



Proyecto 'Fonts del Montseny': siete años de investigación sobre la calidad mineral de las fuentes del Montseny

Se realiza el muestreo y análisis de 43 fuentes de los municipios del Montseny suroeste, para determinar el caudal, pH, conductividad, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, dureza, calcio, magnesio, sodio y potasio. Se han llevado a cabo con métodos estándar y control de calidad externo. Con los resultados obtenidos se ha caracterizado la composición mineral de cada una de las aguas, extrayendo conclusiones y destacando la mineralización global en forma de conductividad y el contenido de nitratos, dos de los parámetros indicadores de la calidad cualitativa de las aguas subterráneas. Con este quinto y último estudio del Proyecto 'Fonts del Montseny' se hace una comparativa final de las cinco zonas investigadas: la mineralización global valorada en conductividad con la altitud media de cada zona geográfica estudiada, el balance iónico valorado en meq/L de cada una de las diferentes zonas para observar la composición mayoritaria y la concentración de nitratos para detectar posibles focos de contaminación agrícola. Con todo ello se tendrá una base de datos de conductividad, contenido mineral y valores de nitratos, parámetros indicadores de la calidad del agua subterránea según la Directiva Marco del Agua y que servirán, en el futuro, para detectar posibles alteraciones en su composición natural y, a la vez, proteger este rico patrimonio del Parque Natural del Montseny.

Palabras clave

Fuentes naturales, agua, análisis, sostenibilidad, Montseny.

SEVEN YEARS OF RESEARCH ON THE MINERAL QUALITY OF THE SOURCES OF THE MONTSENY BIOSPHERE RESERVE (CATALONIA, SPAIN)

Sampling and analysis of 43 sources from the municipalities of south-western Montseny to determine their mineral composition. They have been carried out with standard methods and external quality control. With the results obtained, the ionic balance is made and each of the waters is characterized, drawing conclusions. With this fifth and last study of the 'Fonts del Montseny' Project, a final comparison of the five areas investigated is made: the global mineralization valued in conductivity with the average altitude of each geographical area studied, the ionic balance valued in meq/L of each one of the different zones to observe the majority composition and the concentration of nitrates to detect possible sources of agricultural contamination. With all this, there will be a database of the indicator parameters of groundwater quality according to the Water Framework Directive and that will serve, in the future, to detect possible alterations in its natural composition and at the same time protect this rich heritage of the Montseny Natural Park.

Keyword

Natural sources, water, analysis, sustainability, Montseny.

Fortià Prat

licenciado en Farmacia, máster en Ciencia y Tecnología del Agua, doctor en Ciencias Experimentales y director Laboratori Clínic Prat, S.L.

Òscar Farrerons Vidal

arquitecto, doctor en Ingeniería Multimedia, profesor de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) e investigador de las fuentes del Montseny, como miembro del Grupo de Investigación en Ingeniería de Proyectos, Agua y Sostenibilidad y del Grupo de Expertos en Hidrogeología del Montseny



1. INTRODUCCIÓN

La Reserva de la Biosfera Parque Natural del Montseny se sitúa en la cordillera prelitoral catalana, de la que es el macizo más alto, repartiéndose sus 555 km² entre 18 municipios de las provincias de Girona y Barcelona. Este artículo muestra los resultados obtenidos durante siete años de investigación del Proyecto 'Fonts del Montseny', destacando que las fuentes son un elemento del patrimonio cultural, histórico, social y natural en el territorio del Montseny, y mostrando la comparativa de los análisis químicos llevados a cabo en 310 fuentes, agrupadas en cinco zonas geográficas del Montseny: norte, oeste, este, sureste y suroeste.

Para llevar a cabo esta investigación se han visitado más de 500 fuentes repartidas entre los 18 municipios que componen la Reserva de la Biosfera del Montseny (y excepcionalmente de alguna fuente situada en municipios próximos, como Balenyà y Centelles). Se han realizado varias visitas de campo, pero de alguna de las fuentes nunca se consiguió ver brotar aguas de sus caños. Se han recogido muestras de agua de 100 fuentes de la zona norte (2017), de 48 de la zona oeste (2018), de 75 de la zona este (2020), de 44 de la zona sureste (2021), y de 43 de la zona suroeste (2022). En total se han conseguido muestras de 310 fuentes.

Los resultados de la zona norte fueron publicados en el número 25 de Tecnoaqua (*Análisis de parámetros fisicoquímicos de aguas de 100 fuentes naturales del Montseny norte*); los de la zona oeste en el número 31 de Tecnoaqua (*Parámetros fisicoquímicos de las aguas de 48 fuentes naturales del Montseny oeste - Alto Congost y su comparación*

FIGURA 1. Òscar Farrerons toma la muestra de agua de la fuente del Pou Calent. (Foto Rosa Pasaret, La Garriga, 27 de octubre de 2022).



con las aguas del Montseny norte); los de la zona este en el número 37 de Tecnoaqua (*Aguas del norte, poniente y levante del Montseny, tres zonas geográficas diferentes de la Reserva de la Biosfera de comportamiento fisicoquímico desigual de sus fuentes*); y los de la zona sureste en el número 56 de Tecnoaqua (*Calidad mineral de las fuentes del sureste de la Reserva de la Biosfera del Montseny*).

Se ha continuado trabajando en el estudio de los sistemas fontinales de la Reserva de la Biosfera del Parque Natural del Montseny hasta finales de año 2022, en que se han llevado a cabo los análisis de las aguas fontinales de los municipios de Sant Pere de Vilamajor, Cànoves i Samalús, la Garriga, Figaró-Montmany, y Tagamanent. En este número de Tecnoaqua se presentan brevemente los resultados obtenidos de las muestras de agua de las 43 fuentes del Montseny suroeste, trabajos realizados entre finales de 2022 e inicio de 2023, y una comparación final de las cinco zonas del Montseny.

2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El Proyecto 'Fonts del Montseny' pretende recuperar la salud de los ecosistemas fontinales, lograr un uso más sostenible del agua y adaptarnos al cambio climático, y para ello el conocimiento científico de las aguas de las fuentes es imprescindible.

El objetivo del proyecto es estudiar las composiciones minerales de las aguas de las fuentes del macizo, desde un punto de vista ecosistémico, incluyendo sus relaciones con la altitud y la zona geográfica, teniendo en cuenta también la función del agua dentro del ecosistema que se desarrolla a su alrededor. Se establecen correlaciones entre los parámetros analizados, se comparan sus resultados por zonas geográficas y se determinan lugares con las aguas contaminadas por nitratos. En un futuro se prevé continuar el proyecto relacionando profusamente las fuentes con otras variables que puedan influir en sus características, como el entorno, el sustrato geológico, la cubierta vegetal y la actividad agrícola.

El desarrollo de este objetivo permitirá a los gestores del Parque Natural del Montseny crear estrategias para la conservación de los entornos fontinales, actualmente vulnerables debido a la hiperfrecuentación turística del Montseny, entre otros problemas.

3. LAS FUENTES DEL MONTSENY SUROESTE

En el plano titulado 'Fonts Montseny Sud-occidental', que puede consultarse en Internet (<https://tinyurl.com/4spj3cf5>), se pueden ver las fuentes visitadas para realizar el estudio, diferenciando entre las que ha sido viable tomar la muestra de agua (color azul), y aquellas en que esto ha sido imposible por estar la fuente seca (color negro) en el momento del trabajo de campo (noviembre-diciembre 2022). En dicho plano puede consultarse el municipio, las coordenadas, la altitud, la fecha de toma de muestra, el caudal y los resultados del análisis fisicoquímico de cada fuente.

Para tomar las muestras de agua de las fuentes se han utilizado botellines de 50 cL de agua mineral. Las botellas se enjuagaron tres veces con el agua de la fuente antes de tomar la muestra (**Figura 1**). Cada fuente con su nombre y el número de referencia se transportó el mismo día a Laboratori Clínic Prat, laboratorio encargado de la analítica, autorizado por la Dirección General de Salud Pública con el número LSAA-104-97. La determinación de pH, conductividad, alcalinidad y nitratos, se hizo dentro de las primeras 24 h y el resto de los parámetros en 4 días máximo. Dado que el estudio es una referencia para los minerales, esta metodología garantiza resultados correctos de las muestras. Para asegurar la calidad de los análisis, se participa en ejercicios de intercom-

paración de resultados, organizados por entidades acreditadas por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) como laboratorio de ensayo. Todos los resultados analíticos tuvieron un Z-score <2, satisfactorio (norma ISO 13528:2005). Los métodos analíticos utilizados y el Z-score pueden verse en la **Tabla 1**.

La calificación de las aguas se ha hecho usando el diagrama de Piper y el balance iónico se ha realizado para evaluar que el análisis se ha realizado correctamente. La interpretación de los resultados, dependiendo de la geología se ha hecho con mapas del Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya (ICGC).

4. RESULTADOS EN EL MONTSENY SUROESTE

El factor clave de la composición química de las aguas subterráneas es su capacidad para interactuar con la roca. La propiedad de disolver materiales se debe a su prolongado contacto con las formaciones geo-

lógicas a través de las cuales se desplaza, a la presencia de dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) disueltos en el agua, y a la lenta velocidad con que se mueven. Por esta razón son importantes tres valores:

- La litología de los materiales excavados por las aguas subterráneas.
- El grado de desarrollo y usos del suelo en la zona de carga y su interacción con la infiltración de agua.
- El tiempo que ha estado en contacto el agua con la formación geológica o, lo que es equivalente, la distancia de la zona donde el agua se ha infiltrado hasta el área de descarga.

El grado de mineralización del agua viene determinado por la concentración total de iones disueltos indicado, básicamente, por la conductividad eléctrica a 20°C y de forma individual por las concentraciones de los principales iones: HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺.

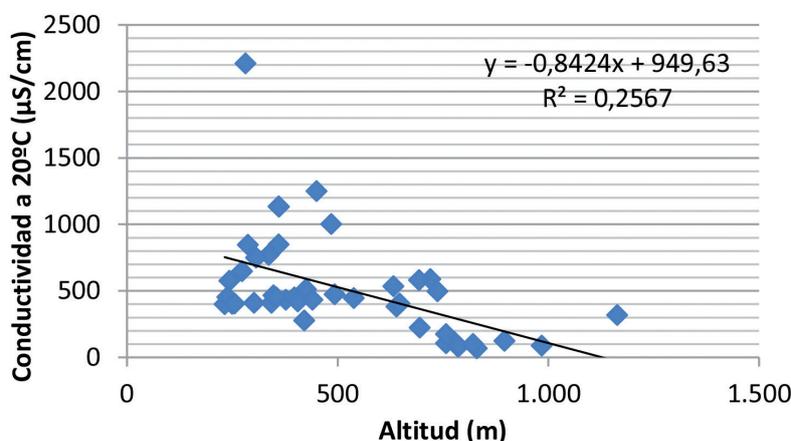
TABLA 1			
PARÁMETROS, MÉTODOS ANALÍTICOS UTILIZADOS Y Z-SCORE EN LOS EJERCICIOS DE INTERCOMPARACIÓN DE RESULTADOS.			
Parámetro	Método	Standard Methods	Z-score
pH	Electrometría	SM 4550 H+ B	0,57
Conductividad a 20°C	Electrometría	SM 2510 B	-0,10
Alcalinidad	Volumetría. Ácido-base	SM 2320 B	0,45
Cloruros	Volumetría. Argentometría	SM 4500-Cl ⁻ B	0,14
Sulfatos	Turbidimetría	SM 4500-SO ₄ ²⁻ E	0,87
Nitratos	Espectrofotometría UV	SM 4500-NO ₃ ⁻ B	-0,61
Dureza total	Volumetría. Complejometría	SM 2340C	-0,24
Calcio	Volumetría. Complejometría	SM 3500-CaD.	0,2
Magnesio	Cálculo	SM 3500-Mg E	-0,04
Sodio	Fotometría de llama	SM 3500-Na D	1,66
Potasio	Fotometría de llama	SM 3500-K D	1,74



TABLA 2

VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS Y PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS Y FUENTE (ALTITUD) DONDE SE ENCUENTRAN.					
Parámetro	Vmín	Fuente (altitud)	Vmáx	Fuente (altitud)	Promedio
pH (unid. pH)	6,25	Maurici (985)	8,92	Polell (776)	7,6
Conductividad (µS/cm)	69	Masjoan (831)	2.210	Canya (282)	497
Bicarbonatos (mg/L)	29,9	Cortès (788)	561,2	Canya (282)	214,0
Cloruros (mg/L)	5,3	Maurici (985)	325,5	Canya (282)	30,4
Sulfatos (mg/L)	0,6	Polell (776)	554,2	Doña Eulàlia (450)	68,8
Nitratos (mg/L)	0,0	Can Figuera (1.164)	108,2	Canya (282)	10,5
Dureza total (°TH)	1,5	Pou Calent (244)	85,1	Canya (282)	24,4
Calcio (mg/L)	4,8	Pou Calent (244)	229,2	Doña Eulàlia (450)	69,9
Magnesio (mg/L)	1,0	Pou Calent (244)	66,1	Degotalls (485)	16,8
Sodio (mg/L)	3,4	Remogent (421)	204,7	Canya (282)	22,9
Potasio (mg/L)	0,1	Masjoan (831)	9,4	Remogent (421)	2,4

FIGURA 2. Gráfico de correlación con la ecuación de la recta y valor R² de la conductividad a 20 °C y la altitud de la fuente. Factor de correlación $-0,5067$, $R^2 0,2567$ y $p < 0,0001$. Fuente: propia de los autores.



En la **Tabla 2** pueden observarse los valores máximos y mínimos de los parámetros analizados, y la fuente donde se produce (entre paréntesis su altitud), así como también el promedio de las 43 fuentes del parámetro analizado, mientras que en las figuras posteriores se puede apreciar la relación de los parámetros analizados más importantes, dependiendo de la altitud donde se ubique la fuente.

4.1. CAUDAL

Aunque se recogieron 43 muestras de agua, algunas fuentes estaban controladas por grifos u otros elementos que impidieron medir el caudal natural. El caudal medio de las 23 fuentes en que se pudo medir fue de 2,28 L/min. Hay que tener en cuenta que hay mucha variabilidad: fuentes con caudales mínimos, que goteaban (Doña Eulàlia 0,01 L/min y Degotalls 0,01 L/min) y otras fuen-

tes que eran relativamente abundosas (teniendo en cuenta la sequía persistente que en que está sumida Cataluña). El máximo caudal correspondió a la fuente Moner (8,57 L/min) y a la fuente de Vallfigueres (7,50 L/min). En el caso de fuentes con más de un caño, se han sumado los caudales de todos sus caños. No se estima un término municipal o zona con fuentes más caudalosas, ni tampoco una relación apreciable en función de la altitud de la fuente.

4.2. CONDUCTIVIDAD A 20 °C. MINERALIZACIÓN GLOBAL

Como se aprecia en la anterior **Tabla 2**, el manantial con más conductividad era la fuente de la Canya (2.210 µS/cm), seguido por la fuente de Doña Eulàlia (1.251 µS/cm) y la fuente Barraca Picapedra (1.133 µS/cm). Se manifiesta una relación lineal entre conductividad y la altitud de las fuentes: a altitudes más bajas, más conductividad, como puede verse en la **Figura 2** para el conjunto de fuentes analizadas.

4.3. DUREZA TOTAL

La dureza es el parámetro determinado que está relacionado con el contenido en disolución de cationes metálicos no alcalinos, básicamente alcalinotérreos, cationes calcio y magnesio. Como se ha visto en la **Tabla 2**, el manantial con mayor dureza es la fuente de la Canya (85,0 °TH), seguido de la fuente de Doña Eulàlia (82,0 °TH) y la fuente Degotalls (71,1 °TH). Se puede observar que existe una relación lineal entre las fuentes con aguas más duras y las que tienen mayor conductividad, como se muestra en la **Figura 3**, respecto a todas las fuentes analizadas.

4.4. NITRATOS

Los nitratos de origen natural presentes en las aguas de las fuentes tienen su origen en la oxidación bacteriana de la materia orgánica vegetal que existe en el suelo y raramente exceden de 10 mg/L. A partir de 10-15 mg/L se consideran de procedencia agraria. Según el RD 3/2023, cuando el valor es mayor de 50 mg/L el agua no es apta para consumo humano. Como se ha visto en la **Tabla 2**, el manantial con más nitratos es la fuente de la Canya (180,2 mg/L), seguido de las fuentes Roure Gros (98,6 mg/L), Escopeta (44,3 mg/L), Can Perera (37,1 mg/L) y fuente Gitanos (23,2 mg/L), todas ellas contaminadas por nitratos, y próximas a zonas de cultivo o de explotaciones ganaderas. Es importante tener en cuenta el valor de nitratos de la fuente de la Canya, ya que su alta concentración y fácil movilidad, lo que en principio puede ser una contaminación puntual, muy probablemente se puede convertir en difusa. Por el contrario, hay gran cantidad de fuentes con muy poca cantidad de nitratos, siempre por debajo de 10 mg/L.

FIGURA 3. Gráfico de correlación con la ecuación de la recta y valor R² de la conductividad a 20 °C y la dureza total del agua de la fuente. Factor de correlación 0,9289, R² 0,8629 y p < 0,0001. Fuente: propia de los autores.

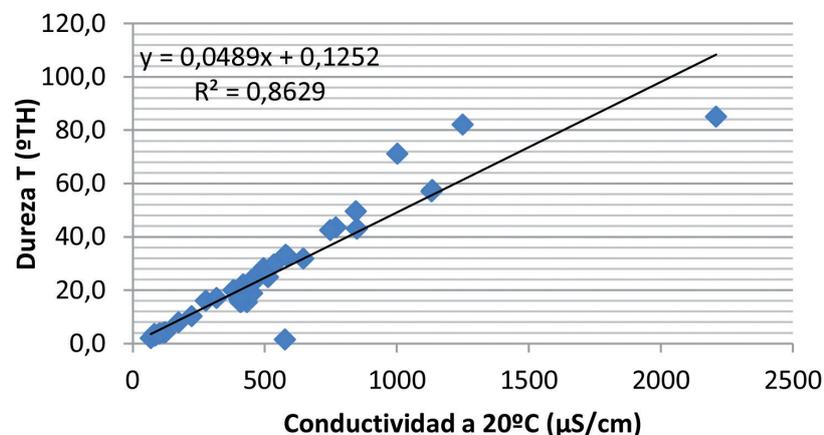


FIGURA 4. Gráfico de correlación con la ecuación de la recta y valor R² de la concentración de nitratos y la conductividad a 20 °C del agua de la fuente. Factor de correlación 0,6429, R² 0,4134 y p < 0,0001. Fuente: propia de los autores.

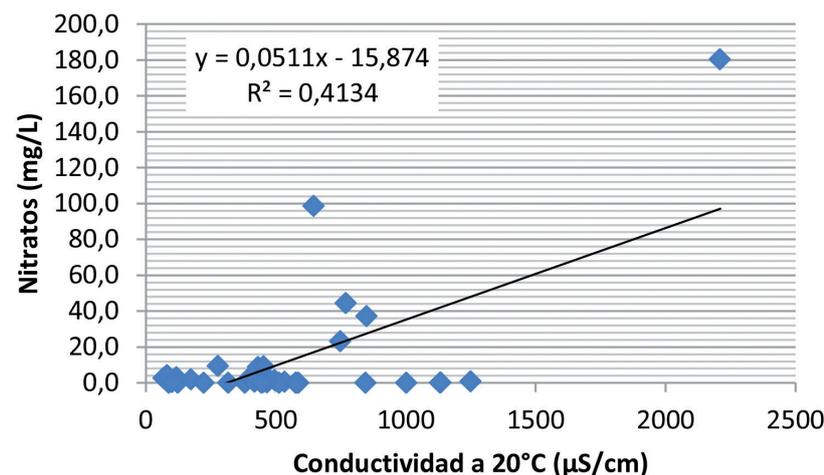
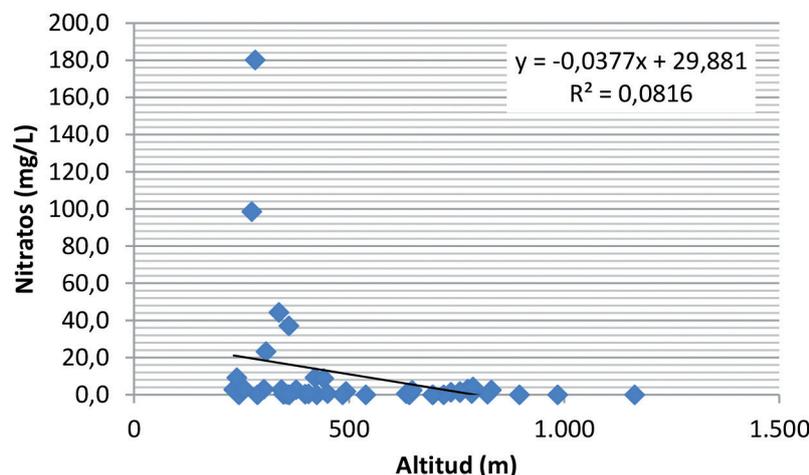


FIGURA 5. Gráfico de correlación con la ecuación de la recta y valor R² de la concentración de nitratos y la altitud de las fuentes. Factor de correlación -0,2857, R² 0,0816 y p 0,06. Fuente: propia de los autores.





Las relaciones más significativas de los nitratos se producen con la conductividad (**Figura 4**) y el contenido en cloruros, especialmente debido a la fuente de la Canya, y calcio. Es poco significativa la relación con la altitud (**Figura 5**).

4.5. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS. DIAGRAMAS DE PIPER

Los diagramas de Piper del agua de las fuentes del Montseny suroeste (**Figura 6**) definen que son mayoritariamente de composición mineral bicarbonatado-cálcicas, excepto la fuente de la Canya, con predominio, además, de iones sulfato y cloruro; las fuentes de Doña Eulàlia y Degotalls, que son de composición mineral sulfatado-cálcicas, seguramente porque han circulado por formaciones geológicas ricas en yesos de Keuper; y la fuente de Pou Calent que es de composición bicarbonatado-sódica, característica de las aguas hidrotermales del sistema geotérmico La Garriga-Samalús. Se

observa también que las fuentes de Pere Torn y Picapedra y las comentadas Doña Eulàlia y Degotalls, del municipio de Tagamanent, tienen valores relativamente altos de magnesio (>50 mg/L) y el cociente Ca/Mg menor que el resto de las fuentes. Asimismo, las fuentes del Ferro y Tosca del municipio de Sant Pere de Vilamajor tienen, proporcionalmente, un contenido alto de sulfatos. El error en el balance iónico en todas las muestras está entre +/-5%.

4.6. CORRELACIONES

Realizados todos los análisis de las fuentes del Montseny suroeste y su estudio, se demuestra una correlación significativa entre la altitud de la fuente, la mineralización del agua y algunos parámetros analizados (**Figura 7**). Las correlaciones más representativas se han marcado de color naranja, mientras que de color amarillo aquellas que también son relativamente significativas. El factor de correlación >0,8 entre iones y co-

lor naranja, confirma la composición mineral mayoritaria de las aguas del Montseny suroeste y en menor grado >0,7, los minerales mayoritarios en algunas fuentes ya detalladas.

5. COMPARATIVA FINAL DE RESULTADOS

Después de siete años de trabajo de campo, de laboratorio, de labor teórica y de publicaciones previas, se tiene por primera vez una radiografía completa de la mineralización de las aguas de la Reserva de la Biosfera del Montseny. Hay que tener en cuenta que la división del Montseny en cinco zonas geográficas (norte, oeste, este, sureste y suroeste) ha permitido un trabajo sistemático y continuado, pero que dichas zonas también se ha demostrado que no son homogéneas. También puede influir en esta comparación los diferentes regímenes pluviales que se han dado en estos siete años.

A pesar de estos condicionantes, que pueden influir en la compara-

FIGURA 6. Diagramas de Piper del agua de las fuentes del Montseny sureste. Fuente: propia de los autores.

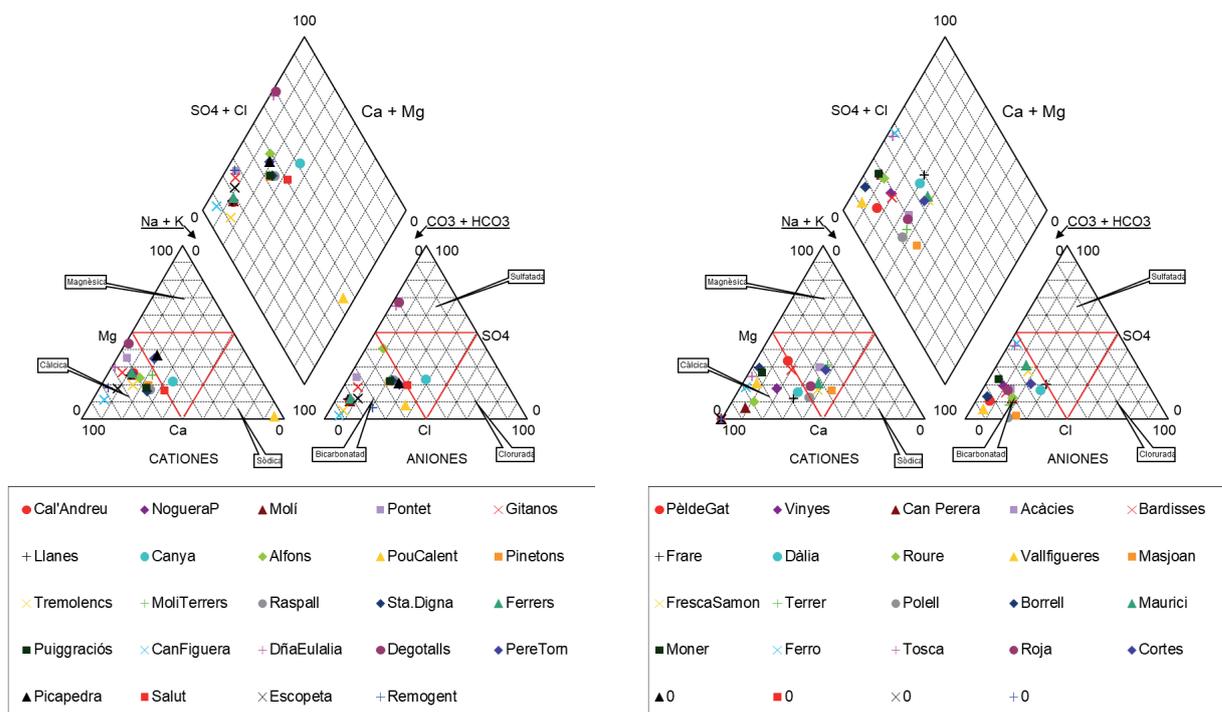


FIGURA 7. Factores de correlación entre la altitud y los parámetros analizados y entre ellos mismos (n = 43).

Fuente: propia de las autores.

	Altitud	pH	Cond	Bicarbonat	Cloruro	Sulfato	Nitrato	Dureza T	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio
Altitud		-0,4108	-0,5067	-0,5132	-0,3948	-0,2145	-0,2857	-0,4225	-0,4342	-0,3479	-0,4000	-0,5041
pH	-0,4108		0,1056	0,1268	0,0409	0,0404	-0,1515	0,0474	0,0426	0,0517	0,1656	0,2899
Cond	-0,5067	0,1056		0,8752	0,7948	0,6886	0,6429	0,9289	0,9092	0,8491	0,6724	0,5668
Bicarbonat	-0,5132	0,1268	0,8572		0,5464	0,4448	0,4395	0,8926	0,8637	0,7464	0,4044	0,4024
Cloruro	-0,3948	0,0409	0,7948	0,5464		0,2840	0,7405	0,5511	0,5159	0,5439	0,9116	0,5857
Sulfato	-0,2145	0,0404	0,6886	0,4448	0,2840		0,1843	0,8161	0,7615	0,8113	0,1886	0,4124
Nitrato	-0,2857	-0,1515	0,6429	0,4395	0,7405	0,1843		0,4586	0,5193	0,2950	0,6611	0,2370
Dureza T	-0,4225	0,0474	0,9289	0,8926	0,5511	0,8161	0,4586		0,9744	0,9211	0,3614	0,4929
Calcio	-0,4342	0,0426	0,9092	0,8637	0,5159	0,7615	0,5193	0,9744		0,8101	0,3265	0,4499
Magnesio	-0,3479	0,0517	0,8491	0,7464	0,5439	0,8113	0,2950	0,9211	0,8101		0,3781	0,5067
Sodio	-0,4000	0,1656	0,6724	0,4044	0,9116	0,1886	0,6611	0,3614	0,3265	0,3781		0,4680
Potasio	-0,5041	0,2899	0,5668	0,4024	0,5857	0,4124	0,2370	0,4929	0,4499	0,5067	0,4680	

ción final de resultados, todo aquello que ha estado en manos de los investigadores que suscriben este artículo se ha procurado que fuera lo más homogéneo posible. Así, se han recogido las muestras siempre durante el mismo período de final otoño - inicio invierno, se han seguido siempre las mismas metodologías de análisis, y se han llevado a cabo siempre en el mismo laboratorio, con el mismo personal.

Con este preámbulo se visualiza una primera comparación global de los resultados de conductividad, bicarbonato y calcio, iones mayoritarios en todas las zonas (**Figura 8**). También se comparan las medias de las cinco zonas geográficas del Montseny en cuanto a cloruro, sulfato, nitrato, dureza, magnesio, sodio y potasio, iones minoritarios pero significativos en algunos sectores (**Figura 9**). En estas figuras se puede ver que de las aguas que brollan de todas las fuentes del Montseny, las más mineralizadas corresponden a la zona geográfica oeste y suroeste. Las fuentes menos mineralizadas se encuentran en la zona norte y sureste del Montseny.

Las aguas de las fuentes de la zona este tienen una mineralización intermedia.

En la **Figura 10** se compara mineralización global valorada en conductividad con la altitud media de cada zona geográfica estudiada. Se aprecia que las zonas de más altitud media del Montseny, la norte y la sureste, de las cinco en que hemos dividido nuestro estudio, les corresponde la menor mineralización. En las otras tres zonas, de altitud similar, la diferencia del valor de conductividad entre ellas es mayor, aunque se comportan de una manera rela-

tivamente similar en cuanto a la relación entre altitud y mineralización global.

Si se hace el balance iónico valorado en meq/L de cada una de las diferentes zonas se obtienen las **Figuras 11 y 12**, en donde se observa una composición mayoritariamente bicarbonatado cálcica, en todos los casos, ligeramente magnésicas en el oeste y suroeste, y sódicas en el suroeste. Los iones bicarbonato, calcio y magnesio son los responsables de la mineralización de las aguas del oeste, la zona más mineralizada de la Reserva de la Biosfera del Montseny.

FIGURA 8. Comparación conductividad-bicarbonato-calcio entre los cinco ámbitos geográficos del Montseny. Fuente: propia de los autores.

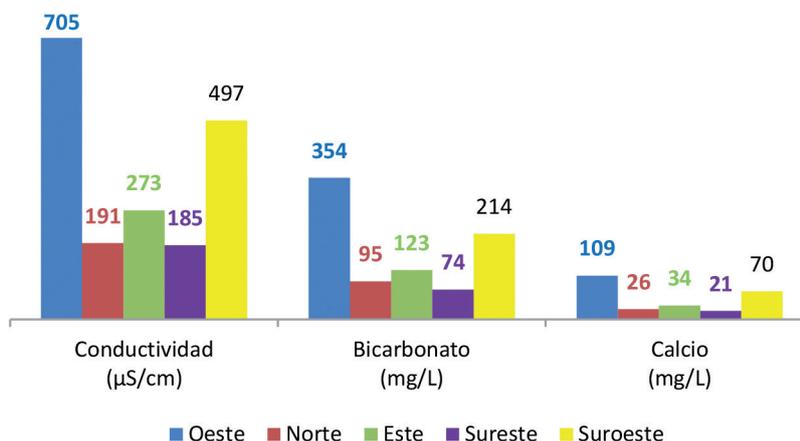
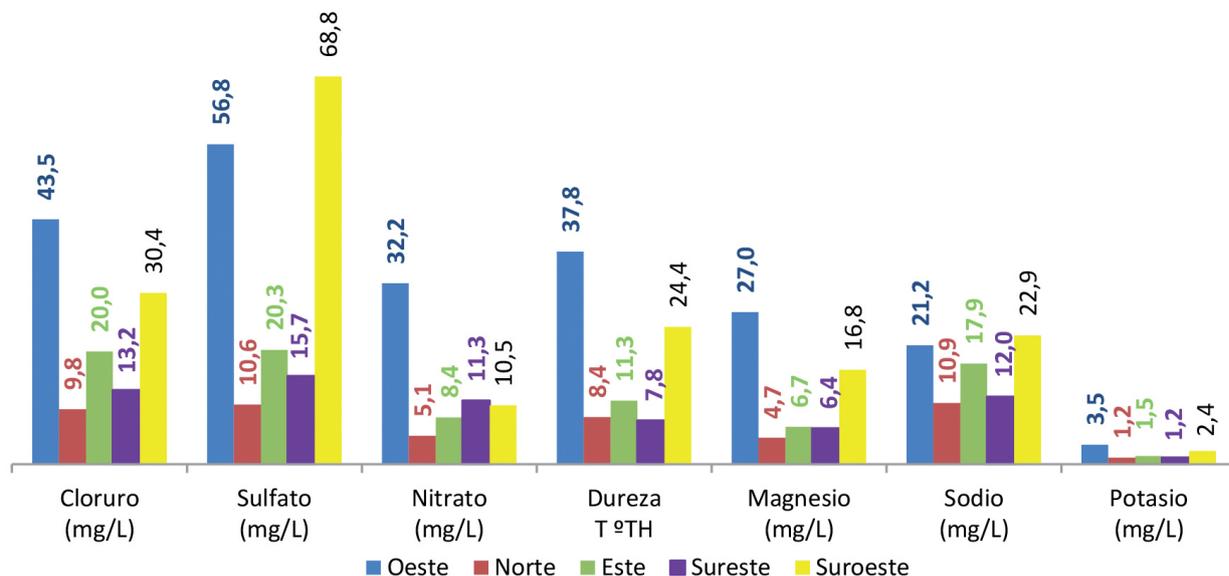




FIGURA 9. Comparación de cloruro, sulfato, nitrato, dureza, magnesio, sodio y potasio entre los cinco ámbitos geográficos del Montseny. Fuente: propia de los autores.



6. CONCLUSIONES

Después de siete años de trabajo de campo e investigación, después de centenares de kilómetros caminados por la Reserva de la Biosfera del Montseny, de buscar un sin número de fuentes, de casi 3.000 análisis llevados a cabo en el laboratorio, y de decenas de publicaciones en artículos y congresos, siete años después, se han conseguido los objetivos planteados desde un inicio en cuanto a analizar y catalogar el agua de las fuentes del Montseny. A lo largo del proyecto se han tomado decisiones para conseguir que los resultados fueran lo más comparables posibles, repitiendo metodologías, la época de la recolección de muestras, etc.

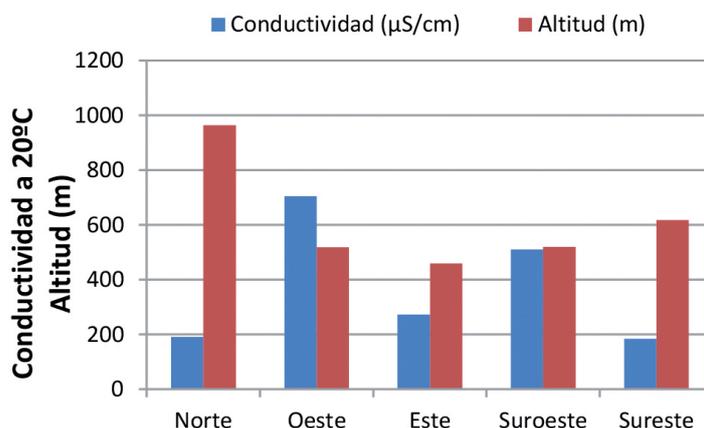
Es posible concluir que existe una clara polarización mineralógica en las aguas de las fuentes del Montseny en cuanto a las cinco zonas geográficas en que se ha dividido el macizo. Se puede afirmar que la altitud de la fuente tiene una relación inversamente proporcional con la mineralización de su agua, en ámbitos norte, este y sureste.

En las zonas suroeste y, sobre todo, oeste, dicha correlación es mucho menor. El grado de mineralización también es diferente en función de la litología drenada: menor en granitos, y mayor en calizas. Todas las zonas geográficas del Montseny son mayoritariamente de composición bicarbonatado-cálcicas, pero las del oeste y suroeste son, además, ligeramente sulfatadas, magnésicas y sódicas. Estos cuatro iones mayoritarios son los responsables del aumento de mineralización de las aguas

del oeste. En el mapa consultable en <https://tinyurl.com/2v6s7urx>, se puede observar la situación de la fuente en cada uno de los intervalos de conductividad.

Las fuentes del Montseny están, generalmente, libres de nitratos. En el este, sureste y suroeste existen algunas fuentes con valores altos, superiores a 50 mg/L, en las zonas de menor altitud de cada una de estos ámbitos geográficos. Las aguas de las fuentes de la zona oeste del Montseny presentan alteraciones

FIGURA 10. Comparación conductividad-altitud entre los cinco ámbitos geográficos del Montseny. Unidades en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductividad) y m (altitud), ambas en columna de la izquierda. Fuente: propia de los autores.



considerables de la concentración natural de nitratos en más de una tercera parte de sus fuentes. La localización puntual de las fuentes contaminadas por nitratos, junto con un control exhaustivo de la fertilización de los cultivos y con perímetros de protección, facilitarían la recuperación de la calidad del agua de las fuentes contaminadas. En el mapa consultable en <https://tinyurl.com/5n97sxml>, se puede observar la situación de la fuente en cada uno de los intervalos de concentración de nitratos.

Los resultados obtenidos por el proyecto 'Fonts del Montseny' han de ayudar a los gestores de la Reserva de la Biosfera Parque Natural del Montseny, junto con otros estudios, a la toma de decisiones adecuadas para proteger las fuentes como el elemento del patrimonio cultural, histórico, social y natural que son en el territorio del Montseny. A la vez, se tendrá una base de datos de conductividad y valores de nitratos, parámetros indicadores de la calidad del agua subterránea según la Directiva Marco del Agua y que servirán, en el futuro, para detectar posibles alteraciones en su composición natural.

Estos siete años de investigación suponen un punto final en esta primera fase de estudio, pero se abren nuevos retos respecto a las fuentes del Montseny. ¿Es necesario repetir los análisis siete años después para comprobar si los resultados mineralógicos se mantienen? ¿En qué cuantía influye la sequía en la caracterización mineralógica de las aguas de las fuentes? ¿Nuevas actuaciones, infraestructuras construidas, industrias envasadoras de agua y otras modificaciones del paisaje, suponen una amenaza para las fuentes del Montseny?

FIGURA 11. Comparación y contenido en meq/L de cada uno de los iones de las aguas de los cinco ámbitos geográficos del Montseny. Fuente: propia de los autores.

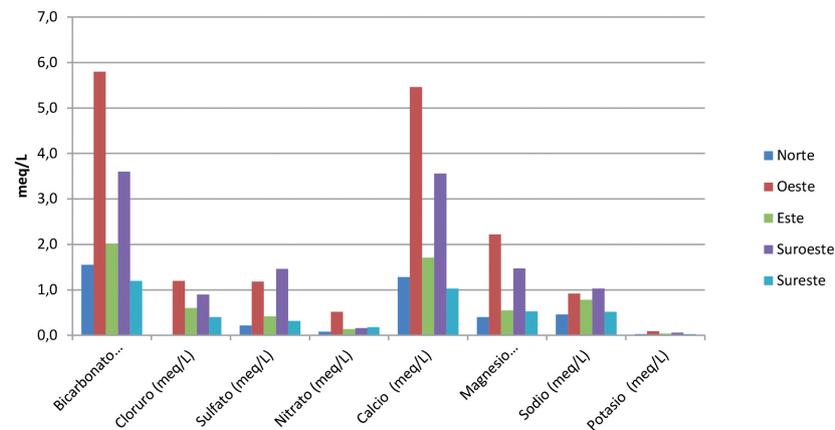
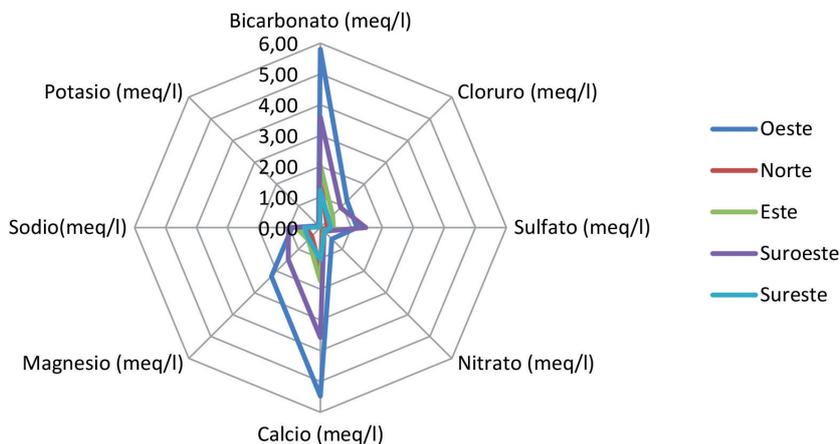


FIGURA 12. Comparación y contenido en meq/L de cada uno de los iones de las aguas de los cinco ámbitos geográficos del Montseny. Fuente: propia de los autores.



Bibliografía

[1] Carmona, J.M.; Font, X.; Bisbal, E.; Casas, A. (1999). Característiques hidrogeològiques de les aigües subterrànies i superficials del Montseny. III Trobada d'Estudiosos del Montseny, págs. 99-106. Monografies del Servei de Parcs Naturals, 27. Diputació de Barcelona.

[2] Farrerons, O. (2020). Las fuentes del Montseny: memoria de un rico patrimonio material e inmaterial. Agua y Territorio, núm. 16, págs. 119-130. <http://hdl.handle.net/2117/334465>.

[3] Farrerons, O.; Prat, F. (2017). Anàlisi mineralògica de les fonts del Montseny nord. AUSA, núm. 1178, págs.693-719. <http://hdl.handle.net/2117/107158>.

[4] Farrerons, O.; Prat, F. (2018). Anàlisi mineralògica de les fonts del Montseny oest i l'alt Congost. AUSA, núm. 180, págs.533-555. <http://hdl.handle.net/2117/123051>.

[5] Farrerons, O.; Prat, F. (2020a). Conocimiento científico del agua de las fuentes del Montseny, herramienta de conservación de sus ecosistemas fontinales. XI Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. <http://hdl.handle.net/2117/328942>.

[6] Farrerons, O.; Prat, F. (2020b). Comparativa hidromineralògica d'aigües de fonts de tres zones geogràfiques del Montseny. AUSA, núm. 183, págs.153-168. <http://hdl.handle.net/2117/178733>.

[7] Farrerons, O.; Prat, F. (2022). Les fonts del Montseny sud-oriental: estudi teòric i evidència empírica. Ponències, revista del Centre d'Estudis de Granollers, núm. 26, págs. 151-176.

[8] Prat, F.; Farrerons, O. (2017). Anàlisi de paràmetres fisicoquímics de aigües de 100 fonts naturals del Montseny nord. Tecnoaqua, núm. 25, págs. 36-45. <http://hdl.handle.net/2117/107655>.

[9] Prat, F.; Farrerons, O. (2018). Paràmetres fisicoquímics de las aguas de 48 fuentes naturales del Montseny oeste - Alto Congost y su comparación con las aguas del Montseny norte. Tecnoaqua, núm. 31, págs. 52-59. <http://hdl.handle.net/2117/119313>.

[10] Prat, F.; Farrerons, O. (2019). Aguas del norte, poniente y levante del Montseny, tres zonas geográficas diferentes de la Reserva de la Biosfera de comportamiento fisicoquímico desigual de sus fuentes. Tecnoaqua, núm. 37, págs 60-66. <http://hdl.handle.net/2117/331133>.

[11] Prat, F.; Farrerons, O. (2022). Calidad mineral de las fuentes del sureste de la Reserva de la Biosfera del Montseny. Tecnoaqua, núm. 56, págs. 64-73. <http://hdl.handle.net/2117/376149>.

[12] Prat, F.; Farrerons, O. (2023). Mineralització fonts del Montseny. Intervals de conductivitat fonts Montseny. <https://tinyurl.com/2v6s7urx>.

[13] Prat, F.; Farrerons, O. (2023). Fonts del Montseny. Nitrats. <https://tinyurl.com/5n97sxml>.