

Caracterización de aguas subterráneas de Mallorca

A.Oliver

LaboRA-UIB Laboratorio de Radiactividad Ambiental, Universidad de las Islas Baleares, Palma, 07122, España.



Universitat
de les Illes Balears

Laboratori
de Radioactivitat
Ambiental



Objetivo del estudio

Este estudio pretende presentar **por primera vez** los principales parámetros radiológicos del agua subterránea en Mallorca y su relación con otras propiedades fisicoquímicas.

El agua en Mallorca

Dependencia del agua subterránea

El **75–95%** del suministro hídrico de Mallorca proviene de aguas subterráneas, frente al **<5%** de la media nacional española.

Presión sobre el recurso

El cambio climático, el turismo intensivo y el crecimiento demográfico agravan la escasez hídrica en las Islas Baleares.

Calidad y monitoreo del agua

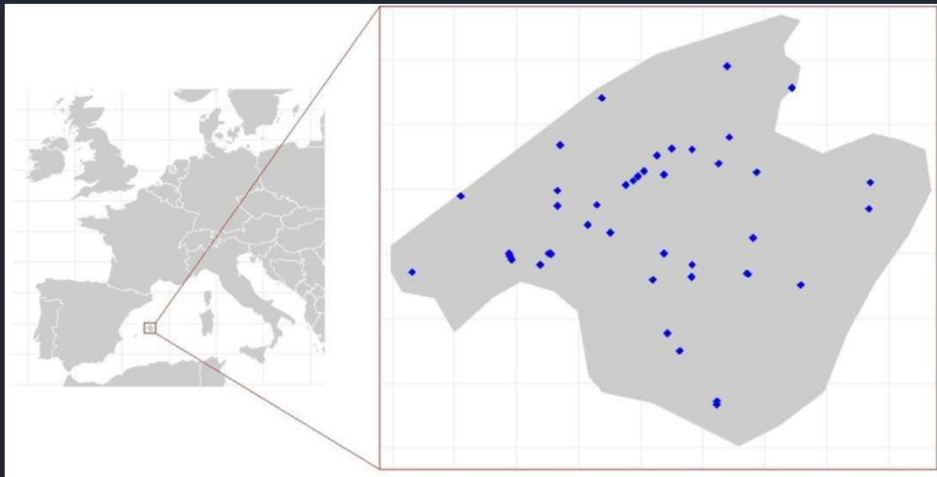
A diferencia del agua municipal, que se trata y monitorea de forma rutinaria, el agua de pozo proviene de fuentes subterráneas y puede contener diversos contaminantes naturales y artificiales.

Materiales y Métodos

Muestreo

47 muestras recogidas en pozos de 3,5 a 150 m de profundidad.

- 1 L para parámetros fisicoquímicos y TDS
- 1 L para aniones, elementos mayoritarios y metales (ICP-OES, cromatografía iónica)
- 2 L para emisores gamma (detector Ge hiperpuro)
- 0,5 L × 2 para alfa/beta total (contador proporcional)



Equipamiento clave

ICP-OES

Perkin Elmer Optima
5300 DV

Cromatografía iónica

Dionex DX120

Espectrometría gamma

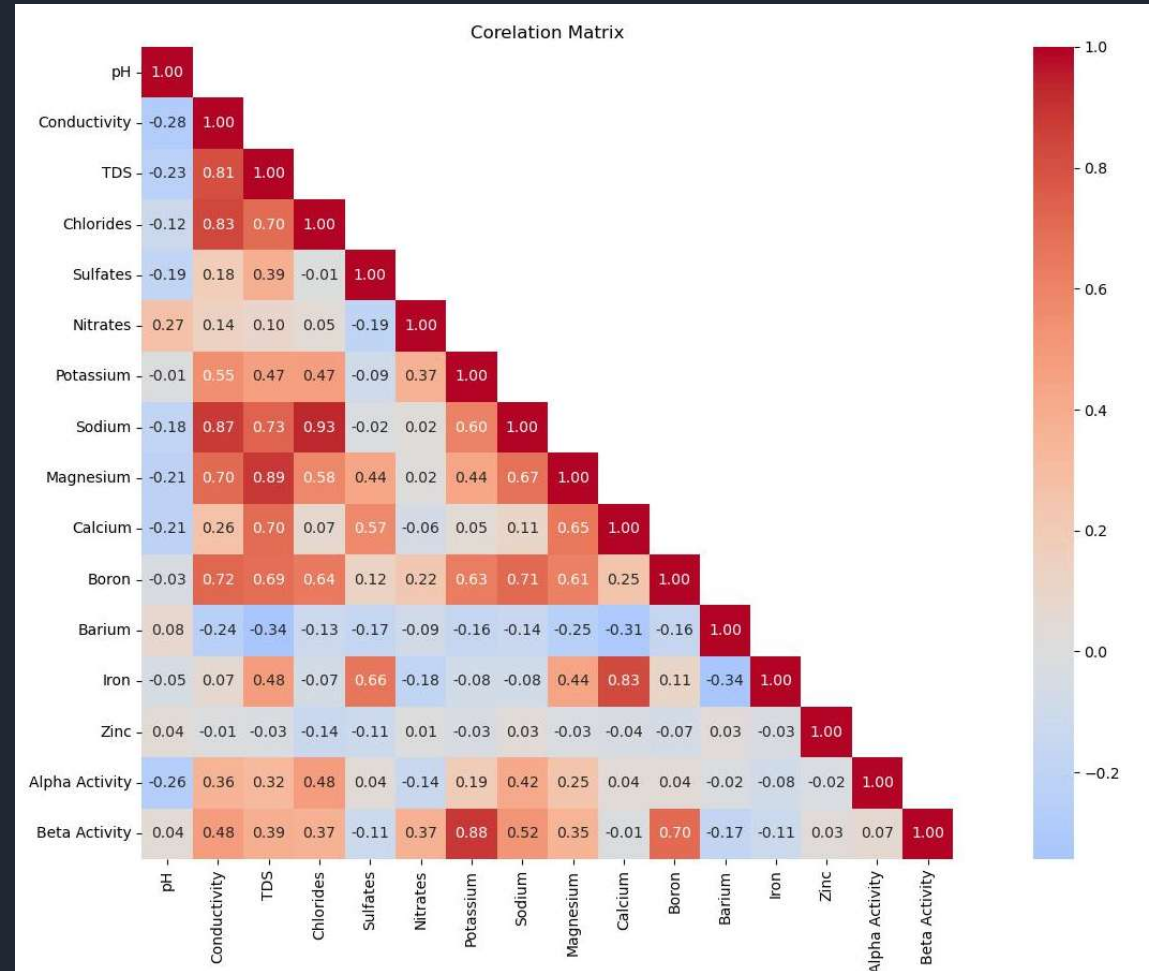
Detector Canberra
GR5023

Contador proporcional

Tennelec LB4200

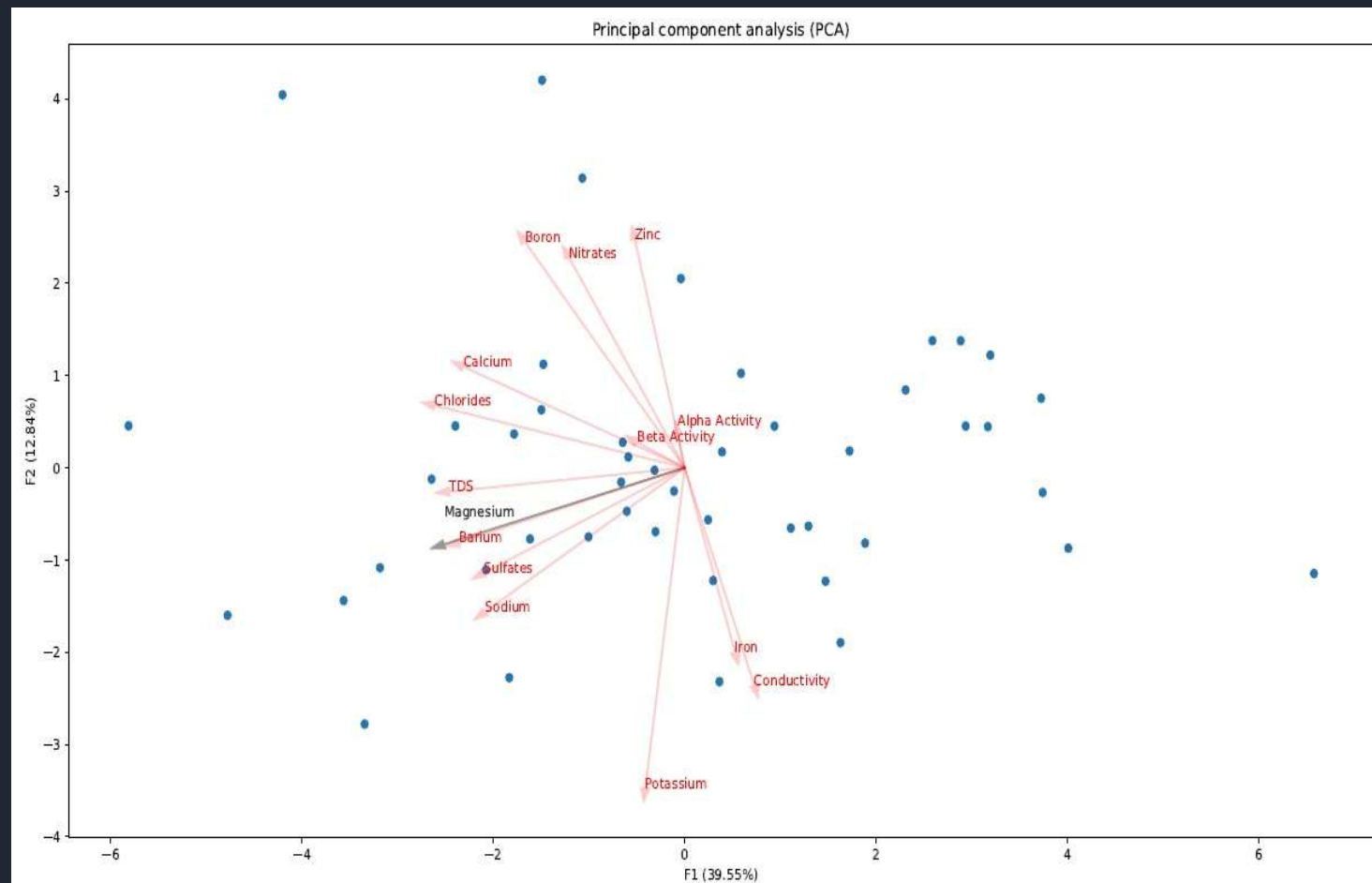
Resultados

- Orden de predominancia: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{NO}_3^- > \text{K}$. La predominancia de cloruros refleja la influencia marina en los acuíferos.
- El 32% de las muestras superó el valor paramétrico para el hierro en aguas de consumo humano (R.D. 3/2023), el 10% supera el valor de no aptitud 600 $\mu\text{g/L}$, probablemente debido a la degradación de las infraestructuras



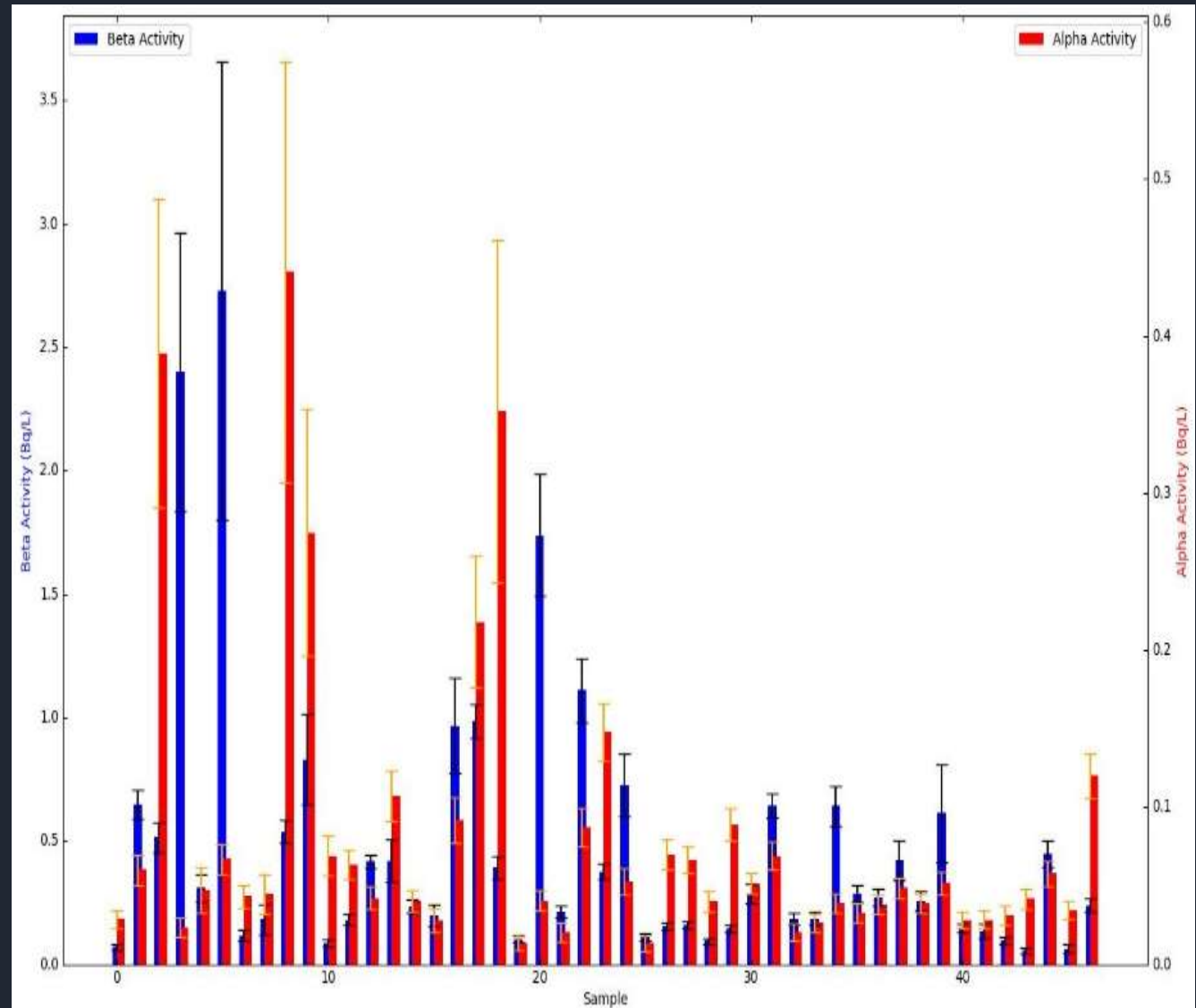
Resultados

- Primer componente, dominada por valores negativos de TDS, EC, B, Na, K, Cl⁻, Ca, Mg y actividad beta. Refleja la salinidad y mineralización de los acuíferos.
- Segunda componente contribución positiva: **Fe, Ca, SO₄²⁻**. Contribución negativa: **Ba, NO₃⁻, pH**. Asociado a la mineralización del suelo y posible contaminación por tuberías de hierro antiguas.



Resultados

- No se detectaron emisores gamma por encima del limite de detección durante la espectrometría gamma.
- Un 17% de las muestras supera el limite legal de actividad alfa total, 0,1 Bq/L (R.D. 3/2023)
- Un 8,5% de las muestras supera el limite legal de actividad beta total, 1 Bq/L (R.D. 3/2023)



Conclusiones

- Se ha analizado por primera vez la caracterización de la radiactividad de las aguas subterráneas en Mallorca.
- La mayoría de las muestras presentan actividades inferiores a los niveles establecidos por la Directiva Euratom 51 de 2013.
- Trabajo en proceso, espectrometría alfa de las muestras por encima de los niveles establecidos.
- La salinidad y la composición iónica (Cl^- , Na^+) reflejan la intrusión marina en los acuíferos costeros, especialmente en el sureste de la isla.



En memoria de
Toni Borrás



Comprehensive Environmental Data Report: Groundwater Quality Analysis (Q3 2023)							
Section 1: Sampling Locations and Parameters							
Table 1: Groundwater Sample Data							
Sample	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)
GW01	84.19 ± 0.06	38.37 ± 0.01	16.50 ± 0.02	1.92 ± 0.08	52 ± 3	36.1 ± 1.8	110 ± 6
GW02	136.11 ± 0.13	61.29 ± 0.06	138.76 ± 0.01	17.5 ± 0.7	99 ± 3	29.8 ± 0.9	121 ± 4
GW03	735.92 ± 0.20	87.87 ± 0.03	34.80 ± 0.01	9.3 ± 0.3	399 ± 8	64.6 ± 1.3	114.9 ± 2.5
GW04	623.26 ± 0.05	189.13 ± 0.08	57.83 ± 0.03	21.9 ± 0.6	419 ± 9	65.8 ± 1.5	115 ± 4
GW05	248.98 ± 0.02	1829.54 ± 0.05	n.d.	8.67 ± 0.09	196 ± 7	136 ± 6	507 ± 30
GW06	868.47 ± 0.07	179.5 ± 0.3	61.47 ± 0.01	57.8 ± 2.1	630 ± 11	72.3 ± 1.4	119.6 ± 1.7
GW07	182.22 ± 0.09	1568.3 ± 0.02	41.58 ± 0.03	3.17 ± 0.10	99 ± 4	37.0 ± 1.5	130 ± 6
GW08	146.68 ± 0.17	1524.4 ± 0.5	6.79 ± 0.01	4.02 ± 0.18	99 ± 3	92.2 ± 2.4	606 ± 16
GW09	1861.53 ± 0.17	319.16 ± 0.06	22.04 ± 0.01	25.8 ± 0.4	999 ± 46	126.6 ± 2.0	225 ± 5
GW10	222.93 ± 0.05	275.68 ± 0.07	10.43 ± 0.01	13.7 ± 0.4	177 ± 10	52.5 ± 3	138 ± 9
GW11	101.52 ± 0.10	171.64 ± 0.01	24.03 ± 0.01	2.53 ± 0.08	72.4 ± 1.1	35.2 ± 0.5	58.6 ± 0.7
GW12	114.4 ± 0.08	127.54 ± 0.06	47.07 ± 0.02	2.44 ± 0.04	102 ± 5	54 ± 3	122 ± 6
GW13	111.08 ± 0.04	46.83 ± 0.05	47.74 ± 0.01	14.1 ± 0.4	98 ± 4	23.7 ± 1.1	80 ± 4
GW14	250.09 ± 0.16	140.86 ± 0.06	60.62 ± 0.01	6.1 ± 0.10	150 ± 9	57 ± 3	163 ± 10
GW15	177.95 ± 0.17	140.86 ± 0.15	157.06 ± 0.13	5.35 ± 0.21	118 ± 3	46.6 ± 1.1	116 ± 3
GW16	312.78 ± 0.04	75.35 ± 0.01	16.27 ± 0.01	3.23 ± 0.06	146 ± 10	19.0 ± 1.2	183 ± 14
GW17	168.94 ± 0.10	143.84 ± 0.03	12.98 ± 0.01	27.85 ± 1.02	270 ± 13	85 ± 3	164 ± 5
GW18	136.8 ± 0.3	147.88 ± 0.21	34.94 ± 0.03	29.6 ± 0.7	119.1 ± 1.5	27.3 ± 0.3	149.5 ± 1.8
GW19	165.47 ± 0.22	n.d.	396.9 ± 0.3	5.4 ± 0.3	127 ± 4	42.9 ± 1.1	239 ± 6
GW20	44.41 ± 0.01	11.90 ± 0.02	6.29 ± 0.01	3.05 ± 0.09	34.3 ± 0.7	10.36 ± 0.22	58.9 ± 1.3
GW21	311.33 ± 0.09	62.29 ± 0.09	260.22 ± 0.05	37.3 ± 1.4	296.9 ± 2.2	86.7 ± 0.9	179.8 ± 2.4
GW22	141.82 ± 0.06	447.17 ± 0.01	64.32 ± 0.02	4.95 ± 0.03	95.9 ± 0.6	30.7 ± 0.3	132.2 ± 1.5
GW23	315.34 ± 0.02	41.08 ± 0.35	231.10 ± 0.01	19.1 ± 0.8	102 ± 5	30.2 ± 1.4	150 ± 7
GW24	160.95 ± 0.09	1196.35 ± 0.02	19.43 ± 0.01	5.35 ± 0.13	108 ± 7	39.4 ± 2.3	42.5 ± 1.9
GW25	154.22 ± 0.08	119.98 ± 0.10	84.38 ± 0.03	17.02 ± 1.04	130 ± 11	77 ± 6	402 ± 33
GW26	114.76 ± 0.11	45.45 ± 0.06	10.94 ± 0.01	3.07 ± 0.05	58.1 ± 2.2	22.3 ± 0.7	83.3 ± 2.0
GW27	62.75 ± 0.03	45.99 ± 0.06	12.93 ± 0.01	2.79 ± 0.05	44.9 ± 1.2	33.8 ± 0.8	128 ± 3
GW28	47.78 ± 0.04	191.94 ± 0.02	45.60 ± 0.02	2.96 ± 0.15	47.3 ± 1.3	31.9 ± 0.9	117 ± 3
GW29	50.63 ± 0.02	191.94 ± 0.10	46.01 ± 0.01	2.16 ± 0.10	38.4 ± 0.4	32.6 ± 0.3	112.6 ± 1.3
GW30	53.86 ± 0.01	53.12 ± 0.01	12.72 ± 0.01	2.57 ± 0.05	39.6 ± 1.9	28.1 ± 1.5	99 ± 6
GW31	232.46 ± 0.06	154.09 ± 0.02	35.88 ± 0.02	5.71 ± 0.23	179 ± 7	43.1 ± 1.9	125 ± 6
GW32	89.79 ± 0.06	65.30 ± 0.02	17.85 ± 0.01	5.83 ± 0.12	190 ± 3	47.2 ± 0.9	133.6 ± 2.4
GW33	72.13 ± 0.03	58.75 ± 0.06	5.71 ± 0.01	4.33 ± 0.09	147.0 ± 1.4	37.8 ± 0.3	127.8 ± 1.5
GW34	248.73 ± 0.10	99.22 ± 0.05	51.35 ± 0.01	3.74 ± 0.19	132 ± 7	35.6 ± 1.9	131 ± 7
GW35	708.76 ± 0.08	165.00 ± 0.02	43.60 ± 0.01	9.9 ± 0.5	456 ± 25	70 ± 3	159 ± 6
GW36	561.24 ± 0.10	157.16 ± 0.06	46.38 ± 0.02	7.5 ± 0.11	329 ± 12	57.2 ± 2.0	149 ± 5
GW37	555.56 ± 0.05	183.67 ± 0.12	46.71 ± 0.02	9.06 ± 0.12	318 ± 8	56.1 ± 1.3	139 ± 4
GW38	282.81 ± 0.07	172.41 ± 0.02	27.40 ± 0.01	6.33 ± 0.13	175 ± 3	46.7 ± 0.5	136.9 ± 1.0
GW39	218.69 ± 0.04	125.64 ± 0.02	25.54 ± 0.01	5.11 ± 0.10	145.7 ± 2.5	44.7 ± 0.8	141 ± 3
GW40	53.11 ± 0.00	51.87 ± 0.03	12.49 ± 0.01	8.76 ± 0.02	257 ± 7	52.3 ± 1.5	140 ± 5
GW41	55.37 ± 0.07	165.52 ± 0.03	11.82 ± 0.01	2.93 ± 0.18	34.1 ± 0.4	32.4 ± 0.8	153 ± 5
GW42	235.9 ± 0.6	150.28 ± 0.24	29.28 ± 0.03	2.7 ± 0.05	268 ± 6	49.1 ± 0.9	263 ± 4
GW43	272.90 ± 0.12	150.28 ± 0.04	29.21 ± 0.01	2.59 ± 0.07	66 ± 4	26.7 ± 1.6	122 ± 7
GW44	263.4 ± 0.3	119.06 ± 0.12	48.55 ± 0.03	0.91 ± 0.02	41.1 ± 2.1	31.3 ± 1.7	94 ± 5
GW45	142.68 ± 0.09	178.34 ± 0.06	11.96 ± 0.01	8.6 ± 0.4	147 ± 3	38.9 ± 0.9	134 ± 3
GW46	210.09 ± 0.24	57.16 ± 0.02	23.51 ± 0.01	1.18 ± 0.03	106 ± 3	35.2 ± 0.9	157 ± 5
GW47	179.17 ± 0.24	177.4 ± 0.20	154.53 ± 0.13	3.26 ± 0.09	113 ± 6	29.9 ± 1.5	162 ± 8

Sample	B (µg L ⁻¹)	Ba (µg L ⁻¹)	Fe (µg L ⁻¹)	Zn (µg L ⁻¹)	Gross Alpha (Bq L ⁻¹)	Gross Beta (Bq L ⁻¹)
GW01	70.9 ± 1.8	9.80 ± 0.06	n.d.	n.d.	0.029 ± 0.006	0.07 ± 0.01
GW02	156 ± 8	30.8 ± 0.3	n.d.	n.d.	0.060 ± 0.010	0.65 ± 0.06
GW03	207.4 ± 1.6	29.82 ± 0.24	66.7 ± 0.4	11.38 ± 0.04	0.39 ± 0.09	0.51 ± 0.06
GW04	998 ± 4	14.39 ± 0.01	30.0 ± 0.4	65.4 ± 2.0	0.024 ± 0.006	2.4 ± 0.6
GW05	854 ± 9	11.03 ± 0.08	4760 ± 30	n.d.	0.048 ± 0.015	0.31 ± 0.05
GW06	1167 ± 7	31.8 ± 0.3	42.4 ± 0.5	11.64 ± 0.10	0.067 ± 0.010	2.7 ± 0.9
GW07	78 ± 4	31.12 ± 0.12	586.4 ± 1.8	15.34 ± 0.14	0.043 ± 0.007	0.12 ± 0.02
GW08	233 ± 4	14.68 ± 0.11	4527 ± 16	33.7 ± 0.5	0.045 ± 0.013	0.18 ± 0.06
GW09	801.5 ± 1.8	29.34 ± 0.15	63.8 ± 0.4	17.99 ± 0.16	0.44 ± 0.13	0.54 ± 0.05
GW10	141.9 ± 0.8	42.7 ± 0.6	66.4 ± 0.9	186 ± 4	0.27 ± 0.08	0.83 ± 0.18
GW11	41.2 ± 1.9	12.70 ± 0.06	57.9 ± 0.4	7.41 ± 0.07	0.069 ± 0.013	0.09 ± 0.01
GW12	145.2 ± 1.7	85.67 ± 0.10	n.d.	16.49 ± 0.09	0.063 ± 0.009	0.18 ± 0.02
GW13	126.4 ± 1.3	38.88 ± 0.07	n.d.	22.1 ± 1.5	0.042 ± 0.007	0.42 ± 0.03
GW14	311.2 ± 2.5	107.1 ± 0.5	n.d.	n.d.	0.107 ± 0.016	0.42 ± 0.09
GW15	132.3 ± 1.5	27.69 ± 0.24	497 ± 6	10 ± 3	0.040 ± 0.007	0.24 ± 0.03
GW16	101 ± 3	19.28 ± 0.13	2958 ± 12	120 ± 12	0.028 ± 0.007	0.20 ± 0.04
GW17	185.3 ± 1.1	45.3 ± 0.3	306.4 ± 2.1	230 ± 15	0.092 ± 0.015	0.97 ± 0.19
GW18	211.14 ± 1.4	63.8 ± 0.6	314 ± 3	91 ± 14	0.218 ± 0.042	0.98 ± 0.07
GW19	211 ± 5	26.03 ± 0.23	401 ± 4	6.4 ± 1.2	0.35 ± 0.11	0.39 ± 0.05
GW20	20.2 ± 2.0	79.4 ± 0.2	448.5 ± 1.4	42 ± 3	0.014 ± 0.005	0.10 ± 0.01
GW21	646 ± 5	26.4 ± 0.2	n.d.	38 ± 3	0.041 ± 0.006	1.74 ± 0.25
GW22	108 ± 5	86.3 ± 1.3	178 ± 3	<LD	0.021 ± 0.006	0.21 ± 0.02
GW23	629 ± 5	35.91 ± 0.13	59.8 ± 0.4	<LD	0.087 ± 0.013	1.11 ± 0.13
GW24	118.6 ± 1.9	78.7 ± 0.6	n.d.	<LD	0.148 ± 0.018	0.38 ± 0.03
GW25	139 ± 5	29.39 ± 0.10	1589 ± 14	14.4 ± 1.2	0.053 ± 0.008	0.72 ± 0.13
GW26	25 ± 3	18.51 ± 0.16	n.d.	<LD	0.013 ± 0.005	0.11 ± 0.01
GW27	34 ± 4	37.1 ± 0.5	n.d.	76 ± 3	0.070 ± 0.010	0.15 ± 0.02
GW28	88 ± 2	39.9 ± 0.6	131.7 ± 1.9	23.6 ± 0.7	0.067 ± 0.008	0.16 ± 0.02
GW29	68 ± 7	22.4 ± 0.3	127.5 ± 1.6	79.8 ± 1.2	0.040 ± 0.007	0.10 ± 0.01
GW30	22.7 ± 2.3	32.2 ± 0.5	n.d.	36.8 ± 0.9	0.089 ± 0.011	0.15 ± 0.01
GW31	345 ± 7	47.1 ± 0.3	409.5 ± 2.4	202.9 ± 1.8	0.051 ± 0.007	0.29 ± 0.04
GW32	374.9 ± 1.6	54.5 ± 0.7	n.d.	120 ± 3	0.069 ± 0.009	0.64 ± 0.05
GW33	240.1 ± 1.6	51.7 ± 0.3	56.0 ± 0.5	90.8 ± 1.9	0.021 ± 0.005	0.18 ± 0.03
GW34	207 ± 3	44.0 ± 0.7	944 ± 15	211 ± 5	0.026 ± 0.005	0.19 ± 0.03
GW35	654 ± 6	53.1 ± 0.6	n.d.	n.d.	0.039 ± 0.006	0.64 ± 0.08
GW36	661 ± 7	59.9 ± 0.9	n.d.	15.1 ± 0.4	0.033 ± 0.006	0.29 ± 0.03
GW37	141 ± 9	40.1 ± 0.4	n.d.	n.d.	0.038 ± 0.006	0.27 ± 0.03
GW38	144 ± 4	49.2 ± 0.8	n.d.	72 ± 23	0.049 ± 0.006	0.42 ± 0.08
GW39	326 ± 8	62.6 ± 1.2	75.6 ± 1.4	64 ± 3	0.039 ± 0.006	0.26 ± 0.04
GW40	211 ± 3	51.59 ± 0.17	293.1 ± 0.9	1873 ± 126	0.052 ± 0.008	0.61 ± 0.20
GW41	29.6 ± 1.9	45.0 ± 0.9	n.d.	20.5 ± 2.1	0.028 ± 0.005	0.15 ± 0.02
GW42	431.9 ± 2.0	29.22 ± 0.11	n.d.	17.3 ± 2.3	0.028 ± 0.006	0.14 ± 0.03
GW43	472 ± 10	46.19 ± 0.21	n.d.	n.d.	0.031 ± 0.006	0.10 ± 0.02
GW44	30.9 ± 2.6	67.9 ± 0.7	n.d.	n.d.	0.042 ± 0.006	0.06 ± 0.01
GW45	357 ± 7	43.7 ± 0.4	561.2 ± 2.4	6.62 ± 0.20	0.058 ± 0.008	0.45 ± 0.05
GW46	258 ± 4	87.1 ± 1.4	33.1 ± 0.6	6.15 ± 0.33	0.035 ± 0.006	0.06 ± 0.02
GW47	205 ± 5	36.7 ± 0.6	n.d.	911 ± 23	0.120 ± 0.014	0.24 ± 0.03