

Calidad del agua subterránea en la zona de influencia del municipio de Montánchez

Informe Final

Madrid 09 de abril de 2015

Equipo de trabajo

En la elaboración de este informe ha participado el siguiente equipo de trabajo:

Luis Moreno Merino
Samuel Rodríguez Moronta
Amalia Romero Prados
Almudena de la Losa Román
Emilia Jiménez Hernández
Javier Heredia Díaz

Índice

1. Introducción: Descripción del territorio y del problema.	9
2. Justificación y objetivos	11
3. Materiales y métodos	12
4. Resultados y Discusión	16
5. Recomendaciones y Conclusiones.	26
Bibliografía:	28
ANEXOS	29

Resumen:

En este trabajo se estudian las características químicas y físico-químicas de las aguas subterráneas en el entorno de la población cacereña de Montánchez y la posible influencia del núcleo de población sobre la calidad del agua. El estudio se divide en varios apartados que se complementan: hidroquímica, ensayos de trazadores, cálculo de recarga. Los resultados han probado la insuficiente calidad de las aguas aún de forma natural, la contaminación antrópica de diversos puntos, y han descartado la conexión entre la red de aguas fecales y las fuentes para un tiempo de tránsito corto (26 horas), dejando abiertas otras posibilidades para su estudio posterior.

1. Introducción, descripción del territorio y del problema.

Los acuíferos desarrollados sobre formaciones graníticas son especialmente vulnerables a la contaminación inducida por la actividad antrópica. La falta de suelos desarrollados, la circulación a través de fisuras y los niveles piezométricos someros comunes en este tipo de formaciones facilita el acceso de la contaminación a la circulación general e impiden en general, un proceso de autodepuración tan eficaz como en formaciones detríticas.

En este contexto se presenta el presente trabajo de prospección hidrogeológica e hidroquímica que ha servido para caracterizar las aguas subterráneas en el entorno de la población de Montánchez (Cáceres) y analizar la posible influencia de la población sobre las mimas.



Figura 1. Vista general de la población de Montánchez y de su entorno.

Aspectos Socio-económicos

La zona de estudio se ha restringido al municipio de Montánchez (Cáceres). Con una población (INE, 2014) de 1839 personas destaca por su influencia comercial pues se contabilizan en el mismo (INE 2014) 118 empresas registradas. La actividad predominante es la relacionada con el sector primario (ganadería), siendo la actividad hortícola, en su mayor parte destinada a abastecimiento propio. Entre las razas de

ganado bovino más utilizadas en la zona destaca la “Retinta” autóctona de las dehesas próximas. Otras razas habituales son la “charolesa” y la “limoussin”. Dentro del ganado ovino, la oveja merina es la que tiene mayor tradición e importancia, si bien es cierto que en el municipio de Montánchez la ganadería ovina ha dejado paso al bovino, algo habitual en zonas rurales de características similares. Completan la actividad la cría del cerdo, tanto para la explotación industrial como para el autoconsumo. Abunda además el ganado equino, (230 cabezas) siendo muy común el burro. Zona clave en la transhumancia en épocas pasadas, todavía se puede observar cordeles y cañadas, la más destacada por su importancia es la vereda real de Trujillo.

Montánchez cuenta con reconocido prestigio en la elaboración de jamones y cuenta con varias fábricas y empresas dedicadas a ello de forma industrial.

Resalta su atractivo turístico, contando con numerosas casas rurales, restaurantes y lugares de venta de productos gastronómicos típicos. Culpa de este éxito la tiene en parte su patrimonio cultural, en la zona los primeros asentamientos se remontan a la edad del bronce, si bien el valor patrimonial más importante es su castillo de origen árabe, y que da nombre a la patrona de la localidad.

Geología

El municipio se encuentra enclavado sobre los batolitos de Montánchez y Albalá, formados por granitos de la serie alcalina (granitos de dos micas ricos en cuarzo) que instruyen discordantemente en las pizarras grauvacas precámbricas (MAGNA hoja 729; 12-29). El granito de dos micas rico en cuarzo, constituye el relieve más acusado del batolito, estando en contacto mecánico con las cuarzodioritas y pasando gradualmente al granito porfídico, da un berrocal de grandes bloques de forma irregular. El tamaño de grano va de medio a grueso, con gran abundancia de cuarzo de forma redondeada, presenta un tamaño menor de 1 cm. En las zonas de máxima deformación llega a tomar aspecto de gneis glandular leucocrático como ocurre por ejemplo, en el pico de Montánchez

Desde el punto de vista minero la característica más interesante son los yacimientos de wolframio y de estaño, de pequeño tamaño y gran riqueza, de forma muy similar a otras zonas pertenecientes al macizo hespérico como son Galicia y el oeste de Castilla y León.

Flora y Fauna

Montánchez no cuenta con ninguna figura de protección específica aplicada al territorio, el LIC-ZEPA más cercano lo encontramos a unos 20 km al sur, el parque natural de Cornalvo y Sierra Bermeja. Este parque está conectado con la zona de estudio, puesto que el río Aljucén, que nace en la serranía de Montánchez, discurre y atraviesa el espacio protegido. Hacia el noroeste la sierra de Montánchez se une a la de Santa Cruz y ésta a su vez a la de Guadalupe, por tanto habría un amplio territorio

con diversos hábitats, pero con características climáticas, geológicas, de altitud y un tipo de vegetación similar, que puede considerarse como un único espacio conectado.

El parque natural de Cornalvo y Sierra Bermeja, única zona con categorías de protección de la zona, cuenta con los siguientes hábitats prioritarios:

- 6220 Zonas subestépicas de gramíneas y anuales (Thero-Brachypodietea)
- 6310 De *Quercus suber* y/o *Quercus ilex*
- 91B0 Bosques de fresnos con *Fraxinus angustifolia*
- 9330 Bosques de *Quercus suber*

Sin olvidar que en la serranía de Montánchez hay formaciones boscosas de *Castanea sativa* (Castaño)

En cuanto a especies de especial interés en su conservación cabe destacar, mamíferos como *Lutra lutra* (Nutria), aves como *Ciconia nigra* (Cigüeña Negra) por su valor, *Milvus milvus* (Milano negro), *Milvus migrans* (Milano real), *Burhinus oedipnemus*, Alcaraván por su relativa abundancia, especies de peces como *Anaocypris hispánica* (Jarabugo) por ser una especie endémica de la cuenca del Guadiana y encontrarse en peligro de extinción. (Gobierno Extremadura, 2005, <http://extremambiente.gobex.es/pdf/ES0000069.pdf>)

2. Justificación y objetivos

La zona del municipio de Montánchez presenta unas características geológicas que la hacen especialmente sensible a la contaminación de sus aguas superficiales y subterráneas. La geología dominante son granitos notablemente fisurados y los suelos están muy poco desarrollados. Las actividades que pueden generar un impacto negativo son tanto la agrícola-ganadera como el propio casco urbano.

Se propone pues caracterizar las aguas naturales en el entorno de la población, y en sus inmediaciones y cuantificar de esta forma el grado de influencia de la misma sobre las aguas subterráneas. El problema se aborda desde varias perspectivas: mediante un ensayo de trazadores que permita confirmar la conexión entre red de alcantarillado y aguas subterráneas. Mediante un estudio hidroquímico de las aguas subterráneas para detectar indicadores de contaminación. Por último a través de un estudio conceptual y de balance hídrico.

Se ha prestado una especial atención a dos fuentes (Fontano y Fuente Nueva). Sobre ellas se ha realizado el ensayo de trazadores, pues se considera que son las que con mayor probabilidad, dada su posición topográfica, drenando el área de influencia de la población, pueden estar afectadas por la misma.

3. Materiales y métodos

Inventario y puntos de muestreo

La elección de los puntos de muestreo (figura 2 y tabla 1) se ha hecho principalmente intentando representar la zona de influencia de la población y otros puntos lejanos que puedan servir como referencia. Se ha procurado muestrear puntos bien conocidos por los vecinos, (alguno de ellos documentados en escritos antiguos), pues esto permite tener información sobre caudales y uso de las fuentes. Se hace especial hincapié en los puntos Fontano (1) y Fuente Nueva (2) por ser puntos de drenaje de la mayor parte del área urbanizada.

En la figura 2 se muestra un plano de situación de los puntos muestreados. Como se puede observar, Montánchez se sitúa en el límite entre la cuenca hidrográfica del Tajo al norte, y la cuenca hidrográfica del Guadiana, al Sur. El punto 5 (Santa Cruz), y todos los que están al norte (7,10,11,13) del mismo son fuentes pertenecientes al C.H.Tajo, hecho meramente administrativo pues todas se sitúan sobre el mismo acuífero. En la tabla 1 se incluye su número identificativo, nombre y coordenadas geográficas.

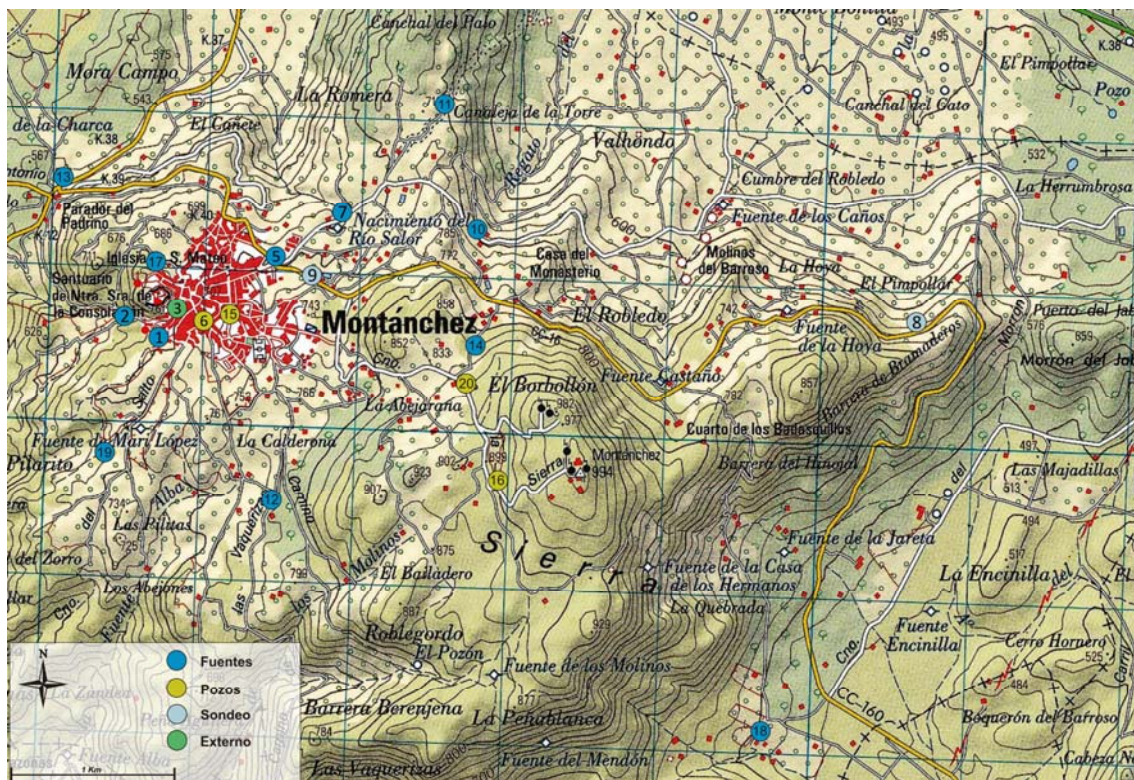


Figura 2. Situación de los puntos de muestreo.

Número	Nombre	Coordenada X	Coordenada Y
1	Fontano	745.546	4.345.436
2	Fuente Nueva	745.316	4.345.497
3	Grifo (Casa Rural)	745.712	4.4345513
5	Santa Cruz	746.283	4345.856
6	Pozo Carpio	745.812	4.345.363
7	Salor	746.719	4.346.106
8	El Morrón	751.074	4.345.843
9	Pozo Tío Padrino	746.642	4.345.758
10	Pilarito de Robledo	747.685	4.346.007
11	La Canaleja	747.454	4.347.027
12	Fuente de los Perros	746.161	4.344.386
13	Fuente El Corcho	745.014	4.346.241
14	Fuente Bañez	747.602	4.345.274
15	Pozo Granadilla Alta	745.941	4.345.395
16	El Borbollón	747.854	4.344.495
17	Fontanita	745.760	4.345.987
18	El Fontarrón	749.516	4.342.870
19	Fuente Mari López	745.409	4.344.632
20	Nacimiento Aljucén	747.591	4.345.048

Tabla 1 Inventario de Puntos de Muestreo

Toma de muestras y transporte.

Las muestras se han tomado en botellas de polietileno translúcido de 1L de capacidad y han sido almacenadas y transportadas refrigeradas a 4°C hasta su llegada al laboratorio. En campo se han rellenado las fichas de inventario de puntos de agua correspondientes que se pueden encontrar en la base de datos AGUAS. Además se han determinado parámetros inestables: pH, conductividad eléctrica y temperatura, con un medidor portátil, modelo HQ30d de Hach-Lange equipado con sondas de pH y C.E. Ambas cuentan con un sensor de temperatura incorporado con un error de $\pm 0.3^\circ\text{C}$. Cuando ha sido posible se han aforado las fuentes, y se ha medido el nivel de pozos y sondeos.

Climatología y estimación de la recarga en la zona de alimentación del Fontano y Fuente Nueva

Como se ha comentado, las fuentes del Fontano (1) y Fuente Nueva (2) drenan directamente la población y son candidatas a mostrar mayor impacto. Es por eso que se ha realizado una estimación de su zona de recarga y calculado un balance hídrico basado en datos de pluviometría y evapotranspiración proporcionados por la Agencia Española de Meteorología (AEMET). Como estación de referencia se ha empleado la de Alcúscar, pues es la más próxima al lugar de estudio (unos 8 km), la altitud es similar, y tiene datos completos de ETP, Temperatura y Pluviosidad. La cuenca de

drenaje se ha delimitado mediante la herramienta SIGPAC (Sistema de Información Geográfica Parcelas Agrícolas). En los cálculos se ha asumido que el caudal aforado es constante a lo largo del año, esta asunción está soportada por los datos proporcionados por los lugareños que indican que se trata de fuentes con un caudal poco variable. Se asume además que todo el caudal es drenado en dos puntos singulares (Fontano y Fuente Nueva). El balance se ha calculado como la diferencia entre la precipitación y la suma de escorrentía, Evapotranspiración Potencial e infiltración.

La escorrentía se ha calculado mediante coeficientes empíricos y de la superficie de drenaje (ver en el apartado de resultados). Por último la ETP se ha obtenido de la AEMET (método de Penman).

Se ha considerado un almacenamiento despreciable, ya que es una zona con suelos sin desarrollar, roca desnuda y en la zona urbana está pavimentada.

Ensayo de trazadores

En la figura 3 se muestra la situación de los puntos de inyección y muestreo del trazador. Este ensayo permitirá establecer si existe conexión entre la red de alcantarillado y las fuentes del Fontano (1) y Fuente Nueva (2). Si esta conexión existe debería detectarse en las fuentes el trazador introducido en la red de saneamiento un tiempo después de su inyección.



Figura 3 Localización del punto de inyección del trazador y control.

Elección del trazador, Cantidad e Inyección en la red

El trazador elegido es la Fluoresceína Sódica. Según Käss, W. (1998) presenta varias características que lo hacen ideal en este tipo de aplicaciones: se disuelve fácilmente

en agua, tiene un tiempo de tránsito similar al del agua, es estable en el medio subterráneo y es muy seguro toxicológicamente.

Se ha inyectado 5 g disueltos en 5 litros de agua. La detección se ha hecho mediante dos técnicas: por una lado muestreo continuo mediante un fluorímetro (GGUN Fluorometer, marca Albillia) cuyo límite de detección inferior es cercano a los 2×10^{-11} g/ml. Antes, durante y después del muestreo en continuo se ha realizado un muestreo pasivo en el que se han empleado fluorocaptos de carbón activo. En la tabla 2 se ordenan los fluorocaptos de campo utilizados y los controles, tanto para el muestreo como para su posterior extracción.

<i>Muestra</i>	<i>Descripción</i>
P1C	Extracto a partir del carbón activo del fluocaptor P1C
P2C	Extracto a partir del carbón activo del fluocaptor P2C
P1E	Extracto a partir del carbón activo del fluocaptor P1E
P2E	Extracto a partir del carbón activo del fluocaptor P2E
CC0	Extracto a partir del carbón activo del fluocaptor control sumergido en agua
CCF	Extracto a partir del carbón activo del fluocaptor control sumergido en disolución acuosa de fluoresceína
Cbolsa	Extracto a partir de la bolsa de filtro con algas del fluocaptor P1E
Eluyente	Disolución de isopropanol empleada en las extracciones.
CUAgua	Disolución de fluoresceína en agua empleada en la preparación del control CCF.

Tabla 2 Listado de fluorocaptos de campo y controles.

Los fluorocaptos se instalan el día 14/10/2014 a las 6:00 p.m. P1C y P2C y se retiran a las 6:02 a.m. del día 15/10/2014 coincidiendo con el día de la inyección del trazador en la red. P1E y P2E se colocan, de inmediato y antes de la inyección del trazador, (fluoresceína) con el fin de abarcar más tiempo el estudio sobre los dos puntos de medida, se retiran el día 16/10/2014. Una vez retirados de las fuentes se introducen en sendas bolsas de plástico y se congelan.

La inyección del trazador se realizó el día 15/10/2014, en el punto 3 (Casa Rural) a las 6:45 a.m. El aparato de medida en continuo (GGUN fluorometer) se instaló en la fuente 2 (Fuente Nueva), el día 15/10/2014 a las 6:27 a.m. y se retira el día 16/10/2014 a las 8:51 a.m. Se programó el fluorímetro con una frecuencia de medida de 1 minuto.

Extracción fluoresceína

El trazador se extrajo de los fluorocaptos mediante isopropanol siguiendo el método de Aley, T (2002). La medición se hizo mediante un fluorímetro Gildens Photonics fluorosens, con lámpara de Xenon.

Técnicas analíticas:

Espectrometría de Emisión Atómica: K⁺, Na⁺.

Metales mediante ICP-AES (espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción): Al, Sb, As, Ba, Be, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb, Se, V, Zn

Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo Continuo: Cl^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , Mg_2^+ , SiO_2 , SO_4^{2-} , Ca^{2+} .

Electrometría PTE-AG-001: Conductividad

Electrometría PTE-AG-002: pH

Ebullición en medio ácido y valoración con permanganato potásico: Oxidabilidad

TC/TN: Carbono total/Carbono Orgánico se ha calculado transformando el carbono total (medido realmente) en carbono orgánico, mediante la resta el carbono inorgánico (tabla anexo II)

Resultados y Discusión

Climatología y estimación de la recarga en la zona de alimentación del Fontano y Fuente Nueva.

En la tabla 3 se presenta el cálculo del balance hídrico mediante el método de la ficha hídrica (este método no tiene en cuenta la escorrentía superficial). Se obtiene un valor de infiltración del 29,07 % del agua precipitada ($194388,7 \text{ m}^3/\text{año}$).

	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	AÑO
Temperatura (°C)	22,1	17,0	10,9	8,3	7,7	9,9	12,3	14,1	17,5	23,1	25,6	25,5	16,2
Precipitación (mm)	39,6	107,4	90,3	104,5	80,7	70,9	81,0	58,4	46,9	19,6	4,0	6,7	709,9
ETP (mm)	125,6	75,7	39,5	27,3	29,5	42,6	78,9	101,7	142,5	179,7	207,1	188,6	1238,6
Variación de la reserva (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva sin corregir (mm)	0,0	31,7	50,8	77,1	51,3	28,3	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Reserva (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ETA (mm)	39,6	75,7	39,5	27,3	29,5	42,6	78,9	58,4	46,9	19,6	4,0	6,7	468,5
Desagüe (mm)	0,0	31,7	50,8	77,1	51,3	28,3	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	241,3
Coficiente de humedad	-0,7	0,4	1,3	2,8	1,7	0,7	0,0	-0,4	-0,7	-0,9	-1,0	-1,0	-0,4
% Desgüe													34,0

Tabla 3 Cálculo del balance de agua en el suelo mediante el método de la ficha hídrica.

El aforo de la fuente del Fontano fue de 0,053 L/s y fuente nueva 0,123 L/s, en total $5550,3 \text{ m}^3/\text{año}$.

Se presentan (tabla 4) el resto de los datos necesarios para el cálculo del balance de agua (Temperatura media, precipitación y escorrentía).

	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	AÑO
Temperatura (°C)	22,1	17,0	10,9	8,3	7,7	9,9	12,3	14,1	17,5	23,1	25,6	25,5	16,2
Precipitación (mm)	39,6	107,4	90,3	104,5	80,7	70,9	81,0	58,4	46,9	19,6	4,0	6,7	709,9
ETP (mm)	125,6	75,7	39,5	27,3	29,5	42,6	78,9	101,7	142,5	179,7	207,1	188,6	1238,6

Tabla 4 Temperatura, precipitación y ETP medias, por meses y valor anual

La precipitación se agrupa mayoritariamente en los meses de otoño e invierno. La pluviosidad anual media es 709 mm. La temperatura media es de 16 °C, siendo el mes

más frío Enero (7,7°C de media) y el más cálido Julio. (25,63°C de media). La diferencia entre precipitación 709 mm/año y ETP 1238,6 mm/año, y la desigual distribución de precipitaciones provoca que haya muchos meses sin recarga.

En el cálculo del balance la escorrentía superficial resulta ser muy relevante en esta zona debido a las grandes pendientes, el nulo desarrollo de suelo, la gran cantidad de roca desnuda y el suelo urbano pavimentado. El área se ha dividido en tres sectores, en función de las pendientes medias y del tipo de suelo o pavimento. En la figura 4 se muestra la zonificación sobre la que se ha basado el cálculo de la escorrentía, en ella se ha tenido en cuenta, tanto la cobertura del suelo, como la pendiente.

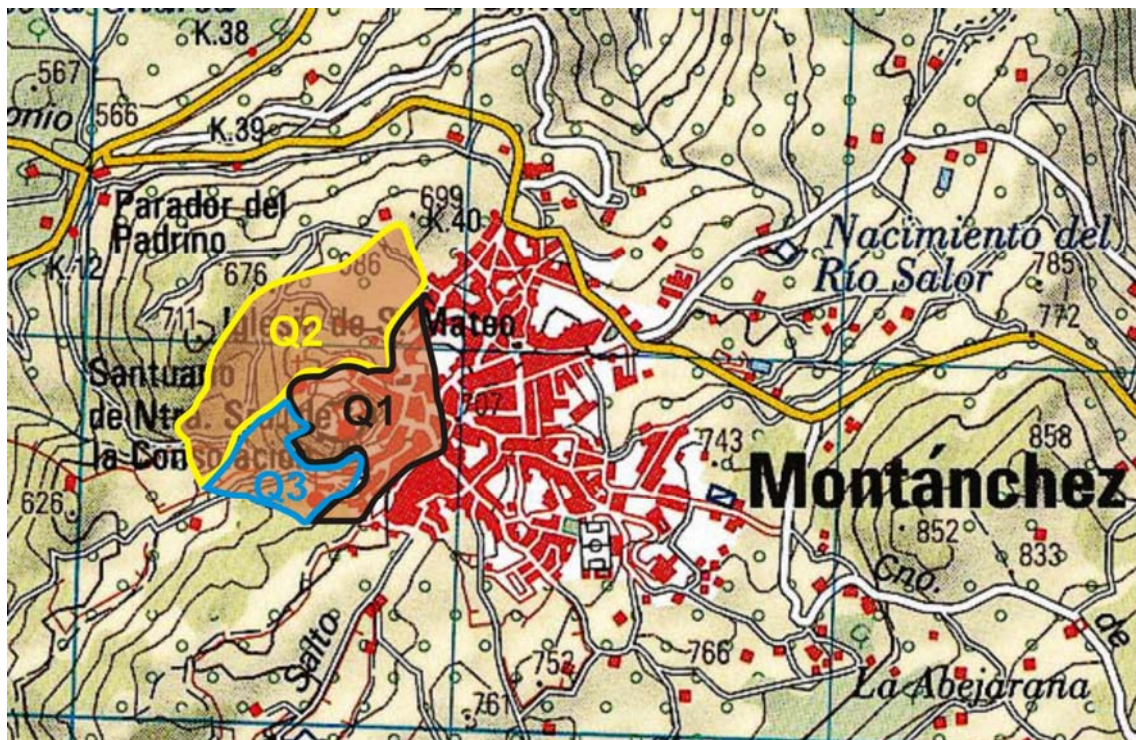


Figura 4 Zonificación empleada en el cálculo de la escorrentía

De forma resumida las zonas identificadas han sido: **Zona 1** (11 Ha, 40,23% del total), es la zona del casco urbano (Coef: 0,70 Aparicio, 1999), la **Zona 2** (12,84 Ha, 46,96% del total) que es de pendiente moderada (Coef. 0,45 Benítez et al 1980), y la **Zona 3** (3,5 Ha, 12,81% del total) con una fuerte pendiente, (Coef 0,70 Benítez et al 1980). En total el área ocupa 27,34 (Zona 1 = 54546 m³; Zona 2 = 40909 m³; Zona 3 = 17368 m³).

En la tabla 5 se resumen los datos de cálculo de escorrentía superficial. Se pueden observar que solo hay recarga los meses (Diciembre y Enero) en los que la precipitación es mayor que la ETP + escorrentía.

Unidades (m ³)	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Precipitación	10832	29422	24733	28603	22099	19410	22171	15997	12840	5371	1089	1823	194389
ETP	34381	20738	10812	7481	8065	11664	21594	27851	39031	49214	56714	51646	339190
Escorrentía	6298	17106	14380	16630	12848	11285	12890	9301	7465	3123	633	1060	113018
Infiltración	0	0	0	4492	1186	0	0	0	0	0	0	0	5678

Tabla 5 Tabla de cálculo con resultado de infiltración (en m3) por meses

La infiltración calculada de 5678 m³ anuales. Este valor es del orden de 10 veces menor, que el modelo clásico para cultivos (que no tiene en cuenta la escorrentía superficial).

El caudal de las dos fuentes, únicas salidas visibles de agua subterránea, suman 5550 m³ al año, los términos de infiltración calculados por el segundo método resultan ser muy similares 5678 m³ al año, por lo que parece que las fuentes drenan la casi totalidad del agua infiltrada. Hay que tener en cuenta los errores y que el cálculo se hace a partir de un aforo medido en aguas bajas, pero hay que destacar que el conocimiento popular de la dinámica de las fuentes habla de un comportamiento muy estable a lo largo del año.

Ensayo de trazadores

Tras la inyección en la red de saneamiento, se monitoriza en el río Aljucén (al que se vierten las aguas de saneamiento de la población) la llegada del trazador. En la tabla 6 se presenta el cronograma de inyección del trazador:

6:45 a.m.	Inyección del trazador en el sistema
7:17 a.m.	Paso de fluorescencia, primera detección
7:23 a.m.	Aumento de la fluorescencia
7:26 a.m.	Máximo de fluorescencia
7:32 a.m.	Mantiene el máximo
7:38 a.m.	Mantiene el máximo
7:45 a.m.	Comienza a decrecer la emisión de fluorescencia
7:50 a.m.	Se estabiliza al nivel anterior al paso de fluorescencia

Tabla 6 Cronograma de paso del trazador en el río Aljucén

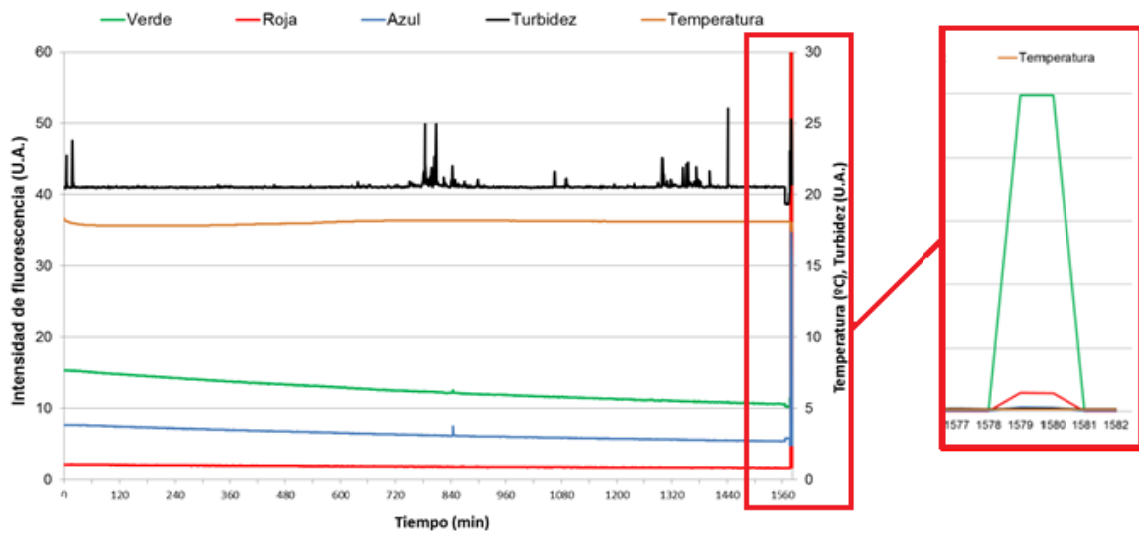


Figura 5 Intensidad de la señal producida por la fluoresceína a su paso por el sensor y detalle del gráfico

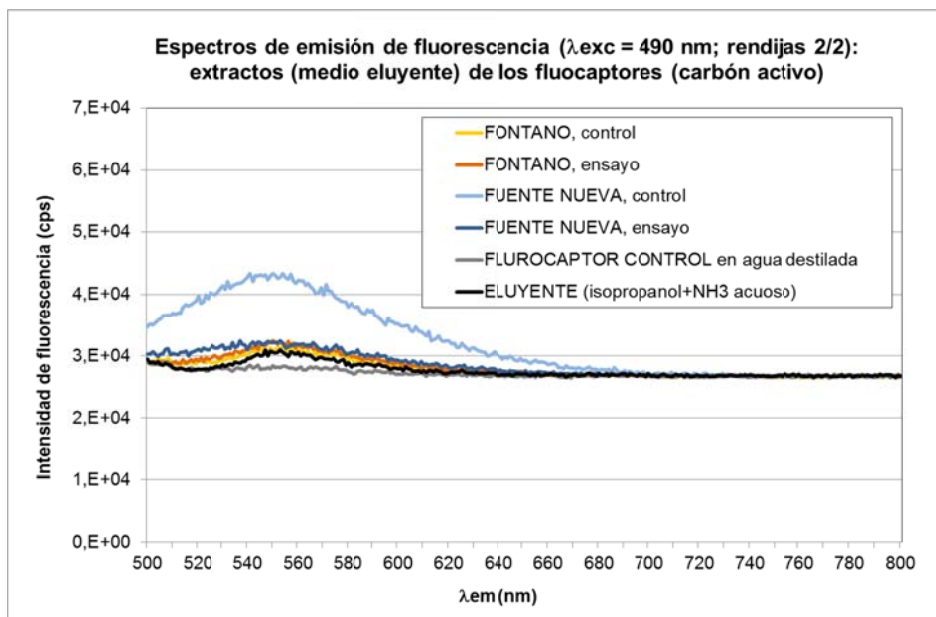


Figura 6 Espectro de emisión general

En la figura 5 se representa la respuesta del fluorímetro para un tiempo de medida de 26 horas. En el tiempo de medida no se observa paso de trazador. Los muestreadores pasivos tampoco han mostrado la presencia de trazador.

Análisis químico

pH:

En la figura 7 se muestra la distribución espacial de los valores de pH. Se observa que en 7 puntos de los 19 muestreados, el pH está por debajo de 6,5 unidades, límite impuesto por la legislación aplicable de aguas potables.

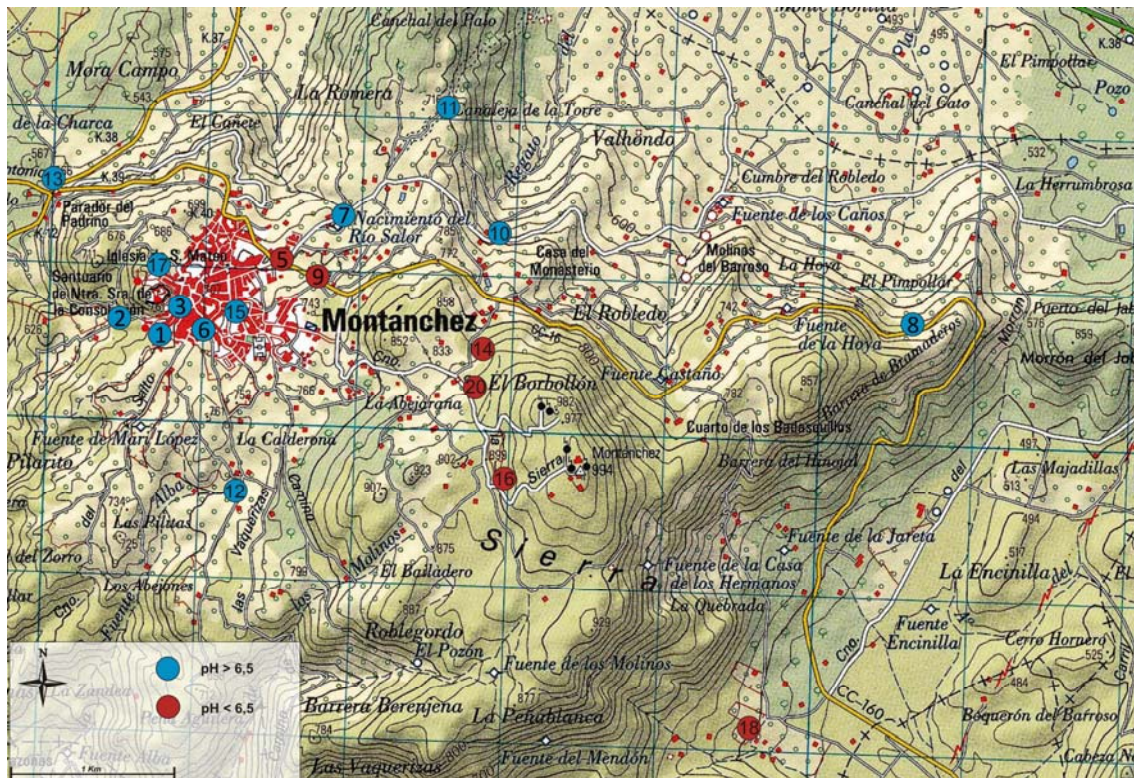


Figura 7. Valores de pH

La resistencia a la alteración del granito aporta una explicación sobre la naturaleza ácida del agua de la Sierra de Montánchez. El CO_2 atmosférico se disuelve en el agua de lluvia, para dar H_2CO_3 un ácido débil. Este ataca a los feldespatos, que si son sódicos puede cambiar la reacción del agua, pero no es nuestro caso. En general el agua más superficial es ácida o ligeramente ácida y en aguas que tienen un recorrido mayor se puede perder esa acidez. Además, en la zona se han documentado mineralizaciones de sulfuros cuya oxidación contribuiría aún más a la acidificación del agua. En la figura 10 se puede observar que el contenido en sulfato es significativo en relación con los otros iones mayoritarios.

Conductividad Eléctrica (C.E.)

En la figura 8 se muestra un mapa de C.E. los valores más altos se observan en fuentes próximas al municipio o dentro de él. La C.E. es un indicador directo del total de iones disueltos que aumentan con el tiempo de tránsito o a causa de la

contaminación. En los puntos más próximos a la población la actividad agrícola es escasa, (huertas de labor tradicional) y puede que predomine la influencia de la red de saneamiento urbano. La fuente del Fontano (1) puede que tenga aportes de aguas de un recorrido más largo, así parecen indicarlo los elevados niveles de As (42,1 µg/l), (anexo I) pero no hay forma de asegurarlos sin ampliaciones posteriores a este estudio.

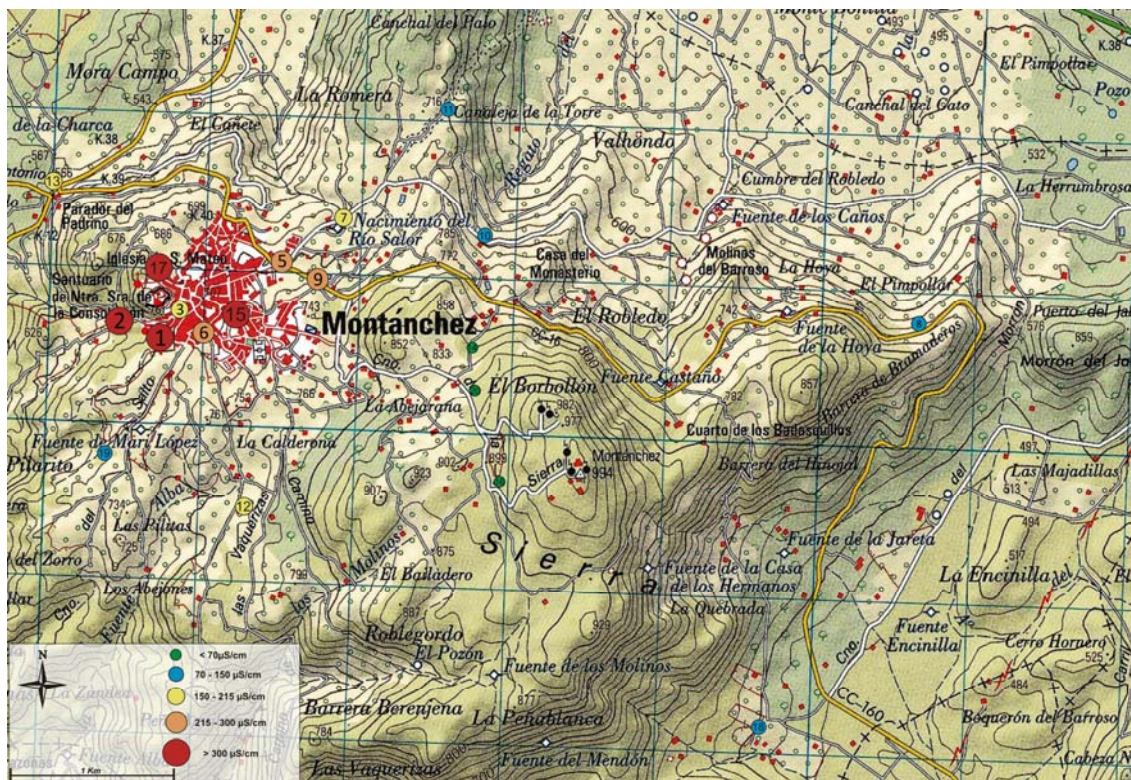


Figura 8 Mapa de distribución de C.E.

Fácies Hidroquímicas

En la figura 9 se ha representado las fácies hidroquímicas mediante los diagramas de Stiff. Se han diferenciado fuentes, pozos y sondeos. La mayoría de las muestras se pueden clasificar como cloruradas sódicas. En los puntos 5, 15 no hay SO_4^{2-} y predomina el HCO_3^- quizás porque se trata de agua muy superficial de bajo recorrido, hay muestras con facies sulfatadas, pero se explica con la presencia de mineralizaciones de sulfuros (puntos 8,18) en cambio en puntos más cercanos al pueblo (1,2,12,13,17) no se puede descartar que tengan origen antrópico. En ninguna muestra el Ca^{2+} es mayoritario.

Nitratos (NO_3^-)

En la figura 10 se muestra un mapa con la distribución de nitratos. Como se puede observar se superan los valores recogidos en la legislación de agua de bebida (R.D. de 140/2003) en 5 puntos de los 19 analizados.

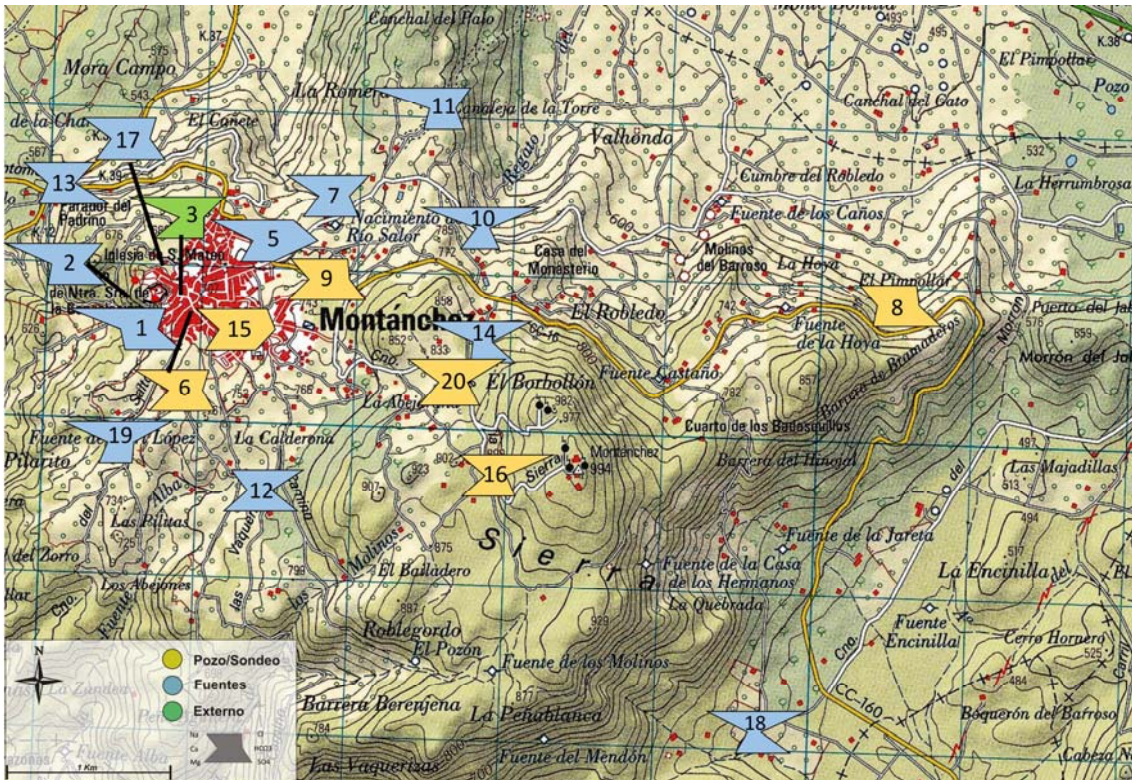


Figura 9 Gráficos de Stiff

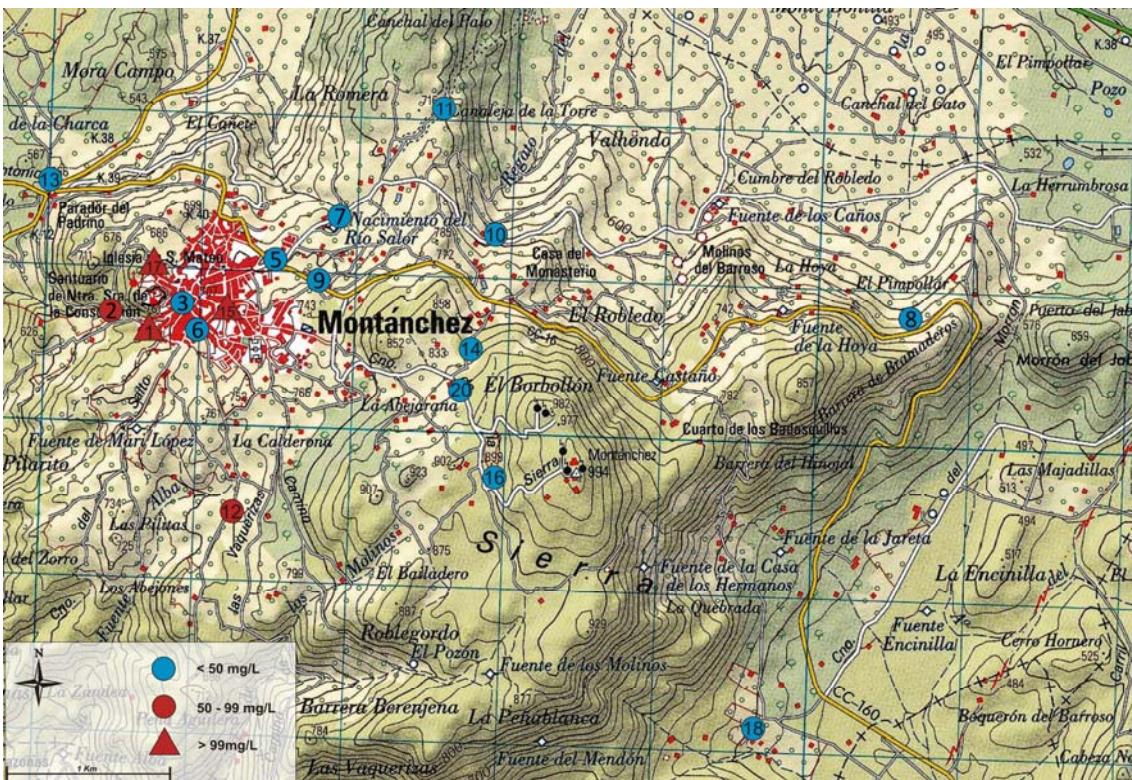


Figura 10 Mapa de contenido en NO₃⁻

Los puntos con mayor concentración de nitratos están en la cercanía del pueblo. En especial llaman la atención los puntos 1 y 2 (130 y 70 mg/l respectivamente), son aguas de descarga de una zona sin agricultura intensa y con apenas cubierta de suelo fértil, por lo que cabe la posibilidad de una causa antrópica. La presencia de NO_3^- , es indicadora de contaminación, tanto urbana como agrícola, sin embargo la presencia de PO_4^{3-} (18 y 7,8 mg/l) y Cl^- (57 y 36 mg/l) apuntan más claramente que la contaminación es de origen urbano, (o ganadera). Son valores más altos que en los puntos de referencia. El punto 12 (Fuente de los perros) es un caso particular, alejada del pueblo sirve de abrevadero, presenta valores muy elevados de nitrato 70 mg/l y materia orgánica 58,48 mg/l, parece pues estar contaminada por la actividad ganadera.

Materia orgánica

En la figura 11 se muestra el mapa de distribución de la materia orgánica.

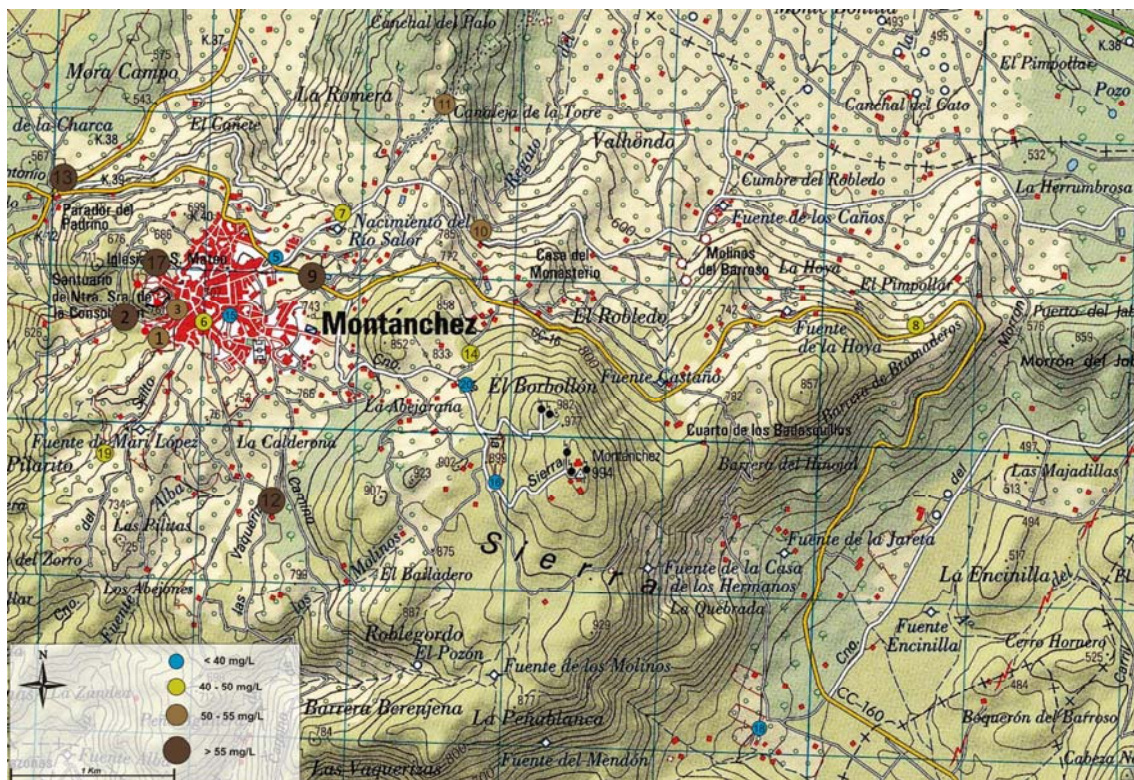


Figura 11 Mapa de distribución de valores de M.O.

Destaca el punto 9 (Pozo Tío Padrino), con un contenido de 55,78 mg/l de M.O. pero sin actividad reseñable en los alrededores. Parece un aporte reciente que no ha tenido tiempo para mineralizarse. De nuevo se observa un cierto aumento de los niveles en la cercanía del pueblo o en puntos como la fuente de los perros, o la Fuente del Corcho en los que hay un flujo muy superficial y se observa crecimiento de algas.

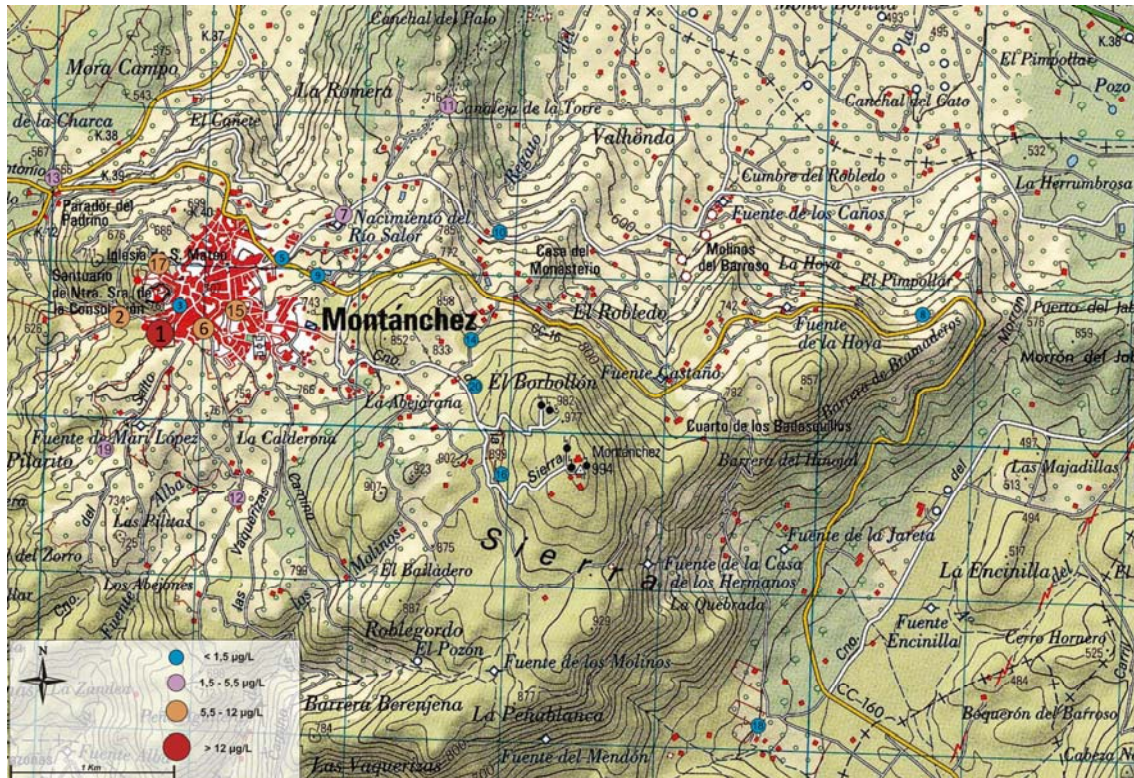


Figura 12 Mapa de distribución de la concentración PO_4^{3-}

Fosfatos (PO_4^{3-})

La distribución de los valores de PO_4^{3-} (otro indicador de contaminación urbana o agrícola que fácilmente precipita en el suelo como apatito o hidroxapatito) mostrados en la figura 12, presenta un patrón similar al nitrato, esto hace pensar de nuevo en contaminación urbana. Puntos alejados de la población presentan muy bajo contenido en fósforo, por ejemplo los puntos 8 y 9, (0,31 y 0,00 mg/l respectivamente) mientras que puntos afectados por la población como los puntos 1 y 2 presentan concentraciones mucho más elevadas (18 y 7,8 mg/l respectivamente).

Arsénico (As)

La concentración máxima de arsénico en aguas de abastecimiento permitida por la legislación se supera en 12 puntos de los 19 analizados (figura 13). El Arsénico es un elemento frecuentemente asociado a mineralizaciones en zonas graníticas, de hecho, existen numerosos trabajos, en zonas similares y con la misma orogenia que demuestran la abundancia de As en las mismas (Cama, J. et al; 2008)

En los puntos 16, 20, 14, 9 y 5, que coinciden con las aguas más ácidas, no aparecen niveles de arsénico elevados. En todos los demás puntos, los niveles son altos si se toma como referencia la legislación de aguas de abastecimiento, y coinciden con puntos en los que el pH se sitúa por encima de 6,5.

Por debajo de pH 6,5 el arsénico no se encuentra en fase móvil, la relación entre pH y As es conocida. Según Nordstrom et al. (2003) al pH típico de las aguas subterráneas (6,5-8,5) la especie predominante es H_2AsO_4^- a pH inferiores a 6,9 y en forma de HAsO_4^{2-} a pH superior a 6,9

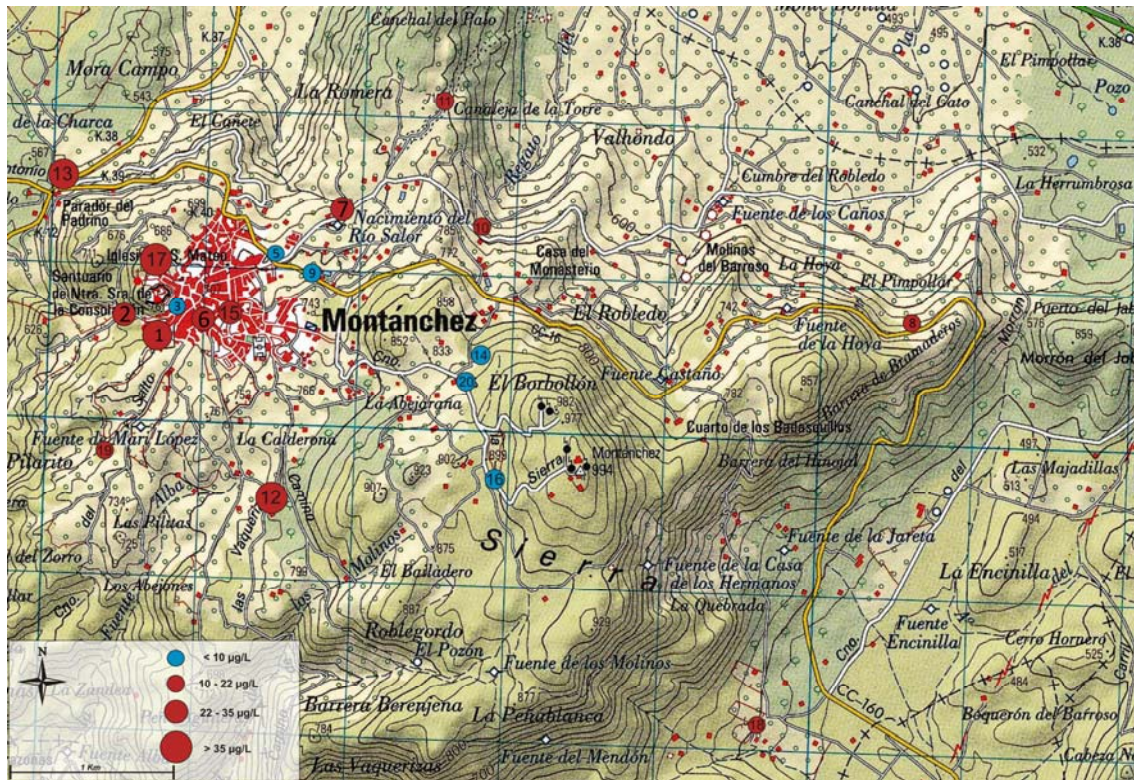


Figura 13 Mapa distribución de las concentraciones de Arsénico

En este entorno las aguas con mayores contenidos en arsénico probablemente sean las provenientes de flujos de mayor recorrido. Los valores más altos se observan en el punto 1 de (42,1 µg/l), punto 13 (41,2 µg/l) o en el punto 17 (35,7 µg/l) (anexo I)

Manganeso (Mn)

Se superan los valores de referencia en la legislación de aguas de abastecimiento en 1 punto. El valor más elevado se observa en el punto 5 (Santa Cruz) con 109 µg/l, en otro punto el 16 (Borbollón) se acerca al valor límite (50µg/l) con 48 µg/l. En aguas oxigenadas, no es frecuente encontrar manganeso, y la aparición en estos dos puntos es aislada y sin conexión aparente con el resto, por lo que no tiene más importancia más allá del dato, que desaconseja el consumo como agua de bebida.

Potabilidad

En la tabla 7 se presentan de forma resumida los puntos en los que se supera el límite de potabilidad (R.D. 140/2003)

Los únicos puntos en los que no se observa ningún valor superior al recogido en la legislación y que por tanto cumplen con la normativa son el punto 3, (agua de la red de abastecimiento del municipio) procedente del embalse de Alcúscar a unos 7 km en línea recta del municipio, y en el punto denominado “El morrón” un sondeo a 5 km del municipio que perfora las pizarras en las que se instruyó el batolito granítico.

Número	Muestra	NO3 (mg/L)	pH	As (µg/L)	Mn (µg/L)
1	Fontano	130	7,78	42,1	0,5
2	Fuente Nueva	70	7,64	25,3	0,5
3	Grifo Casa Rural	0	7,57	6,08	3,99
5	Santa Cruz	43	5,38	3,15	109
6	Pozo Carpio	35	7,16	24,6	0,52
7	Salor	26	7,17	30,7	0,5
8	El Morrón	8	7,18	1,61	4,08
9	Pozo Tio Padrino	39	6,46	1,25	26,3
10	Pilarito de Robledo	19	6,75	10,1	10,2
11	La Canaleja	11	6,85	20,2	4,57
12	Fuente de los perros	70	6,84	39,4	0,6
13	Fuente del corcho	5	6,87	41,2	10,6
14	Fuente Bañez	6	5,92	5,26	4,83
15	Granadilla Alta	120	6,72	32,8	0,66
16	Borballón	12	5,71	0,36	48
17	La Fontanita	100	7,4	35,7	0,5
18	El Fontarrón	14	6,2	13,8	1,42
19	Fuente Mari López	24	6,26	16,2	13,4
20	Nacimiento Aljucén	7	5,8	1,4	10,5
Valor límite	Valor límite	50 mg/l	< 6,5	10 µg/l	50 µg/l

Tabla 7 Resumen potabilidad (R.D. 140/2003)

5. Recomendaciones y Conclusiones.

La mayor parte de los puntos analizados el agua no es potable. Es una zona que de forma natural contiene niveles altos de Arsénico (42.1 - 0,36 µg/l) en 12 de los 18 puntos de aguas subterráneas se sobrepasan los límites establecidos por el R.D. 140/2003 de 7 de Febrero. Los puntos en los que el contenido en arsénico es menor, presentan problemas por sus bajos valores de pH (< 6,5). Los nitratos exceden en 5 puntos los valores permitidos (50 mg/l); destacable es el valor de nitrato en el Fontano (130 mg/l). Por último, de forma aislada aparece Manganeso, punto 5 (Santa Cruz)

(109 µg/l) que supera ampliamente el límite impuesto en la legislación de aguas de abastecimiento (50 µg/l).

La elevada concentración de arsénico, aunque sea de origen natural, no deja de ser un riesgo para la salud, y por tanto sería conveniente una comunicación del riesgo adecuada, puesto que es una práctica generalizada que los habitantes consuman agua de estas y otras fuentes no analizadas, que es de suponer pueden tener valores similares. Sería necesario hacer un estudio en profundidad para determinar si la población está expuesta a un riesgo sanitario. En la zona se cree que alguna de las fuentes más contaminadas, como el Fontano (1), incluso presenta beneficios para la salud. Los datos demuestran que hay un riesgo que necesariamente tiene que ser gestionado.

Además del Fontano (1), requieren especial atención fuentes como: Fuente Nueva (2), Santa Cruz (5) o La Fontanita (17) por su cercanía al pueblo y un uso más habitual para consumo humano. Además aparecen niveles más elevados de PO_4^{3-} en las zonas más cercanas al casco urbano, parece pues existir afección directa del municipio sobre el agua subterránea. Las muestras de fuentes cercanas al pueblo, Fontano (1), Fuente Nueva (2), Fontanita (17), Pozo Granadilla alta (15), que en principio no tienen un largo recorrido muestran valores de C.E. manifiestamente más altos que puntos más alejados del municipio. Hecho este que apoya la idea de una contaminación de origen urbano.

Se propone con objeto de distinguir entre contaminación agrícola y urbana, y descartar la conexión directa entre la red sanitaria y el sistema natural, realizar un estudio de microbiología, con organismos indicadores de contaminación fecal reciente y antigua incluyendo formas de resistencia. Otro posible estudio complementario, sería un análisis de riesgo toxicológico.

Por otra parte se debería incluir un estudio de isótopos estables del agua, para determinar con precisión la zona y cota de infiltración, y en definitiva la zona de recarga, lo que daría una información valiosa para determinar el origen de la contaminación. Además no hay que olvidar que el ensayo de trazadores y la medición en continuo, duró solo 26 horas, una posible mejora sería prolongar el tiempo de medición. Por último se propone analizar el contenido en Boro, un buen indicador de afección urbana.

Bibliografía:

Aley, T. (2002) "Groundwater Tracing Handbook" Ozark Underground Laboratory Protom, (USA)

Aparicio Mijares, F, J. (1999) "Fundamentos de hidrología de superficie." Limusa, México (p.210)

Benitez, C; Arias, W. & Quiroz, J; (1980) "Manual de conservación de suelos y aguas". Ministerio de Agricultura y Alimentación. Lima (Perú)

Cama, J; Rovira, M; Ávila, P; Pereira, M; Asta, M; Grandia, F; Martínez-Lladó, X; y Álvarez-Ayuso, E: "Distribución de Arsénico en la región Ibérica" En (pag 100) Jochen

Bundschuh, Alejo Pérez Carrera, Marta Litter (2008) "IBEROARSEN: Distribución del arsénico en regiones Ibérica e Iberoamericana" CYTED

Gobierno de Extremadura, extremambiente.gobex.es del día 13 de Enero de 2015 <http://extremambiente.gobex.es/pdf/ES0000069.pdf>

"INAQUAS: Utilidad para la interpretación de análisis químicos de aguas subterráneas." Moreno, L; De La Losa, A. (2008) Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

INE.es del día 13 de Enero de 2015 <http://www.ine.es/consul/serie.do?s=6-5035&L=0>
Käss, W. (1998) "Tracing Technique in Geohydrology" A.A. Balkema pp23 Rotterdam

Lopez, F; Monteserín,V;Gil,G; Pineda,V; Rubio,F; Martín-Serrano, A. (1990) "Alcuéscar" (mapa geológico) Madrid: IGME instituto geológico y minero de España.(Mapa geológico de España, MAGNA, hoja 729 (11-29) Escala 1:50.000.proyección cuadrícula UTM. Elipsoide Escala 1:50.000 Internacional. Huso 29

Nordstrom, D; Archer, D. (2003) "Arsenic thermodynamic data and environmental geochemistry. In Arsenic in Ground Water" (eds. A. H. Welch and K.G. Stollenwerk) Kluwer, Boston, MA, PP.1-25

ANEXOS (Resultados analíticos)

Número	Muestra	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)
1	Fontano	77	66	22	17	57	55	161	0	130	0,00
2	Fuente Nueva	37	30	16	8	36	22	69	0	70	0,00
3	Grifo Casa Rural	26	2	13	1	34	23	29	0	0	0,00
5	Santa Cruz	28	15	15	5	22	58	9	0	43	0,00
6	Pozo Carpio	29	10	21	5	28	30	58	0	35	0,00
7	Salor	26	2	15	4	28	18	34	0	26	0,00
8	El Morrón	14	0	8	4	10	15	39	0	8	0,00
9	Pozo Tío Padrino	18	9	22	6	19	28	59	0	39	0,00
10	Pilarito de Robledo	18	2	6	1	21	4	11	0	19	0,00
11	La Canaleja	19	1	3	1	13	10	18	0	11	0,00
12	Fuente de los perros	16	4	20	5	17	5	25	0	70	0,00
13	Fuente del corcho	18	0	10	4	19	9	47	0	5	0,00
14	Fuente Bañez	9	0	2	1	9	2	10	0	6	0,00
15	Granadilla Alta	42	26	40	14	43	75	46	0	120	0,00
16	Borcollón	6	0	5	1	9	2	5	0	12	0,00
17	La Fontanita	50	39	47	15	58	61	133	0	100	0,00
18	El Fontarrón	18	0	7	2	21	2	24	0	14	0,00
19	Fuente Mari López	19	1	6	2	20	8	9	0	24	0,00
20	Nacimiento Aljucén	6	0	4	1	8	3	7	0	7	0,00
Valor límite	Valor límite									50 mg/l	

Número	Muestra	NH4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Ox (mg/L)	C.E. (µS/cm)	pH	Ag (µg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)	Ba (µg/L)
1	Fontano	0,00	18	20,4	1,4	601	7,78	0,05	3,35	42,1	1,88
2	Fuente Nueva	0,00	7,8	19,3	1,5	355	7,64	0,05	10	25,3	2,33
3	Grifo Casa Rural	0,00	0,11	3,2	2,4	168	7,57	0,05	67,1	6,08	6,96
5	Santa Cruz	0,00	0,45	17,4	0,5	273	5,38	0,05	62,6	3,15	86,9
6	Pozo Carpio	0,00	5,9	25,1	1,9	268	7,16	0,05	38,6	24,6	7,49
7	Salor	0,00	2,3	40,1	4,8	210	7,17	0,05	18,9	30,7	10,1
8	El Morrón	0,00	0,31	33,1	0,5	131	7,18	0,05	1,51	1,61	1,26
9	Pozo Tío Padrino	0,00	0,00	26,9	0,6	255	6,46	0,05	35,7	1,25	85,9
10	Pilarito de Robledo	0,00	1,4	30,7	0,7	129	6,75	0,05	31,1	10,1	7,59
11	La Canaleja	0,00	1,9	42,3	3,7	112	6,85	0,05	58,6	20,2	1,23
12	Fuente de los perros	0,00	3,2	39,1	4,7	211	6,84	0,05	23,1	39,4	8,86
13	Fuente del corcho	0,00	3,4	44,2	3,4	155	6,87	0,05	83,2	41,2	1,19
14	Fuente Bañez	0,00	0,82	24,8	0,5	50	5,92	0,05	20,6	5,26	3,51
15	Granadilla Alta	0,00	6	23,7	2,5	505	6,72	0,05	4,52	32,8	21
16	Borcollón	0,00	0,00	5,1	1,3	48	5,71	0,05	116	0,36	10,3
17	La Fontanita	0,00	0,115	24,4	2,5	589	7,4	0,05	3,16	35,7	8,61
18	El Fontarrón	0,00	0,92	38,4	0,8	130	6,2	0,05	147	13,8	4,87
19	Fuente Mari López	0,00	1,62	35,2	0,6	127	6,26	0,05	68,2	16,2	6,08
20	Nacimiento Aljucén	0,00	0,15	12,9	0,5	39	5,8	0,05	78,2	1,4	4,51
Valor límite	Valor límite						< 6,5			10 µg/l	

Número	Muestra	Be (µg/L)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Hg (µg/L)	Mn (µg/L)	Mo (µg/L)	Ni (µg/L)
1	Fontano	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	15		0,5	0,2	0,5
2	Fuente Nueva	0,05	0,2	0,05	0,05	0,54	15	0,5	0,5	0,2	0,5
3	Grifo Casa Rural	0,05	0,2	0,05	0,06	5,35	15,4	0,5	3,99	0,2	0,5
5	Santa Cruz	0,06	0,39	0,32	0,05	0,2	15	0,5	109	0,2	0,58
6	Pozo Carpio	0,05	0,2	0,05	0,05	0,91	15	0,5	0,52	0,31	0,5
7	Salor	0,05	0,2	0,05	0,06	0,75	15	0,5	0,5	0,2	0,88
8	El Morrón	0,05	0,2	0,14	0,05	18,5	15	0,5	4,08	0,2	2,6
9	Pozo Tio Padrino	0,11	0,28	0,05	0,06	4,81	15	0,5	26,3	0,2	1,51
10	Pilarito de Robledo	0,07	0,2	0,05	0,06	0,2	15	0,5	10,2	0,2	0,5
11	La Canaleja	0,05	0,21	0,05	0,05	0,27	23,5	0,5	4,57	0,2	0,5
12	Fuente de los perros	0,05	0,2	0,05	0,05	1,33	23,7	0,5	0,6	0,2	0,26
13	Fuente del corcho	0,05	0,2	0,05	0,29	0,2	89,2	0,5	10,6	0,2	3,06
14	Fuente Bañez	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	15	0,5	4,83	0,2	0,5
15	Granadilla Alta	0,05	0,2	0,06	0,1	2,93	15	0,5	0,66	0,2	0,77
16	Borbollón	0,05	0,2	0,14	0,05	0,2	15	0,5	48	0,2	0,5
17	La Fontanita	0,05	0,2	0,05	0,07	2,18	15	0,5	0,5	0,33	0,5
18	El Fontarrón	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	43,9	0,5	1,42	0,2	0,5
19	Fuente Mari López	0,1	0,25	0,08	0,05	0,2	15	0,5	13,4	0,2	0,5
20	Nacimiento Aljucén	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	15	0,5	10,5	0,2	0,5
Valor límite	Valor límite					2 mg/l			50 µg/l		

Número	Muestra	Pb (µg/L)	Sb (µg/L)	Se (µg/L)	Th (µg/L)	Tl (µg/L)	U (µg/L)	V (µg/L)	Zn (µg/L)
1	Fontano	0,2	0,07	0,5	0,05	0,05	3,46	0,14	5,03
2	Fuente Nueva	0,2	0,09	0,5	0,05	0,05	1,44	0,35	9,55
3	Grifo Casa Rural	0,2	0,05	0,5	0,05	0,05	0,05	0,9	10,4
5	Santa Cruz	0,2	0,05	0,5	0,05	0,2	0,25	0,13	10,1
6	Pozo Carpio	0,2	0,32	0,5	0,05	0,05	0,2	1,28	1,96
7	Salor	0,2	0,2	0,5	0,05	0,05	0,29	1,92	2,15
8	El Morrón	0,2	0,06	0,5	0,05	0,05	< 0,05	0,11	161
9	Pozo Tio Padrino	0,2	0,07	0,5	0,05	0,16	0,95	0,38	28,7
10	Pilarito de Robledo	0,2	0,05	0,5	0,05	0,05	0,91	0,08	4,31
11	La Canaleja	0,2	0,05	0,5	0,05	0,05	4,07	0,12	24,7
12	Fuente de los perros	0,2	0,1	0,5	0,05	0,05	0,53	0,55	2,51
13	Fuente del corcho	0,2	0,05	0,5	0,05	0,05	4,5	1,75	2,77
14	Fuente Bañez	0,2	0,05	0,5	0,05	0,05	0,51		2,14
15	Granadilla Alta	0,2	0,61	0,5	0,05	0,05	0,48	0,45	35,2
16	Borbollón	0,27	0,05	0,5	0,05	0,05	0,05	0,08	4,96
17	La Fontanita	0,2	0,29	0,5	0,05	0,05	13,8	1,3	5,7
18	El Fontarrón	0,2	0,05	0,5	0,05	0,05	0,22	0,56	1,7
19	Fuente Mari López	0,2	0,05	0,5	0,05	0,05	1,06	0,08	7,87
20	Nacimiento Aljucén	0,2	0,05	0,5	0,05	0,05	0,16		1,72
Valor límite	Valor límite								

Los valores que superan los valores paramétricos del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humana están marcados en rojo.

Nombre Muestra	Carbono Orgánico (mg/l)
Fontano	53,18
Fuente Nueva	61,40
Grifo Casa Rural	53,49
Santa Cruz	29,89
Pozo Carpio	46,21
Salor	40,24
El Morrón	48,66
Pozo Tío Padrino	55,78
Pilarito de Robledo	51,41
La Canaleja	54,54
Fuente de los perros	58,48
Fuente del corcho	59,09
Fuente Bañez	41,44
Granadilla Alta	32,43
Borbollón	34,23
La Fontanita	58,16
El Fontarrón	39,80
Fuente Mari López	42,76
Nacimiento Aljucé	22,91

Carbono orgánico calculado