

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO SOBRE EL
ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN PRESENTE
EN EL AGUA DEL ABASTECIMIENTO
PÚBLICO DE LA LOCALIDAD DE
VILLAVERDE Y PASACONSOL (CUENCA)**

Mayo 2006

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. ANTECEDENTES. ABASTECIMIENTO ACTUAL

3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

3.1. Estratigrafía

3.2. Estructura

4. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

4.1. Piezometría

4.2. Hidroquímica

5. ORIGEN DE LOS CONTENIDOS EN NITRATOS

6. ANTECEDENTES SOBRE LAS UTILIZACIÓN DEL N-15

7. RESULTADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL ISÓTOPO N-15 EN LAS CAPTACIONES

8. RECOMENDACIONES

9. BIBLIOGRAFÍA Y PÁGINAS WEB

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del convenio de asistencia técnica suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Excma. Diputación Provincial de Cuenca, se han realizado los trabajos necesarios para la realización del presente estudio hidrogeológico para conocer, el origen de la contaminación por nitratos existente en el abastecimiento de agua potable al municipio de Villaverde y Pasaconsol en la provincia de Cuenca.

Se realizó en abril y mayo de 2005 el reconocimiento hidrogeológico de la zona, que junto con la información geológica e hidrogeológica compilada, se ha empleado para la redacción del presente informe.

Los antecedentes de los que se dispone corresponden a los siguientes informes elaborados por el IGME :

-IGME-CHJ (1992): Propuesta de normas de explotación de Unidades Hidrogeológicas en el Sistema Hidráulico Alarcón-Contreras. 1991-1992. Tomo I: memoria y plano.

-IGME (1996): Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento de agua potable a la localidad de Villaverde y Pasaconsol (Cuenca).

IGME (1997): Informe final de los sondeos para abastecimiento de agua potable al municipio de Villaverde y Pasaconsol (Cuenca).

- IGME (2005): Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento de agua potable a la localidad de Villaverde y Pasaconsol (Cuenca).

2. ANTECEDENTES. ABASTECIMIENTO ACTUAL

La localidad de Villaverde y Pasaconsol tiene una población censada de 414 habitantes, llegando a alcanzar en verano los 1500, según fuentes municipales.

Esta población se abastece de un sondeo de 66 m de profundidad, perforado en 1997, empleándose el manantial del El Navazo en casos de emergencia. (tabla 1, fotos 1, 2).

CAPTACIÓN	PROFUNDIDAD (m)	CAUDAL EXTRAIDO (L/s)	PNP (m s.n.m.)
Sondeo Actual	66	16	22.67 (9/97) 26.8 (4/05)
Manantial El Navazo		5 (8/77) 5.5 (2/82) 4 (3/91) 6 (8/95) 2.6 (4/05) 1.7 (5/05)	

Tabla 1.- Captaciones de abastecimiento de Villaverde y Pasaconsol.

Se dispone del volumen extraído mediante un contador a la salida del sondeo nuevo; la evolución del consumo, para un periodo comprendido entre octubre de 2001 a junio de 2005 se refleja en la figura 1. Se aprecia el fuerte incremento en agosto, septiembre y diciembre, con unos consumos anuales entre 75.000 a 87.000 m³.



Foto 1. Manantial del Navazo.



Foto 2. Sondeo nuevo en primer plano y al fondo la granja avícola y ganadera.

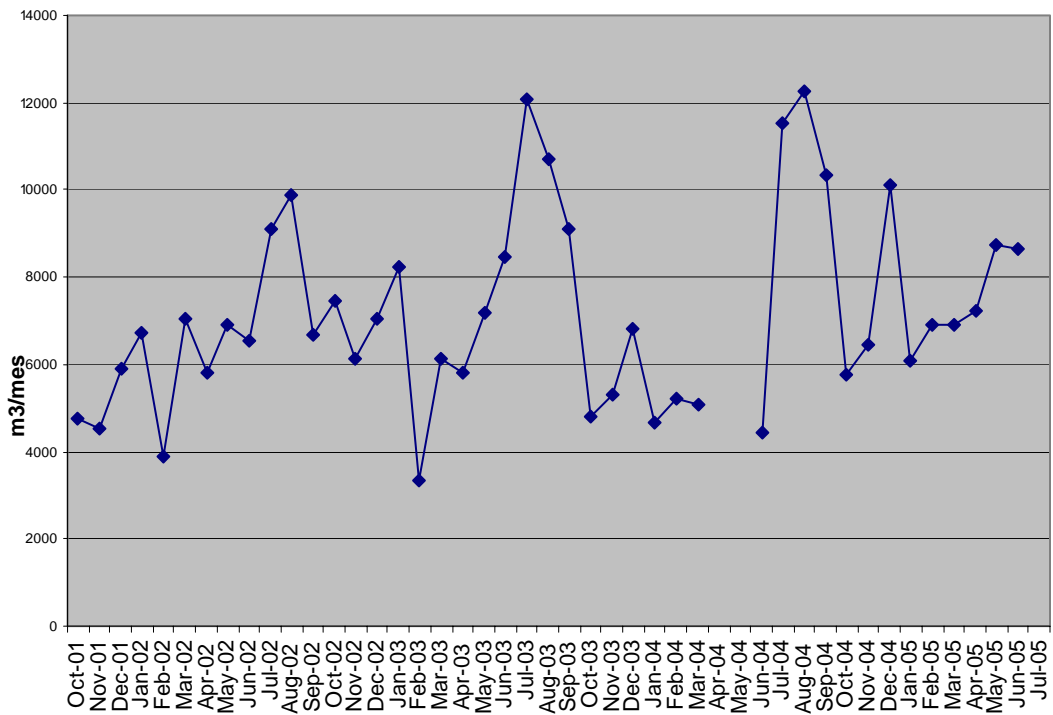


Figura 1.- Evolución de la extracción mensual en m³ del periodo octubre 2001-julio 2005.

Considerando unas dotaciones de 200 L/hab/día, el volumen necesario para satisfacer la demanda de la población es de 1 L/s (83 m³/día), aumentando durante los períodos vacacionales a una demanda de 4.6 L/s (400 m³/día). Esta demanda está cubierta; sin embargo la calidad de las aguas es deficiente, a causa del incremento del contenido en nitratos.

Los primeros datos de los que se dispone sobre el contenido en nitratos procedentes del manantial del Navazo datan de marzo de 1991 y presentaban una concentración de 61 mg/L. En septiembre de 1997, el agua procedente del sondeo nuevo presenta una concentración de 56 mg/L. Se desconocen los datos de contenido en nitratos entre 1997 a 2001 (IGME, 2005). No obstante, a partir de marzo de 2003 se observa un incremento notable y continuado de los mismos, alcanzando y superando en ocasiones los 80 mg/L (figura 2). En torno a los años 1999-2000 se instaló una granja avícola que se amplió a ganadería vacuna entre los años 2002-2003, a unos 375 m al E de la captación.

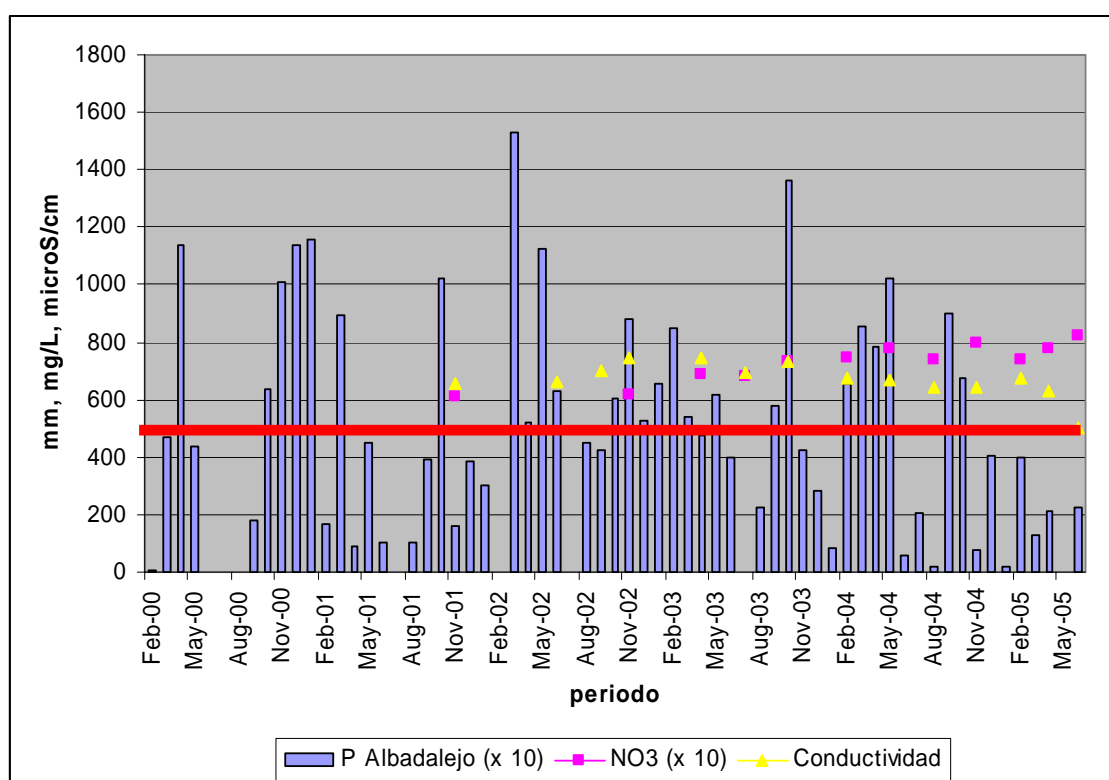


Figura 2.- Evolución del contenido en nitratos y conductividad de las aguas captadas en la red de distribución (Fuente del Navazo y sondeo nuevo). La línea roja marca el límite de 50 mg/L de nitratos para el consumo humano. Obsérvese el incremento continuado a partir de abril de 2003 (P=precipitación en mm multiplicado por 10, en la estación climatológica de Albadalejo del Cuende).

3.CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

La zona de estudio se ubica al sur de la Depresión Intermedia. Los materiales aflorantes están comprendidos entre las edades cretácicas a cuaternarias, reflejándose en el mapa y corte geológico (figura 3 y 4) su distribución espacial y sus características estructurales.

3.1. Estratigrafía

Los materiales terciarios predominantes corresponden a un conjunto arcilloso del Paleógeno-Neógeno; hacia el Norte se define una red hidrográfica que vierte hacia el río Júcar y lleva asociados depósitos cuaternarios.

Arcillas, yesos, margas, calizas y brechas calizas. Fm. Margas, arcillas y yesos de Villalba de la Sierra (7): variado conjunto de litologías, de tonos blanquecinos, amarillentos o verdes. Aparecen yesos y calizas. Su espesor puede alcanzar los 120 m. Corresponden al tránsito Cretácico-Terciario.

Arcillas y arcillas yesíferas rojas (11): depósitos arcillosos y arenosos con un espesor que puede superar los 150 m. Se datan como Arveniense inferior-Ageniense.

Areniscas y arcillas ocre y rojas (13), Areniscas (14), Conglomerados (15): los conglomerados son barras que, aunque no suelen tener espesores superiores a 2 m, en el sondeo nuevo de abastecimiento alcanzan los 16 m. Las areniscas también afloran formando barras. Su espesor se encuentra entre 150-200 m, aunque en la zona de estudio no alcancen los 100 m. Se atribuyen al Arveniense inferior-Ageniense.

Arcillas, conglomerados y brechas (18). Conglomerados (19): sucesión areno-arcillosa con importantes niveles conglomeráticos de un espesor máximo de 70 m Se datan como pertenecientes al Ageniense-Aragoniense.

Terrazas (22,23), coluviones (26) y fondos de valle (30): las terrazas corresponden a

gravas y arenas del río Júcar, situados en el borde en contacto con el embalse de Alarcón. Los coluviones se acumulan en laderas (4-5 m) y los fondos de valle se componen de gravas, arcillas y lutitas. Se datan como cuaternarios.

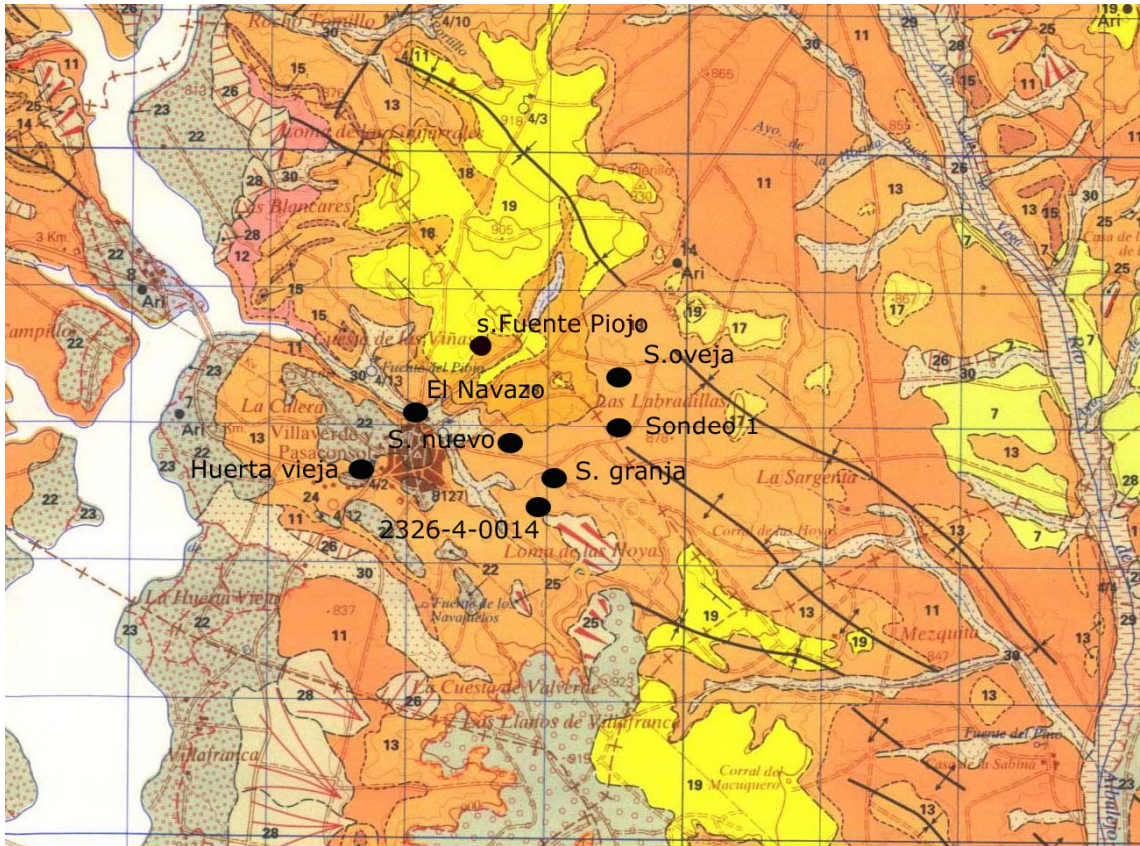


Figura 3.- Mapa geológico del área de estudio (el cuadrículado tiene 1 km de lado).

3.2. Estructura

El área de estudio se encuentra en la Depresión Intermedia, en una zona de suaves pliegues orientados NO-SE (figura 4).

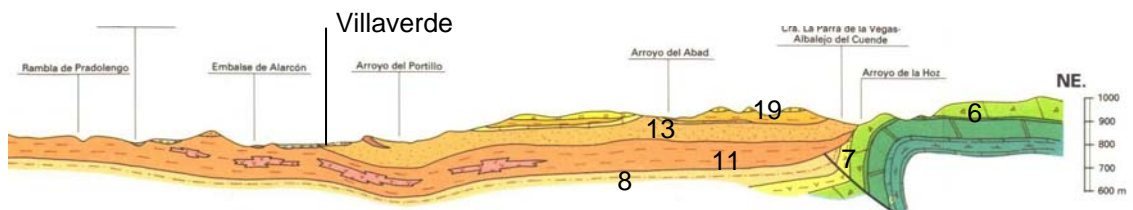


Figura 4.- Corte geológico SO-NE de la zona de estudio. LEYENDA: Cretácico (6) dolomías masivas, margas, brechas, (7) yesos y margas, Terciario (11) arcillas y yesos, (13) arenas, (19) calizas y margas.

4. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Las formaciones corresponden principalmente a depósitos de edad terciaria, principalmente corresponden a las areniscas y arcillas descritas como (13), con paleocanales asociados (14). Las captaciones estudiadas afectan a dichas formaciones (tabla 2)(figura 5).

4.1. Piezometría

En el área estudiada se localizan varias captaciones (sondeo nuevo, s. Granja, 2326-4-0014) (tabla 2) que parecen captar el mismo nivel acuífero (figuras 3 y 5), un horizonte de 11 m de espesor de arenisca y conglomerado cuyo drenaje natural corresponde al Manantial del Navazo. Las transmisividades son altas, superan los 1300 m²/día. También parece existir otros horizontes acuíferos asociados a la fuente de Huerta Vieja o a los otros sondeos más alejados de las captaciones municipales (S.Oveja, Sondeo 1) (figura 5) con menores transmisividades, en torno a 10 m²/día. El sondeo de la Fuente del Piojo (2326-4-0015) tiene una profundidad de 175 m, que parece captar los niveles infrayacentes yesíferos por la deficiente calidad de agua.

Los niveles piezométricos en el sondeo nuevo y el 2326-4-0014 muestran un descenso de 4-15 m desde 1995, encontrándose en torno a una cota piezométrica de 830-834 m s.n.m.

Respecto al manantial del Navazo se observa un descenso del caudal de los primeros meses de 2005, coincidente con una época de sequía (figura 2), superior a un 52 %, quedando en mayo 1.7 L/s (tabla 2).

La dirección de flujo es hacia el oeste, hacia las fuentes del Navazo y Huerta Vieja.

CAPTACIÓN	PROFUNDIDAD (m)	COTA PIEZOMÉTRICA (m s.n.m.)	CAUDAL EXTRAIDO (L/s)	PNP (m)
Sondeo nuevo	66	860	16	22.67 (9/97) 26.8 (4/05)
Sondeo 2326-4-0014	111	860	3	24(6/95) 39.9 (4/05)
Sondeo 2326-4-0015. El Piojo	175	885	7,5	
Manantial El Navazo		830	5 (8/77) 5.5 (2/82) 4 (3/91) 6 (8/95) 2.6 (4/05) 1.7 (5/05)	
S. granja	54	865		
Sondeo 1		875		
Sondeo Oveja	105	875		18.3 (4/05)
Huerta Vieja		820	3,6 (8/77) 2,5 (8/95)	

Tabla 2. Captaciones existentes que afectan al acuífero terciario detrítico (PNP-profundidad del nivel piezométrico).

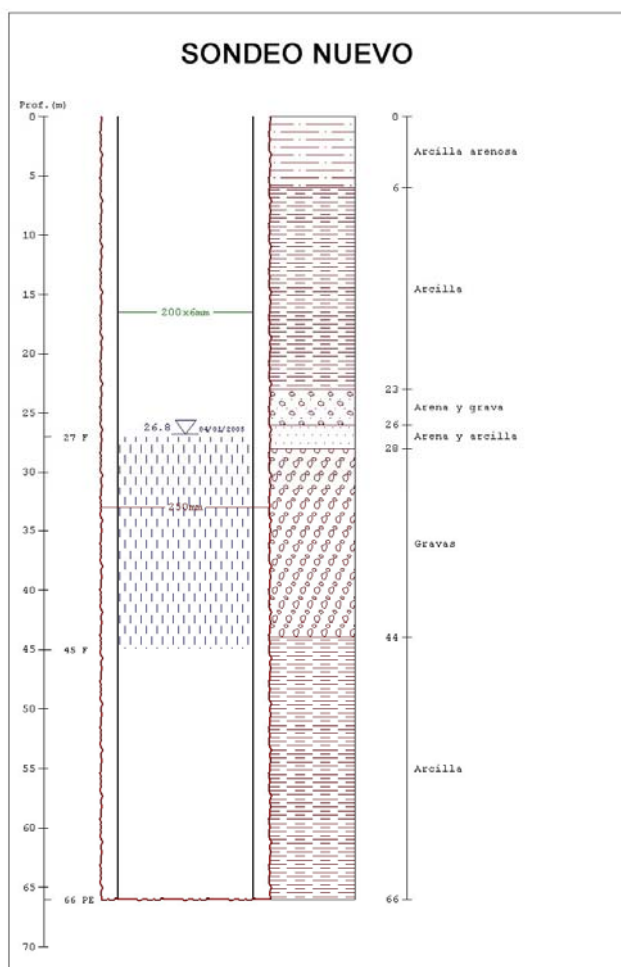


Figura 5.- Croquis constructivo y geológico del sondeo nuevo.

4.2. Hidroquímica

Las aguas del entorno de las captaciones municipales corresponden a una facies bicarbonatada cálcica, con una mineralización entre 394-637 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y elevado contenido en nitratos (tabla 3). Las captaciones del manantial del Navazo, Sondeo nuevo y sondeo granja son de quimismo muy similar (figura 6) y afectan al mismo nivel acuífero; los otros puntos (sondeo oveja, Huerta Vieja y sondeo 1) presentan aguas con mayor contenido en sulfatos y diferenciadas del grupo anterior.

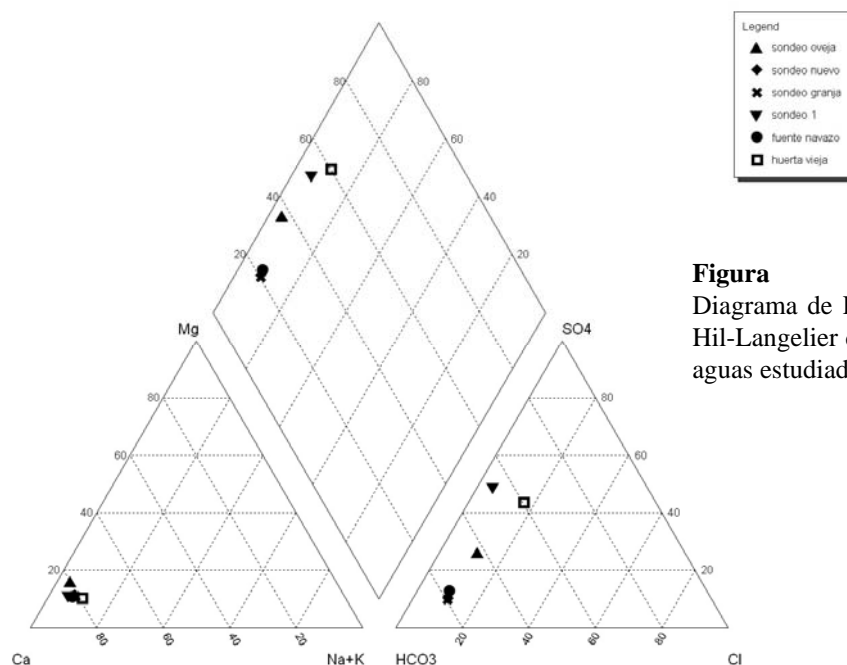


Figura 6.- Diagrama de Piper-Hil-Langelier de las aguas estudiadas.

	Huerta Vieja		El Navazo			S. nuevo			S. granja	S.oveja	S. 1
Fecha	3/91	4/05	3/91	4/05	6/05	9/97	4/05	6/05	4/05	4/05	4/05
PH	7.5	7.6	7.4	7.5	7.5	7.7	7.5	7.5	7.5	7.6	7.5
Cl	40	55	16	19	20	20	23	21	23	32	16
SO4	91	194	43	34	50	23	30	40	29	98	219
NO3	88	160	61	80	82	58	78	80	78	18	36
Mg	8	14	6	9	10	8	10	9	10	16	13
Ca	134	182	112	115	60	117	119	89	122	132	160
Na	19	21	10	12	11	10	13	13	14	7	13
Cond.	888	930	625	608	394	609	628	501	637	674	792

Tabla 3. Contenidos iónicos de las aguas subterráneas de la zona de estudio. Valores iónicos en mg/L , de conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las concentraciones de NH_4 y NO_2 son 0 mg/L .

En la tabla 3 se aportan anteriores análisis de Huerta Vieja y del manantial del Navazo, presentando concentraciones de nitratos, superiores a 50 mg/L ya en 1991. En el caso de

la fuente de Huerta Vieja, también se encuentran contenidos de sulfatos y de cloruros mayores al resto de los puntos.

Atendiendo a la figura 7 se observa la distribución de nitratos por captaciones, observándose donde se concentran y su asociación con la dirección de flujo.

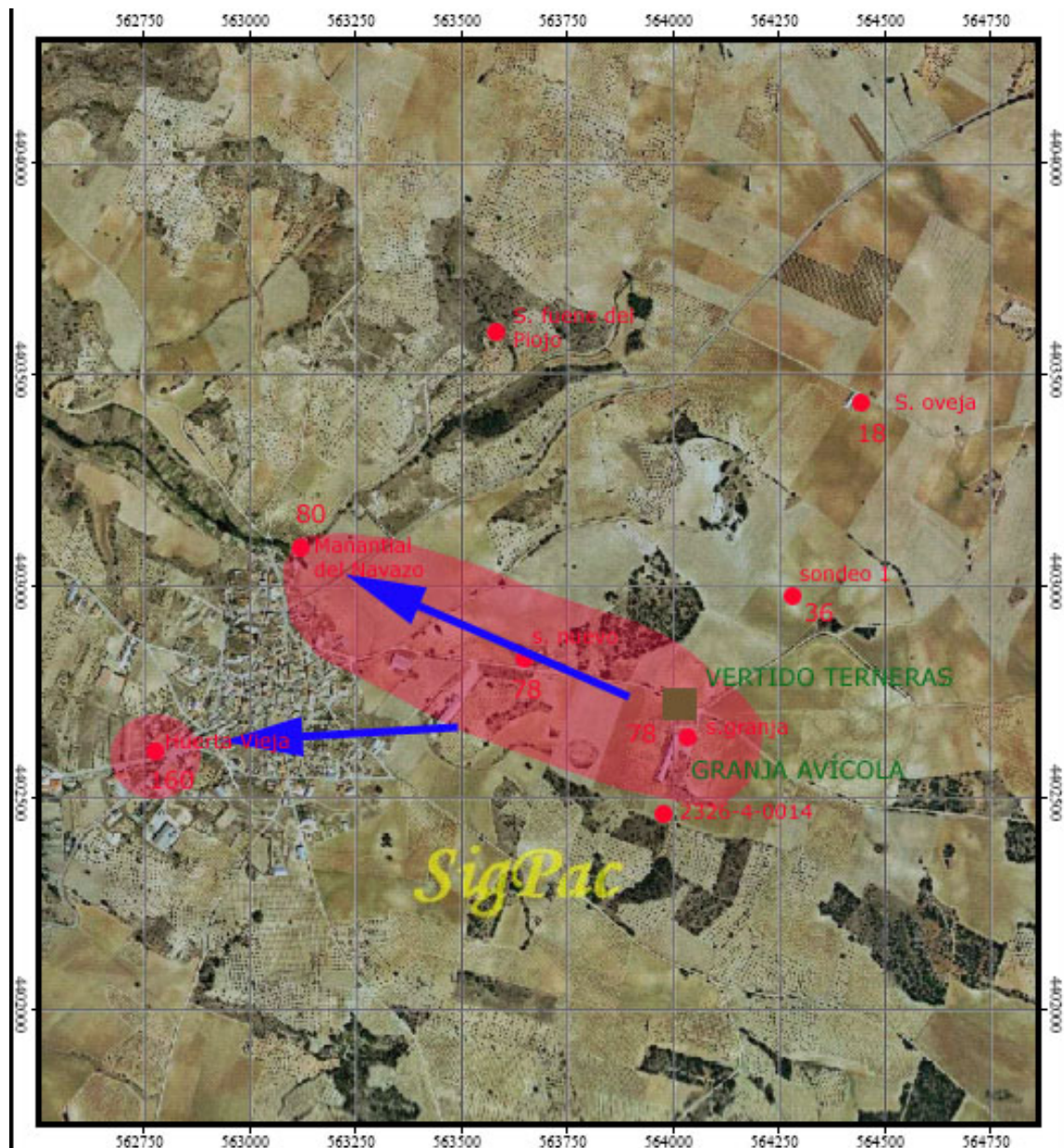


Figura 7.- Distribución del contenido en nitratos (en rojo, en mg/L) y dirección de flujo (línea en azul).

5. ORIGEN DE LOS CONTENIDOS EN NITRATOS

El entorno es de cultivos de olivos, vides, cereal de secano, abonándose, según fuentes municipales, 500 Kg/Ha con abono mineral NPK 12/24/12, generalmente en noviembre-diciembre (foto 4), aunque también se ha observado el esparcimiento de abono orgánico. Asimismo se refuerza con ammonitro de 10 % en febrero y marzo. Estos campos ocupan el área de recarga de la formación acuífera. En torno a 1999-2000 se instaló una granja avícola a unos 375 m al Este del sondeo nuevo (fotos 5, 6; figura 7) que se amplió a ganadera entre los años 2002-2003. Los vertidos asociados al ganado se realizan sin ningún control sobre el terreno, en una suave vaguada (foto 7).



Foto 4.- Campos de cultivo.



Foto 5. Granja avícola. Interior



Foto 6.- Instalación ganadera de la granja. Con flecha donde se realiza el vertido y la suave vaguada. Foto realizada desde la captación del Ayuntamiento.



Foto 7.- Detalle de la instalación ganadera de la granja.

Es interesante indicar que en las proximidades de la fuente de Huerta Vieja, pasa una canalización de aguas residuales de la población y hasta hace pocos años había una granja de ganado vacuno en explotación a escasos metros de esta fuente.

6. ANTECEDENTES SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL N-15

La mayoría de los materiales terrestres tienen unos valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre -20 a $+30\%$. La fuente dominante de nitrógeno en la mayoría de los ecosistemas terrestres es la atmósfera ($\delta^{15}\text{N} = 0\%$). En estos ecosistemas algunas plantas fijan nitrógeno y los organismos completan este ciclo en el suelo. Otras fuentes de nitrógeno, especialmente para las aguas, incluyen también a los fertilizantes y los abonos animales.

Los fertilizantes y los residuos animales muestran, generalmente, unos valores de $\delta^{15}\text{N}$ distintivos; sin embargo, las composiciones del nitrato atmosférico y del suelo no son distintivos, y sus valores, con frecuencia, se solapan con el de los fertilizantes y los residuos animales (figuras 8 y 9).

Aunque son diversos los factores que controlan los valores del $\delta^{15}\text{N}$ de algunos compuestos de N, dos son los principales:

- 1) las variaciones en los valores del $\delta^{15}\text{N}$ de las entradas (fuentes) y salidas de los componentes subsuperficiales.
- 2) las transformaciones químicas, físicas y biológicas de los materiales dentro del suelo y de las aguas subterráneas que producen o remueven el compuesto

Los **residuos animales**, tanto los utilizados como abono como los vertidos directamente, producen un aumento en el $\delta^{15}\text{N}$ del tejido animal y de los residuos sólidos, debido a la excreción de N ligero en la orina o su equivalente. Los residuos animales se pueden enriquecer más en ^{15}N debido a la volatilización del amoníaco. La oxidación del material de desecho residual puede dar lugar a nitratos con un $\delta^{15}\text{N}$ más alto. Debido a esto los residuos animales tienen un valor de $\delta^{15}\text{N}$ de cerca de $+5\%$, pero cuando se transforma en nitrato adquiere valores de $\delta^{15}\text{N}$ en el rango de $+10$ a $+20\%$. Los **residuos animales** contienen una gran variedad de compuestos del nitrógeno, tanto en los residuos líquidos como en los sólidos, pero la mayoría del N está en la forma de **urea**.

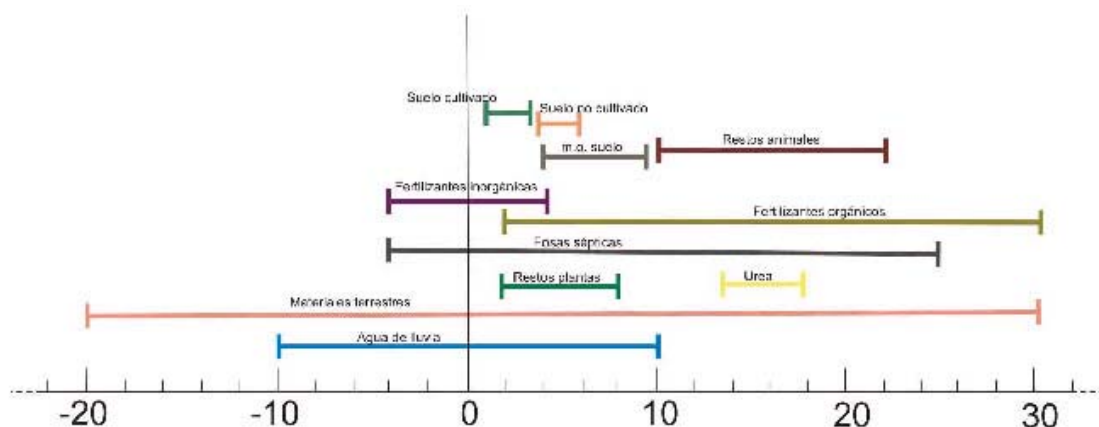


Figura 8.- Rangos y orígenes del N-15. (procedente de <http://www.miliarium.com/Proyectos/Nitratos/Isotopos/IsotoposEnNitratos/Delta.asp>).

El uso de fertilizantes nitrogenados en actividades agrícolas ha provocado cambios en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los nitratos de las aguas superficiales, subterráneas y de los suelos agrícolas.

Los **fertilizantes orgánicos** (abonos vegetales y los residuos animales líquidos y sólidos) tienen valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos, entre +2 y +30‰. Esto se debe a los diferentes orígenes que pueden tener este tipo de fertilizantes (restos de plantas y materia orgánica en general, estiércol, etc.) (figura 8). En el caso estudiado, se han realizado las determinaciones de residuos de oveja, ternera y pollo, determinándose los valores de la tablas 4 y 5. El abuso de los **fertilizantes** ha dado lugar a altas concentraciones de nitrato, y cambios significativos en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ del nitrato en las aguas superficiales y en las aguas subterráneas cercanas a los suelos de las tierras de cultivo. Los **fertilizantes inorgánicos** tienen valores de $\delta^{15}\text{N}$ uniformemente bajos reflejando así su procedencia atmosférica. Generalmente están en el rango de -4 a +4‰. Sin embargo, algunas muestras del fertilizante pueden mostrar un rango total de -8 a +7‰.

La combinación de 15-N y 18-O en las figuras 9 y 10 permite discriminar entre diferentes orígenes del nitrato.

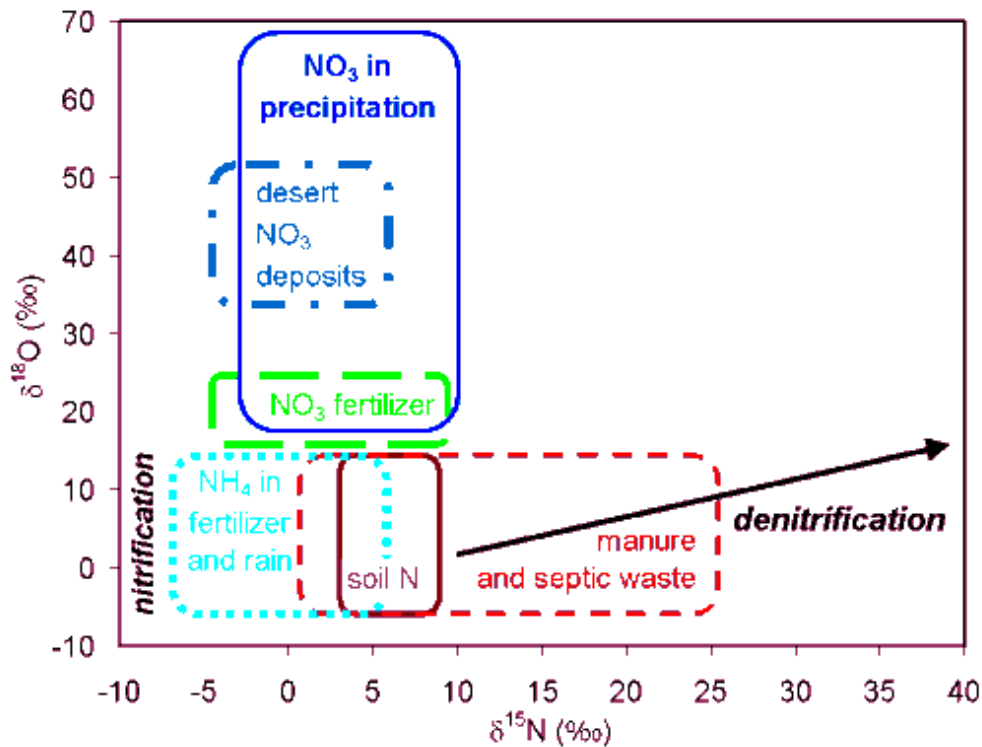


Figura 9.- Valores comunes de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ procedente de los nitratos (Kendall, 1998).

7. RESULTADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL ISÓTOPO N-15 Y O-18 EN EL NITRATO DE LAS CAPTACIONES

Se recogieron muestras de agua procedentes del Manantial del Navazo, Sondeo de abastecimiento, Sondeo Granja, Sondeo Oveja y Huerta Vieja. Los tres primeros podrían estar relacionados, al tratarse, hidroquímicamente, del mismo tipo de agua y encontrarse alineados en la Dirección del flujo subterráneo y de las estructuras geológicas predominantes. Los otros puntos, más alejados, se han tomado para comparar con el grupo principal.

Metodológicamente se tomó 1 L de agua a la que se le añadió cloruro de mercurio.

También se muestrearon los residuos procedentes de las aves, las terneras y de las ovejas.

Posteriormente todo ello se envió refrigerado al *Grup de Mineralogía aplicada i medi ambient (Facultat de Ciències Geològiques de la Universitat de Barcelona)*, donde el Dr. Albert Soler procedió a su tratamiento y análisis. El resultado de las mismas se recoge en las tablas 4, 5 y en las figuras 10 y 11. La interpretación se ha apoyado en la representación de la figura 12. Las muestras de agua presentan valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ que permiten descartar como origen los fertilizantes sintéticos o inorgánicos. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{15}\text{N}$ indica que provienen de la oxidación en la zona no saturada (ZNS) de NH_4 , lo que correspondería a una nitrificación del vertido procedente de las terneras. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas muestreadas coinciden con el tramo atribuible a purines y fosas sépticas. El análisis de los residuos ganaderos muestran que los procedentes de aves y ovejas son muy diferentes de los procedentes de las terneras y que los valores determinados en las aguas subterráneas se encontrarían entre ellos (figura 11).

La fuente Huerta Vieja está alejada del acuífero estudiado y drena probablemente materiales cuaternarios. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ parecen indicar que sufre contaminación de una granja cercana, hoy en desuso, o de la red de las aguas residuales urbanas, por pérdidas de la misma.

Así el origen de la presencia de nitratos en las aguas del Sondeo Granja, Sondeo Nuevo, Fuente del Navazo y Sondeo Oveja parece ser el mismo y que corresponden a residuos ganaderos. Saber qué residuos ganaderos procedentes de fuentes puntuales como granjas o de fuentes dispersas como el abonado de los campos es más complejo ya que ambos presentarían valores similares para el $\delta^{15}\text{N}$. Sin embargo se sabe que la instalación ganadera próxima genera residuos de ternera y pollo y que, la evolución del contenido del nitrato de las aguas muestra un incremento de los mismos a partir del año 2003 en algunos puntos, habiéndose instalado la granja en el año 2000 y ampliado a ganado vacuno en el año 2003 (figura 2).

		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	SD	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	SD
MM1	FTE.PUEBLO	7,2	0,3	5,0	0,5
MM2	SONDEO PUEBLO	6,3	0,2	5,6	0,5
MM3	S.GRANJA	6,6	0,2	8,2	0,5
MM4	S.OVEJA	7,6	0,2	5,6	0,5
MM5	HUERTA VIEJA	11,5	0,4	5,1	0,5

Tabla 4. Resultados de los análisis de 15-N y de O-18 procedente de la molécula de nitrato, en las aguas muestreadas.

	%N	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	SD	%C	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	SD
oveja	1,7	4,5	0,2	39,6	-27,3	0,2
ternera	2,3	11,7	0,2	33,2	-23,3	0,2
pollo	4,1	3,0	0,2	37,3	-24,0	0,2

Tabla 5. Resultados de los análisis de 15-N de los residuos animales.

Los sondeos alejados de esta granja (sondeos 1 y Oveja) muestran concentraciones de nitratos inferiores a 40 mg/L (tabla 3). Sin embargo se observa un aumento continuado en la concentración de nitratos en las aguas de la red de distribución desde el año 2002 (figura 2), que parece indicar que ha habido una fuente adicional de nitratos en la zona, ya que este aumento coincide con un descenso en la pluviometría y en la concentración de las aguas. Por ello es factible considerar que el origen de los nitratos puede atribuirse a la mencionada granja. Un aumento del uso de abonos orgánicos en la agricultura de la zona tendría un efecto similar, sin embargo no parece haberse dado este aumento en los últimos años.

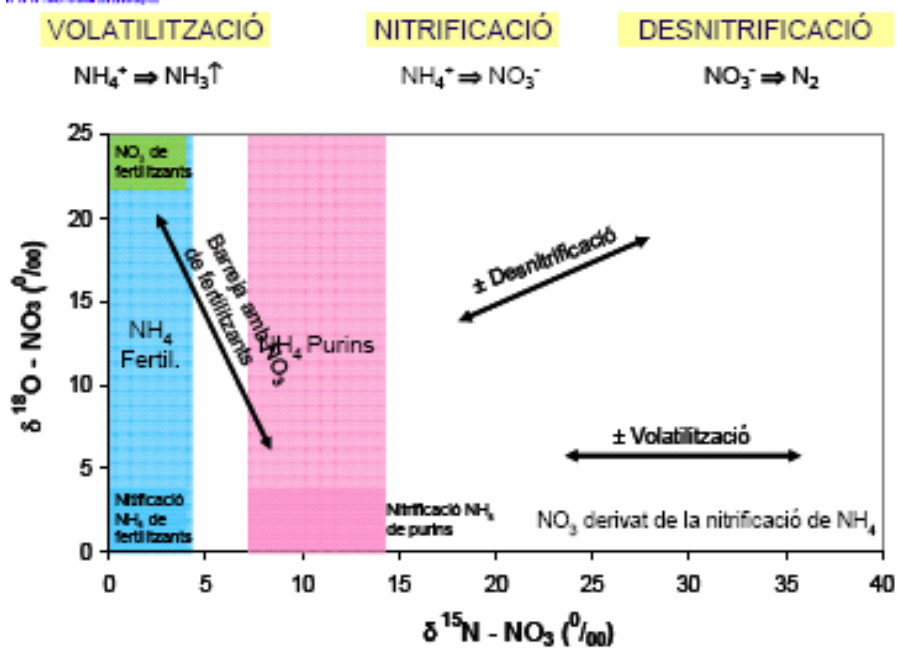


Figura 10.- Diagrama 15-N/18-O donde se han representado las composiciones de algunas de las fuentes de contaminación de nitrato y los principales procesos de ciclo de nitrogeno que afectan a la composición isotópica.(Soler, 2006)

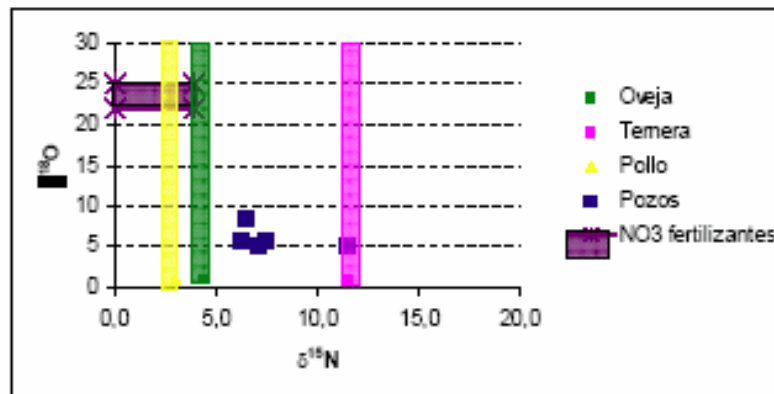


Figura 11.- Diagrama 15-N/18-O donde se han representado las muestras estudiadas (Soler, 2006).

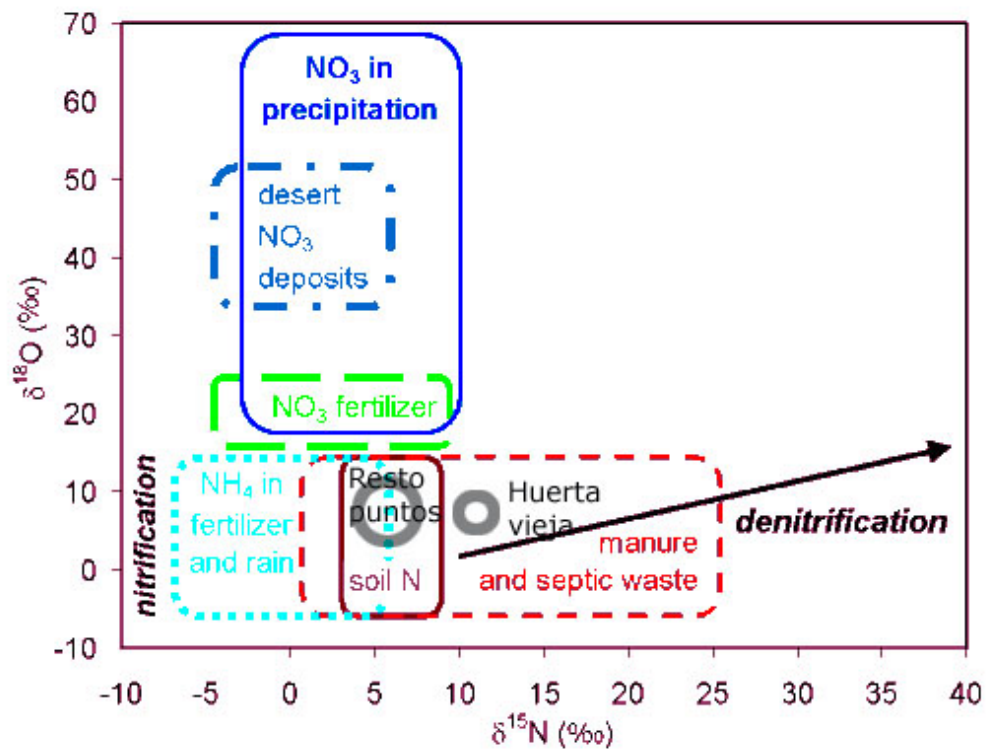


Figura 12.- Diagrama 15-N/18-O donde se han representado las muestras estudiadas.

8. RECOMENDACIONES

Ante los resultados obtenidos en el presente estudio se recomienda:

- medir de manera continuada el nivel piezométrico, para observar la evolución del mismo.
- muestrear mensualmente los nitratos y medir la conductividad eléctrica.
- retirar los vertidos existentes en la zona y no autorizar más, aguas arriba de las captaciones del Ayuntamiento.
- no emplear ningún tipo de abono en un radio entorno a las captaciones de 500 m.
- realizar un perímetro de protección en cantidad y calidad que contemple las captaciones de abastecimiento urbano existentes.

Madrid, mayo de 2006

Los autores del estudio

Fdo. Marc Martínez y Javier Arévalo

7. BIBLIOGRAFÍA Y PÁGINAS WEB

IGME (2005): Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento de agua potable a la localidad de Villaverde y Pasaconsol (Cuenca).

Kendall, C. (1998): Tracing nitrogen sources and cycling un catchments. In Isotope tracers in catchment hydrology. C. Kendall and J.J. McDonnell (Eds.) Elsevier Science B.V.; Amsterdam. Pp.519-576.

Soler, A. (2006): Resultados de los análisis de las muestras de N-15. Informe interno.

<http://www.miliarium.com/Proyectos/Nitratos/Isotopos/IsotoposEnNitratos/Delta.asp>

