
16	Roda	Pollença	475	69	Tosses	Escorca	943
17	Poll	Pollença	478	70	S'Avenc	Escorca	1128
18	Fartàritx	Pollença	469	71	Topa	Bunyola	474
19	S'Abegurador	Selva	471	72	La Reina	Bunyola	439
20	Miquelí	Selva	610	73	Bàlitx	Sóller	409
21	Guix	Escorca	573	74	Rotja	Fornalutx	253
22	Coll Sa Font	Escorca	510	75	Montcaire	Fornalutx	432
23	Freda	Escorca	606	76	Nova-Montcaire	Fornalutx	430
24	Sorda	Escorca	552	77	Ses Fonts 1	Fornalutx	248
25	Nova (Escorca)	Escorca	702	78	Ses Fonts 2	Fornalutx	370
26	Cases Noves	Escorca	623	79	Pallicera	Fornalutx	223
27	Font Major	Escorca	550	80	S'Alqueria	Fornalutx	172
28	Sa Mata	Escorca	672	81	Sa Balma	Escorca	711
29	Turixant	Escorca	610	82	Negra-Bini	Escorca	634
30	Son Pou	Sta. Maria	147	83	Bini Gran	Escorca	605
31	Sa Canaleta	Bunyola	489	84	Jons-Bini	Escorca	626
32	Freu 1	Bunyola	423	85	Hortet Pareis	Escorca	5
33	Freu 2	Bunyola	410	86	Ca's Bufo	Escorca	87
34	Fonteta	Bunyola	488	87	Racó	Escorca	132
35	Tries	Bunyola	465	88	Ca'n Pau	Escorca	120
36	Sa Pedra	Alaró	440	89	Perduda	Escorca	640
37	Verro	Alaró	429	90	Escorca	Escorca	663
38	Figuera	Alaró	351	91	Det	Fornalutx	128
39	Salida H2O	Alaró	431	92	Don	Fornalutx	156
40	Vila-Alaró	Alaró	278	93	Barranc	Fornalutx	110
41	Poll-Alaró	Alaró	542	94	Bini Bassí	Fornalutx	221
42	Castell	Alaró	435	95	Mare de Déu	Fornalutx	81
43	Rotes Fredes	Alaró	612	96	Avellanar	Fornalutx	247
44	Penyal Agut	Alaró	626	97	Bruixa	Fornalutx	778
45	Sa Gruta	Alaró	471	98	Coloms	Fornalutx	909
46	Oliclar 1	Alaró	405	99	Monnàber	Fornalutx	705
47	Oliclar 2	Alaró	373	100	D'en Joi	Sóller	140
48	Noguer	Escorca	761	101	Na Sureda	Esporles	214
49	Coberta	Valldemossa	376	102	Cova	Valldemossa	45
50	Aigueta	Valldemossa	278	103	Bujosa	Banyalbufar	211
51	Cisterneta	Bunyola	680	104	Sa Granja	Esporles	286
52	Broll	Escorca	890	105	Ca'n Bauça	Banyalbufar	210
53	Sa Parra	Escorca	821	106	Xiu	Banyalbufar	39
				107	Equisetos	Banyalbufar	35

108	Vila-Banyalbufar	Banyalbufar	219	149	Na Rupit	Valldemossa	461
109	Can Fura	Banyalbufar	202	150	Sollerich	Bunyola	375
110	Ca N'Aleta	Banyalbufar	210	151	Viscaí	Banyalbufar	297
111	Sa Menta	Banyalbufar	189	152	Can Fura	Banyal.	218
112	Forat d'Amunt	Estellencs	162	153	Son Sastre	Selva	172
113	Son Fortuny	Estellencs	247	154	Binibona	Selva	125
114	D'en Mates	Estellencs	96	155	Coma Binibona	Selva	202
115	Es Broll	Estellencs	1	156	Mata	Selva	361
116	Sa Coma	Valldemossa	472	157	Sa Rota	Selva	500
117	Beata	Valldemossa	374	158	Aubellons	Selva	185
118	Na Búger	Valldemossa	369	159	S'Estret	Valldemossa	250
119	Na Llambies	Valldemossa	336	160	Abeurador	Valldemossa	424
120	Pla Rei	Valldemossa	360	161	Viva	Valldemossa.	56
121	Son Marroig	Deià	297	162	Verger 1	Valldemossa	381
122	Des Molí	Deià	172	163	Es Verger	Valldemossa	396
123	Canaleta Deià	Deià	150	164	Sarrià	Palma	170
124	Es Recó	Deià	219	165	Es Canyar	Palma	201
125	Es Cireral	Deià	235	166	Bunyolí	Palma	131
126	Canyaret	Deià	3	167	Vila-Palma	Palma	89
127	Carasses	Puigpunyent	229	168	Mestre Pere	Palma	95
128	Son Sampola	Andratx	213	169	Son Bujosa	Banyalbufar	108
129	Sampol-Adx	Andratx	230	170	Sa Cova	Valldemossa	6
130	Font de la Vila	Andratx	275	171	S'Olivaret	Alaró	323
131	Jons	Esporles	355	172	Noguer 2	Escorca	761
132	Cabaspres 1	Esporles	380	173	Perduda	Escorca	703
133	Cabaspres 2	Esporles	380	174	Clot Aigua	Deià	963
134	Son Vich	Puigpunyent	348	175	Sa Serp	Deià	958
135	Bernadeta	Esporles	241	176	Major 1	Fornalutx	740
136	Son Creus	Banyalbufar	384	177	Major 2	Fornalutx	730
137	S'Obi	Banyalbufar	322	178	Torrella	Escorca	832
138	Garbell	Banyalbufar	269	179	Es Degotis	Escorca	50
139	Alfàbia	Bunyola	319	180	Sa Costera	Escorca	27
140	S'Hostalet	Bunyola	397				
141	S'Olla	Sóller	55				
142	Na Gireta	Sóller	63				
143	Na Lladonera	Sóller	58				
144	Son Creus1	Bunyola	402				
145	Son Creus2	Bunyola	390				
146	Orient	Bunyola	454				
147	Polls	Valldemossa	661				
148	Bassina	Esporles	313				

## Material i mètodes

Les mostres es recollien el més a prop possible del punt de surgència a la superfície i sempre d'aigua en moviment. El mostreig va tenir lloc entre els anys 1986 i 1989, sobre tot en les estacions de primavera i d'hivern. De la majoria de fonts es va recollir una mostra, però de 32 fonts s'havien recollit entre 5 i 6 mostres i per a l'estudi que es presenta es va triar la mostra amb un error en el balanç de cations/anions menor.

La majoria de paràmetres es determinaren al laboratori. Les mostres es tractaren amb cloroform per evitar qualsevol alteració ocasionada per microorganismes presents o característiques químiques que poguessin fer defectuoses les anàlisis. En el mateix punt de

mostreig es realitzaren les mesures de temperatura i conductivitat, així com es va determinar la localització.

Temperatura: Mesurat directament en el corrent d'aigua amb un termistor elèctric Hanna Instruments.

Conductivitat. Mesura la capacitat de l'aigua per conduir el corrent elèctric. Les unitats emprades son  $\mu$ Siemens per centímetre. Totes les mesures es varen estandarditzar a una temperatura de 20°C. La determinació es realitzà *in situ* amb un conductímetre de camp de la casa Crison model CDTN-523.

El mateix dia al laboratori es determinava el pH i l'alcalinitat. La resta d'aigua es filtrava fent ús d'una bomba de buit i un equip de filtració Millopore, usant filtres de fibra de vidre (Whatman GF/C) de 5.5 cm de diàmetre. L'aigua filtrada s'emprava per determinar clorurs, sulfats, calci, magnesi, sodi i potassi.

La determinació dels diferents paràmetres seleccionats es va dur a terme emprant mètodes i tècniques seleccionats dels manuals més usats en l'anàlisi d'aigües (Rodier, 1981; A.P.H.A., 1980).

pH. La determinació s'ha realitzat en el laboratori. L'aparell emprat era el pH-metre Crison pH/mV-meter model Diogit-501, dotat de correcció de temperatura.

Anions i cations. Les dades s'aporten en mil·ligrams per litre (mg/l). Els carbonats s'han calculat a partir de l'alcalinitat. Donat el pH d'aquestes aigües es pot considerar que quasi tota l'alcalinitat es deguda als bicarbonats dissolts. Altres compostos del sistema carbònic-carbonats quasi no es deuen presentar o la seva importància relativa ha de ser mínima.

Per al càlcul de correlacions les dades s'han transformat prèviament a la forma logarítmica, per normalitzar la distribució de les mostres. No s'ha transformat el pH, ja que és un paràmetre en forma logarítmica.

## Resultats

Hi ha poques dades sobre les característiques hidroquímiques de les aigües de les fonts de la Serra de Tramuntana. La Direcció General de Recursos Hídrics realitza anàlisis periòdics de certs paràmetres interessants per estudis hidrogeològics o d'intrusió marina (clorurs) o per determinar el grau de contaminació de les aigües, sobre tot en aquífers. Així mateix es controlen fonts de proveïment per determinar la seva potabilitat. En tot cas es tracta de molt poques fonts. No existeixen estudis extensius.

Respecte de les fonts de la Serra de Tramuntana i de forma extensiva, només existeixen dades obtingudes en el marc de l'estudi que es presenta (Ferriol *et al.*, 1989; Llobera, 1990; Llobera i Ferriol, 1994).

A la Taula 2 es mostren la mitjana dels paràmetres, la desviació típica, el valor màxim i el mínim, el rang, i el coeficient de variació.

Les fonts mostrejades es situen entre els 1.170 metres i el metre d'altura sobre el nivell del mar. La distribució de fonts respecte a l'altitud mostra una major escassetat a altures màximes, lògicament. A les màximes altures hi ha pocs puigs i la presència d'aquífers és escassa i són petits i limitats. Fonts mostrejades a les altures màximes corresponen al Puig Massanella (Font des Voltor, Font de s'Avenc) i al Puig des Teix (Font de Sa Serp). Les

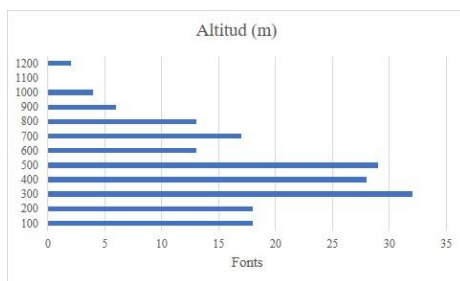
fonts a menor altitud es distribueixen per tota la costa nord-oest. La majoria es situen a prop o dins torrents com el de Pareis, Sa Calobra, Estellencs, Banyalbufar o el Port de Valldemossa. La surgència a menor altitud que es presenta és Es Broll, a Cala Estellencs.

**Taula 2.** Mèdia, rang i desviació típica dels paràmetres estudiats.

**Table 2.** Descriptive statistics: average values, rank, standard deviation of studied parameters.

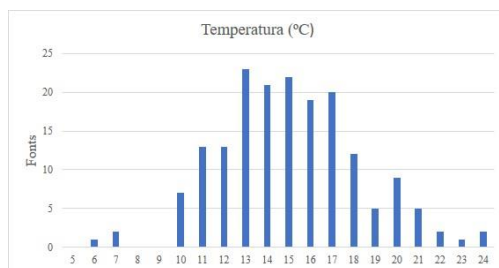
	Mitjana	Desv. Típica	Mínim	Màxim	Rang	Coef variació
<b>Altitud (m)</b>	406,27	243,42	1,00	1.128,00	1.127,00	0,60
<b>Temperatura (°C)</b>	14,93	3,19	6,00	24,00	18,00	0,21
<b>Conductivitat (µS/cm)</b>	764,91	465,00	135,00	3.079,00	2.944,00	0,61
<b>pH</b>	7,51	0,29	6,77	8,15	1,38	0,04
<b>Ió Bicarbonat (mg/l)</b>	293,66	105,26	51,85	603,90	552,05	0,36
<b>Ió Clorur (mg/l)</b>	68,19	54,62	4,96	527,50	522,53	0,80
<b>Ió Sulfat (mg/l)</b>	166,25	276,94	2,88	1.570,08	1.567,20	1,67
<b>Ió Calci (mg/l)</b>	129,09	114,48	25,00	700,00	675,00	0,89
<b>Ió Magnesi (mg/l)</b>	33,36	28,70	3,00	197,00	194,00	0,86
<b>Ió Sodi (mg/l)</b>	39,88	29,05	7,00	191,00	184,00	0,73
<b>Ió Potassi (mg/l)</b>	2,04	2,87	0,18	23,50	23,32	1,40
<b>Mg/l totals</b>	732,47	462,74	175,10	2.804,50	2.629,40	0,63

La majoria de fonts mostrejades es situa sota els 600 metres però no hi ha una altura que predomini sobre les altres (Fig. 1). La distribució es presenta desordenada, d'acord amb l'estructura molt fragmentada de la geologia de la serra. Els aqüífers es poden distribuir a diferents altituds, donant lloc a nombroses fonts depenent únicament de la disposició hidrogeològica de les diferents capes geològiques. Tot i així, en general les fonts amb major cabal i més constants es situen a menor altitud. Les fonts de la vall de Sóller se situen sota els 250 m mentre que a la zona de Lluc-Escorca les fonts es presenten a 500 m i altures superiors. Entre aquests dos grups apareixen les fonts de les valls d'Esporles, Orient, Valldemossa, Deià,...



**Fig. 1.** Altitud de les fonts mostrejades.

**Fig. 1.** Altitude of the sampled springs.



**Fig. 2.** Temperatura de l'aigua.

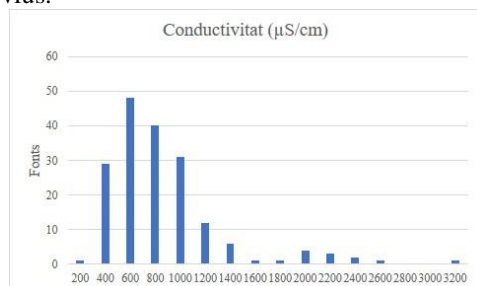
**Fig. 2.** Water temperature.

La temperatura de l'aigua que raja de les fonts té una temperatura que reflecteix algunes de les característiques dels mitjans pels quals ha transitat. Finalment tendeix a trobar-se en equilibri amb les característiques climàtiques del terreny. Si no hi ha aportacions extra de calor, les aigües de les fonts amb un cabal suficient tendeixen a mostrar, en la seva surgència, la temperatura mitjana de l'aire d'allà a on es trobin.

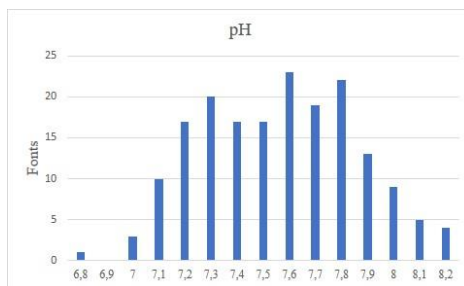
La temperatura registrada a l'aigua de les fonts oscil·la entre els 6°C i els 24°C (Fig. 2). La mitjana és de quasi 15 graus i la gran majoria de mostres es situa entre els 10 i els 20 graus. Els extrems citats són excepcions, degudes a efectes externs als factors intrínsecs de l'aigua. Temperatures inferiors als 10 graus apareixen a fonts amb un cabal molt petit, amb una velocitat de l'aigua ínfima, i durant l'hivern en algunes de les fonts a major altitud. Els registres superiors als 20 graus són de l'estiu i, en la majoria de casos, en aigües lluny del punt de surgència amb la qual cosa pogueren captar la calor ambiental. D'acord amb aquestes dades, totes les fonts mostrejades tenen aigües fredes, segons la majoria d'autors (Catalan, 1981). No s'ha trobat cap cas en què les aigües poden considerar-se temperades o termals.

La conductivitat de les aigües de les fonts presenta una mitjana de 765  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Aquesta dada mostra que hi ha una important presència de ions. Els extrems es presenten en 135 i 3.079  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Això suposa una gran variabilitat de valors en un limitat espai geogràfic. Hi ha pocs valors per damunt els 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , destacant sobre la resta de valors (Fig. 3). En tots els casos en què la conductivitat mostra valors molt alts (llevat del cas de la Font d'Andratx) l'origen cal assignar-lo en les característiques litològiques. Es pot afirmar que l'aigua mostrejada mostra una mineralització acusada, patint l'efecte de les litologies que l'aigua travessa.

La majoria de mostres presenten un pH en torn a la neutralitat o lleugerament alcalí. La mitjana es situa en 7,5 i la desviació és molt petita (0,28). En tot el rang de valors no existeixen grups diferenciats sinó que l'histograma minva bruscament cap als dos extrems de 6,77 i 8,15 (Fig. 4). L'origen d'aquests valors de pH es deu a causes naturals, sobre tot en l'anhidrid carbònic dissolt. Aquest procedeix de l'atmosfera i, més concretament, del que es troba en la zona d'infiltració de la terra produït per la respiració dels organismes vius.

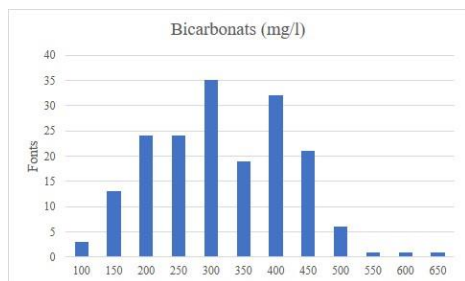


**Fig. 3.** Conductivitat de l'aigua.  
*Fig. 3. Water conductivity.*

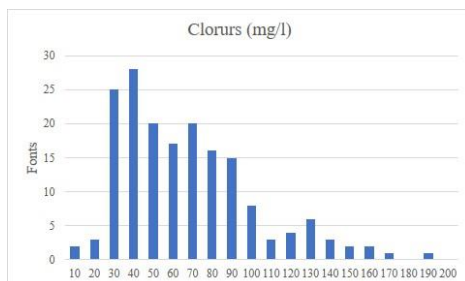


**Fig. 4.** pH de l'aigua analitzada.  
*Fig. 4. pH of the sampled waters.*

Donat el pH de les mostres analitzades, cal esperar que quasi tota l'alcalinitat es deguda als bicarbonats dissolts. Altres compostos del sistema carbònic-carbonats gairebé no s'han de presentar i la seva importància relativa ha de ser mínima. Per això l'anàlisi que es fa es basa en l'equivalència entre l'alcalinitat i bicarbonats. La mitjana de mg/l de bicarbonats es situa a prop dels 300 mg/l (a 293,66). El màxim és del doble, 603,9 mg/l i el valor mínim està en 51,85 mg/l. Quasi tots els valors queden entre els 200 i els 450 mg/l (Fig. 5).



**Fig. 5.** Valors de bicarbonats  
*Fig. 5. Bicarbonate values.*

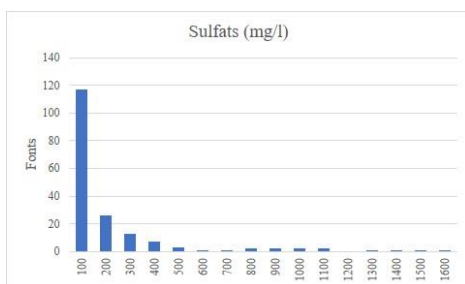


**Fig. 6.** Valors de clorurs.  
*Fig. 6. Chlorine values.*

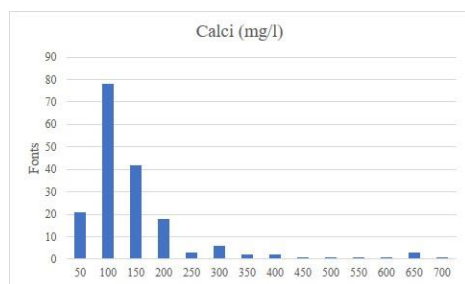
Els clorurs presents mostren valors baixos, La influència marina directa és absent, llevat potser del cas extrem de la Font de la Vila d'Andratx (527 mg/l). La resta de valors no arriben als 200 mg/l i de fet es situen en gran majoria per davall dels 100mg/l. Per davall dels 30 mg/l quasi no resten mostres (Fig. 6).

Entre els anions, els sulfats mostren la major variabilitat, tot i que la gran majoria estan sota els 300 mg/l (Fig. 7). Però hi ha casos en què el valor arriba fins els 1.570 mg/l. Aquest fenomen es dona en molt poques fonts, però marca molt el caràcter d'aquestes aigües.

El calci és sempre el catió dominant. La mitjana és de 129 mg/l i el màxim de 700 mg/l. Quasi tots els valors es situen per sota dels 200 mg/l (Fig. 8). De forma pareguda als sulfats, els valors extrems són escassos i extrems fins els 700 mg/l.



**Fig. 7.** Valors de sulfats.  
*Fig. 7. Sulphide values.*

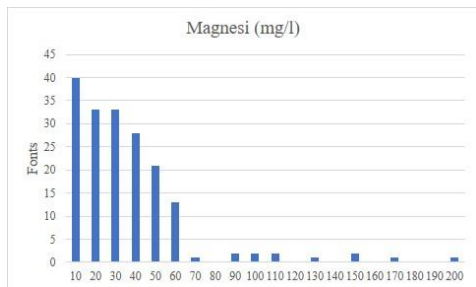


**Fig. 8.** Valors de calci.  
*Fig. 8. Calcium values.*

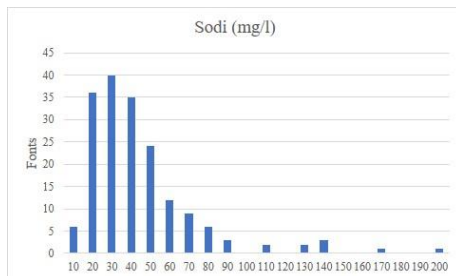
El magnesi sol ser el segon catió dominant. El valor mitjà és de 33,3 mg/l i el màxim de 194 mg/l. El magnesi presenta valors baixos, fins els 60 mg/l, amb algunes excepcions fins els 200 mg/l (Fig. 9).

El sodi presenta uns valors pareguts als del magnesi. La mitjana es situa en els 39,8 mg/l i un màxim de 191 mg/l. Aquest màxim és excepcional (Font de la Vila d'Andratx). Quasi tots els valors són inferiors als 90 mg/l (Fig.10). Els valors mínims no són tan baixos com en el cas del magnesi. La gran majoria de valors comencen a partir dels 20 mg/l mentre que en el cas del magnesi hi ha bastants valors entre 0 i 10 mg/l.



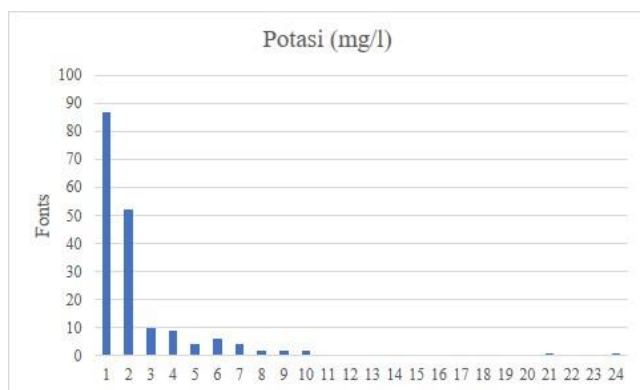


**Fig. 9.** Valors de magnesi.  
*Fig. 9. Magnesium values*



**Fig. 10.** Valors de sodi.  
*Fig. 10. Sodium values.*

El potassi sempre és molt minoritari. El màxim està en 23,5 mg/l i quasi tots els valors són menors a 4 mg/l. Hi ha dos valors extrems (21 i 24 g/l) lligats a fonts molt possiblement contaminades (Fig. 11).



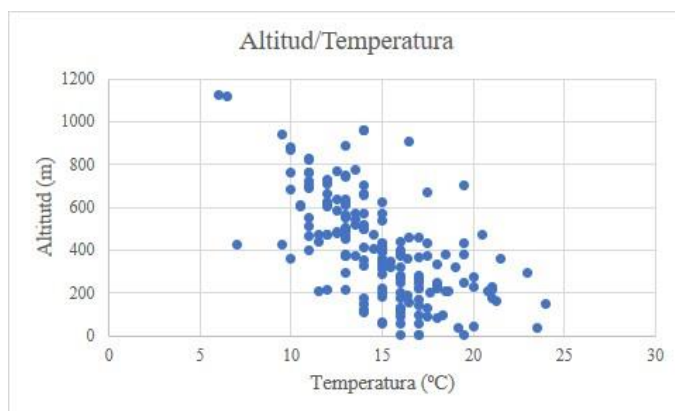
**Fig. 11.** Valors de potassi.  
*Fig. 11. Potassium values.*

## Discussió

Existeix una certa relació gràfica entre l'altitud i la temperatura de l'aigua de les fonts. Aquest fet és lògic, ja que cal esperar que les fonts a major altitud són més fresques que les que es troben a una menor altitud o a nivell de la mar. Però la variabilitat dins cada altitud és també molt important (Fig. 12). D'aquesta manera la correlació és molt baixa, un 0,39 sense transformar les variables i 0,23 amb la transformació logarítmica.

La conductivitat, com és lògic, queda bastant ben definida per la suma d'anions: la correlació és de 0,84. La correlació amb els cations és un poc menor, de 0,6. Al llarg de totes les dades pareix que els valors de cations presenten més defectes que les dades dels anions. Dins els anions la major correlació és amb sulfats (0,59) seguit de clorurs (0,45) i alcalinitat (0,28). L'anió que més contribueix a la conductivitat és el bicarbonat. En la

majoria de mostres el bicarbonat és l'anió més important. Però la correlació és major amb els sulfats.



**Fig. 12.** Relació entre altitud i temperatura de l'aigua.

*Fig. 12.* Relation between altitud and water temperature.

Entre els cations la major correlació es dona al magnesi (0,6) seguit del sodi (0,4), el potassi (0,4) i, finalment, el calci (0,39).

Els bicarbonats es correlacionen millor amb la suma de calci i magnesi (0,3) que amb cada un per separat (0,29 per magnesi i 0,21 per calci). Però la relació millora molt amb els sulfats, que correlacionen amb 0,42 amb la suma de calci i magnesi. En aquest sentit la millor correlació es produeix entre les sumes de sulfats i bicarbonats amb la suma de calci i magnesi (0,7).

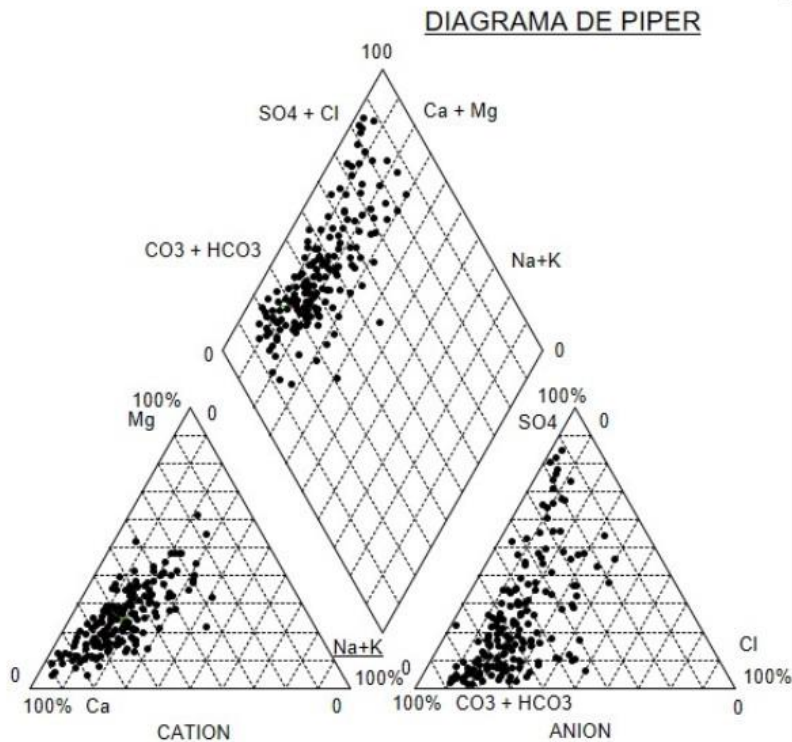
Aquestes dades fan deduir que la majoria de compostos que cal esperar són els bicarbonats càlcics i magnèsics i els sulfats càlcics i magnèsics.

En el cas dels clorurs la millor correlació es produeix amb la suma de sodi i potassi (0,52) que és quasi idèntica a la correlació entre clorurs i el sodi per ell tot sol (0,51). El compost que cal esperar en aquestes aigües és el clorur sòdic.

**Diagrama de Piper** (Fig. 13). Els diagrames triangulars són adequats per presentar tres components en percentatges. Cada vèrtex d'un triangle equilàter representa un dels tres components "purs", simbolitzant el 100%. Cada punt a l'interior del triangle representa una mescla ternària de percentatge de participació de anions o cations, en el cas de mostres d'aigua. Només es fan servir tres anions o tres cations. Els percentatges que s'apliquen es fan servir en forma de miliequivalents per litre.

Són molt útils a l'hora de classificar les aigües quan es componen dels anions i cations més habituals. Per als anions es fan servir els bicarbonats, els sulfats i els clorurs. En el cas dels cations es fan servir el calci, el magnesi i la suma de sodi i potassi.

En el diagrama es presenten dos triangles separats per anions i per cations i amb un camp central romboidal en què es presenta un tercer punt deduït a partir dels que es representen els anions i els cations.



**Fig. 13.** Diagrama de Piper  
*Fig. 13. Piper diagram.*

El triangle d'anions classifica les aigües en bicarbonatades, clorurades o sulfatades amb un predomini de fins al 50% de cada un dels anions, i el sector central queda ocupat per mescles, sense cap tipus per damunt dels 50%.

El triangle de cations classifica les aigües en càlciques, magnèsiques o sòdiques amb un predomini de fins al 50% de cada un dels anions, i el sector central queda ocupat per mescles, sense cap tipus per damunt dels 50%.

El romboide central forma 4 sectors que defineixen les tipologies d'aigua d'acord amb els ions dominants:

- Bicarbonatades sòdiques
- Bicarbonatades càlciques o magnèsiques
- Clorurades o sulfatades sòdiques
- Sulfatades o clorurades càlciques o magnèsiques

D'acord amb el diagrama triangular o de Piper aplicat, les aigües de les fonts analitzades, respecte als anions, són aigües en la majoria bicarbonatades. Aquest anió supera el 50% de meq/l en anions en 118 mostres. Un grup menor, de 20 mostres, són clarament sulfatades i la resta (42) són de tipus mixt. No hi ha aigües clorurades.

D'acord amb el diagrama triangular o de Piper aplicat, les aigües de les fonts analitzades, respecte als cations, són aigües en la gran majoria càlciques. Aquest catió supera el 50% de meq/l en cations en 132 mostres. Un grup molt petit, de 3 mostres, són clarament magnèsiques i la resta (45) són de tipus mixt, tot i que amb dominància de calci i magnesi. No hi ha aigües sòdiques.

D'acord amb el romboide, les aigües de les fonts analitzades, són aigües en la majoria bicarbonatades càlciques o magnèsiques (126 mostres) o sulfatades càlciques o magnèsiques (54 mostres), a l'esquerra del romboide. El quadrant de l'esquerra superior també inclou les clorurades càlciques o magnèsiques, però com que ja d'entrada no hi ha aigües clorurades, aquestes no són presents tampoc al romboide. No hi ha aigües clorurades ni bicarbonatades sòdiques ni clorurades o sulfatades sòdiques, que estarien en la meitat dreta del romboide.

## Agraïments

Aquest treball es va realitzar al Laboratori de Limnologia de la Universitat de les Illes Balears i volem deixar constància del nostre agraïment, especialment al Dr. Gabriel Moyà, a Carlos Martínez, col·laborador a les excursions, i als companys que ens acompanyaren en el laboratori així com als serveis d'anàlisi de la UIB.

## Bibliografia

- APHA-AWWA.WPCF, 1981. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association. Washington. 1134pp.
- Catalan, J. 1981. *Química del agua*. Ed. J. Catalan Lafuente. Madrid. 423 pp.
- Custodio, E. i Llamas, E. (Dir.) 1983. *Hidrología Subterránea*. Segunda edición. Tomo I. Ed. Omega, Barcelona. 1157 pp.
- Ferriol, A., Llobera, M. i Moyà, G. 1989. Aproximación al conocimiento de la calidad de las aguas de las fuentes de la Serra de Tramuntana (Mallorca). En *II Jornadas sobre Contaminación (V.Cerdà, ed.)*: 197-199. Palma de Mallorca.
- <https://sites.google.com/view/fontsdetramuntana>
- Llobera, M. 1990. *Estudio Limnológico de las fuentes de la Sierra de Tramuntana: características físico-químicas*. Tesis de Llicenciatura. Facultat de Ciències. Universitat de les Illes Balears. 139pp + annexes. Inèdita.
- Llobera, M. i Ferriol, A. 1994. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs from the Tramuntana mountain range (Mallorca, Spain). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25: 1445-1448.
- Rodier, J. 1981. *Análisis de las aguas*. Ed. Omega, Barcelona. 1059 pp.