



Universidad
Zaragoza

1542

Trabajo Fin de Grado

Evolución del contenido en nitratos
en aguas subterráneas de la Hoya de
Huesca (marzo 2016- febrero 2017)

Evolution of nitrate content
in groundwater of Hoya de Huesca
(march 2016 - february 2017)

ANEXOS

Autor:

Óscar Gracia Llinares

Directores:

Raquel Zufiaurre Galarza

José Antonio Cuchí Oterino

PONENTE:

Carlos Enrique Rubio
Navarro

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Grado Ingeniería Química

2017

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Conceptos generales	5
1.1 Ciclo del agua	5
1.2 El agua subterránea	5
1.2.1 Conceptos básicos	5
1.2.2 Tipos de acuíferos	6
Anexo II. Nitrógeno en el medioambiente	8
1.1 El ciclo del nitrógeno	8
1.2 Uso del nitrógeno en el entorno agrícola	9
1.3 El problema de los nitratos y las aguas subterráneas	11
1.4 Riesgos sanitarios del exceso de nitratos	14
1.5 Marco legal	14
2.5.1 Marco legal europeo	15
2.5.2 Marco legal estatal	16
2.5.3 Marco legal autonómico	16
Anexo III. Zona de estudio	19
3.1 Situación geográfica	19
3.2 Usos del territorio	19
3.3 Climatología	20
3.3.1 Temperaturas	21
3.3.2 Precipitaciones	21
3.4 Geología	23
3.4.1 Litoestratigrafía	23
3.4.2 Estructura geológica	24
3.4.3 Geomorfología	24
3.5 Aspectos hidrogeológicos de la zona de estudio	25
3.6 Hidrogeología de la zona de estudio	25
3.6.1 Antecedentes	25
3.6.2 Localización y límites de las masas de agua subterráneas	25
3.6.2.1 Acuífero del Saso de Bolea-Ayerbe	26
3.6.2.2 Acuífero de la Hoya de Huesca	29
3.6.3.3 Acuífero de Apiés	30
Anexo IV. Trabajo de laboratorio	31
4.1 Material	31
4.2 Métodos	31
4.2.1 Determinación pH	31
4.2.2 Determinación conductividad eléctrica	31
4.2.3 Determinación nitratos	32
4.2.4 Determinación sulfatos	32
4.2.5 Determinación cationes: magnesio, calcio, potasio y sodio	33
4.2.6 Determinación hidrogenocarbonatos	33
4.2.7 Determinación cloruros	33
4.3 Cálculos	34
4.4 Diagramas hidroquímicos	35
4.4.1 Diagramas Piper	35
4.4.2 Diagramas Stiff	35
Anexo V. Fichas de muestreo y datos de pH y concentración de nitratos	38
Anexo VI. Tablas resultados	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema del ciclo hidrológico. FCIHS, 2009	5
Figura 2 - Tipos de acuíferos según las características litológicas. (SIA, 2004)	6
Figura 3 - Tipos de acuíferos según estructura y funcionamiento. (SIA, 2004)	7
Figura 4 - Tipos de acuíferos según sus características hidrodinámicas. SIA, 2004	7
Figura 5 - Ciclo del nitrógeno. (www.miliarium.com).....	8
Figura 6 - Impacto antropogénico en el ciclo del nitrógeno (Sierra y Gómez, 2007).....	9
Figura 7 - Tendencias en los aportes de nitrógeno por fertilización química y fijación	9
Figura 8 - Distribución en el suelo del fertilizante Nitrógeno Amónico. (Irañeta, 2011).....	10
Figura 9 - Ciclo del nitrógeno. (http://recursos.cnice.mec.es)	10
Figura 10 - Zonas vulnerables a nitratos de España.	12
Figura 11 - Masas de aguas afectadas por contaminación por nitratos Demarcación del Ebro	12
Figura 12 - Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos agrarios en Aragón. CITA.	13
Figura 13 - Situación y municipios de la comarca de la Hoya de Huesca	19
Figura 14 - Usos del suelo según CORINNE	20
Figura 15 - Ombrotermogramas en Estación de Huesca Monflorite desde 2014 a 2017.....	22
Figura 16 - Esquema geológico regional del área de estudio. Hoja Ayerbe, 1:50000. IGME, 2009.....	23
Figura 17 - Masas de agua subterránea en la zona de estudio delimitadas por CHE, 2013	26
Figura 18 - Masa de agua definida por la CHE como Saso de Bolea-Ayerbe	26
Figura 19 - Localización de masas de agua pertenecientes a las Terrazas del Gállego	27
Figura 20 - Masa de agua Ayerbe-Fontellas (Cuchí, 2004).....	27
Figura 21 - Pozo en huertos de Lupiñén (Cuchí, 2004)	28
Figura 22 - Localización de la unidad Hoya de Huesca definida por la CHE, 2011	29
Figura 23 - Delimitación del acuífero de Apiés. Base visor IBERPIX	30
Figura 24 - Ejemplo de diagrama de Piper.....	35
Figura 25 - Ejemplo de diagrama de Stiff	35
Figura 26 - Diagramas Stiff. Muestreo de abril 2016	36
Figura 27 - Diagramas Stiff. Muestreo de septiembre 2016	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Temperatura media mensual/anual (OC) Estación meteorológica Huesca Aeropuerto	21
Tabla 2 - Valores de precipitación (en mm) mensual y anual en estaciones de la Hoya de Huesca	21
Tabla 3 - Valores de precipitación media mensual y anual (en mm) en la Estación Huesca Aeropuerto	22
Tabla 4 - Caracterización hidroquímica abril 2016.....	59
Tabla 5 - Caracterización hidroquímica septiembre 2016	60
Tabla 6 - Matriz Correlaciones Caracterización hidroquímica abril 2016.....	61
Tabla 7 - Matriz Correlaciones Caracterización hidroquímica septiembre 2016	61
Tabla 8 - Matriz de componentes abril 2016	62
Tabla 9 - Matriz de componentes septiembre 2016.....	62
Tabla 10 - Minerales estudiados por el programa <i>WATEQF</i>	63
Tabla 11 - Índices saturación mostrados por el programa <i>WATEQF</i> en abril de 2016	64
Tabla 12 - Índices saturación mostrados por el programa <i>WATEQF</i> en septiembre de 2016	65
Tabla 13 - Concentración de nitratos en mg/L en los puntos de marzo 2016 a febrero 2017.....	66
Tabla 14 - Comparativa temporal valores de nitratos	67

Anexo I. Conceptos generales

1.1. El ciclo del agua

El agua, como compuesto químico, puede adoptar, según las condiciones de presión y temperatura, diferentes estados físicos y también estar combinada químicamente. El agua, como cualquier elemento presente en nuestro planeta, está sometida a la acción de la energía solar y a la fuerza de gravedad, por ello está en continuo movimiento. A esta constante recirculación se denomina Ciclo del Agua. Los principales componentes del ciclo hidrológico son la precipitación, evaporación/evapotranspiración y la escorrentía superficial y subterránea. El agua de lluvia alimenta las escorrentías superficial y subterránea.

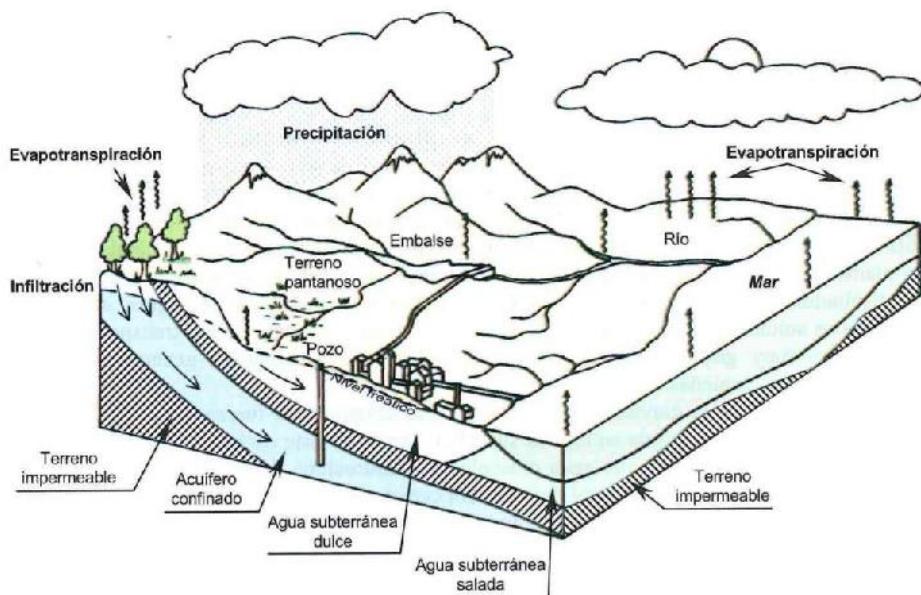


Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico. FCIHS, 2009.

1.2. El agua subterránea

1.2.1. Conceptos básicos

Las aguas subterráneas están almacenadas y se mueven por los acuíferos. Todo acuífero tiene una superficie de recarga, bajo la que se encuentra una zona no saturada. Por ella, el agua fluye por gravedad hasta alcanzar la zona saturada donde los huecos de la roca albergan el agua y actúan como medio de transporte hacia la zona de descarga.

Desde un punto de vista hidrogeológico, las formaciones geológicas bajo condiciones de saturación, se clasifican en acuíferos, acuitardos y acuiclusos. Un acuífero es una unidad geológica saturada permeable que puede transmitir significantes cantidades de agua bajo gradientes hidráulicos normales. Un acuitardo es una formación permeable pero incapaz de transmitir agua de forma considerable en condiciones normales. En materiales de baja permeabilidad, los acuitardos, pueden producir pequeños manantiales y rezumes. Un acuicluso es una formación geológica que almacena agua pero no la trasmite. Sus características no permiten la circulación de agua, lo que hace imposible su explotación.

La porosidad y la conductividad hidráulica son los parámetros hidrogeológicos más importantes que caracterizan las unidades geológicas. La porosidad es la fracción del volumen ocupado por los poros, no obstante, a efectos de movimiento de agua sólo intervienen los poros interconectados por lo cual se define el concepto de porosidad eficaz como la relación entre el volumen de poros

interconectados y el volumen total, término fundamental, desde el punto de vista hidrológico. Mientras que la porosidad total es independiente al tamaño de las partículas, la porosidad efectiva varía con el tamaño de grano de forma que una arcilla tendrá una porosidad eficaz mucho menor que una arena gruesa aunque sus valores de porosidad total sean equivalentes.

La conductividad hidráulica define la capacidad del medio poroso para transmitir el agua a través de sí mismo. Tiene magnitud de velocidad y en general, está ligado a la porosidad eficaz del terreno, a la interconexión y al tamaño de poros. En sedimentos no consolidados la conductividad hidráulica es un parámetro muy variable debido a motivos tan diversos como la granulometría de los materiales, las intercalaciones finas entre unidades más gruesas y a mayor escala a la propia variabilidad de depósitos de la cuenca sedimentaria.

1.2.2. Tipos de acuíferos

Cada sistema geológico tiene sus propias características hidrogeológicas determinadas por su litología, estructura, geomorfología, etc. Estas particularidades definen las características de los acuíferos que se encuentran en cada ambiente geológico. Estos, tradicionalmente se clasifican desde el punto de vista geológico en: fracturados, kársticos y detríticos atendiendo a la estructura y litología que alberga el volumen de agua. En los acuíferos de tipo fracturado, el flujo de agua se produce a través de fracturas de la roca y el movimiento del agua es lento. Son acuíferos típicos de rocas plutónicas donde la permeabilidad primaria de la roca es prácticamente nula que se incrementa por fracturación y alteración.

Los acuíferos de tipo kárstico se desarrollan en rocas carbonatadas, calizas y dolomías, el agua fluye por cavidades formadas por la disolución de la roca. Los estudios hidrogeológicos en rocas carbonatadas karstificadas son complejos ya que es muy difícil establecer un modelo conceptual preciso. En el Prepirineo de Huesca se encuentran varios acuíferos kársticos, relacionados con las calizas de la formación Guara del Eoceno inferior. Fuenmayor de Banzo o Font Rodona de Estopiñan, entre otros, que se utilizan para abastecimiento o riego [20].

Los acuíferos detríticos o porosos se caracterizan porque su permeabilidad se debe a la porosidad intergranular de tipo primario, el agua circula entre partículas singulares que pueden estar parcialmente cementadas. En el Alto Aragón, los materiales que los conforman se pueden diferenciar entre consolidados, como las areniscas del Mioceno del valle del Ebro, y no consolidados como morrenas glaciares, terrazas fluviales, glacis de tipo somontano o rellenos de valles [20].

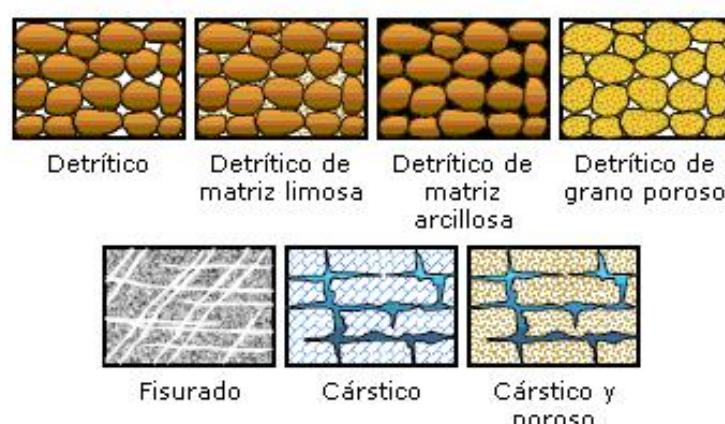


Figura 2. Tipos de acuíferos según las características litológicas. (SIA, 2004)

Los acuíferos pueden ser libres o confinados atendiendo a la presión hidrostática a la que está sometido el volumen de agua almacenado. Los acuíferos libres son aquellos en los que el techo superior no es una capa impermeable, existe una superficie libre del agua subterránea que está a presión atmosférica. Esta superficie se denomina nivel freático: Sube o desciende en función de los aportes o extracciones de agua. Se recargan desde la superficie por precipitación y

excedentes de riego. Estos acuíferos denominados también freáticos son abundantes en zonas agrícolas con regadío.

Los acuíferos confinados están limitados superiormente por una capa impermeable de forma que el volumen de agua almacenada tiene una presión superior a la atmosférica.

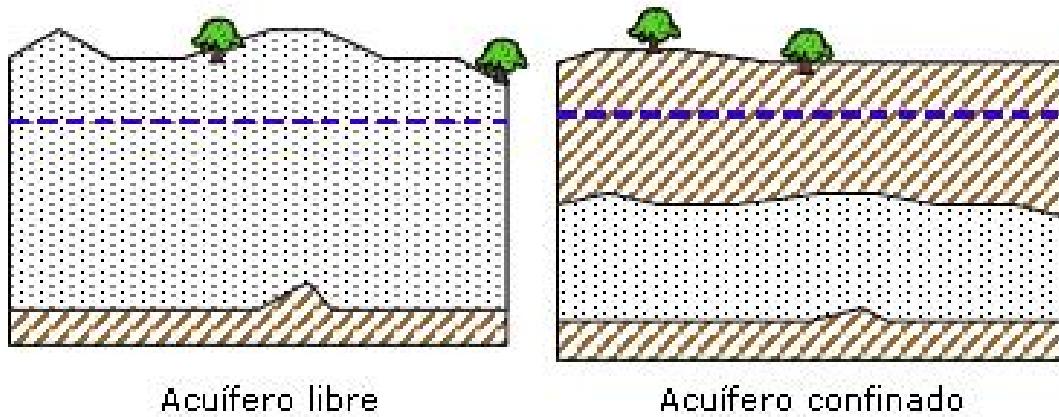


Figura 3. Tipos de acuíferos según estructura y funcionamiento. (SIA, 2004).

Los acuíferos semiconfinados son un caso particular de acuífero confinado, en los que el límite superior no es totalmente impermeable sino que permite una lenta circulación vertical de agua.

Las capas intermedias de baja permeabilidad por encima del nivel freático pueden formar acuíferos colgados, los lentejones poco permeables retienen el agua dando origen a zonas saturadas dentro de la zona vadosa. Descargan bien hacia la zona saturada o bien a través de pequeños manantiales o zonas de rezume.

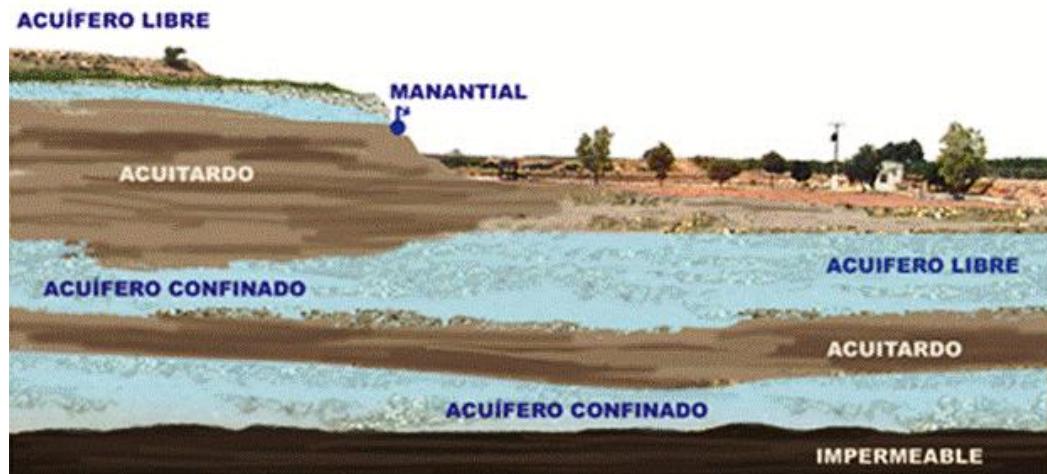


Figura 4. Tipos de acuíferos según sus características hidrodinámicas. (SIA, 2004).

Anexo II. El nitrógeno en el medio ambiente

2.1. El ciclo del nitrógeno

Además del ciclo del agua, existen diversos ciclos biogeoquímicos como los del carbono, fósforo, y nitrógeno. Este es un componente fundamental de las biomoléculas esenciales para la vida. En la naturaleza, el nitrógeno no es un elemento muy disponible por lo que es uno de los principales factores que controlan la dinámica, biodiversidad y funcionalidad de muchos ecosistemas.

Los principales procesos que componen el ciclo del nitrógeno se presentan en la figura 5.

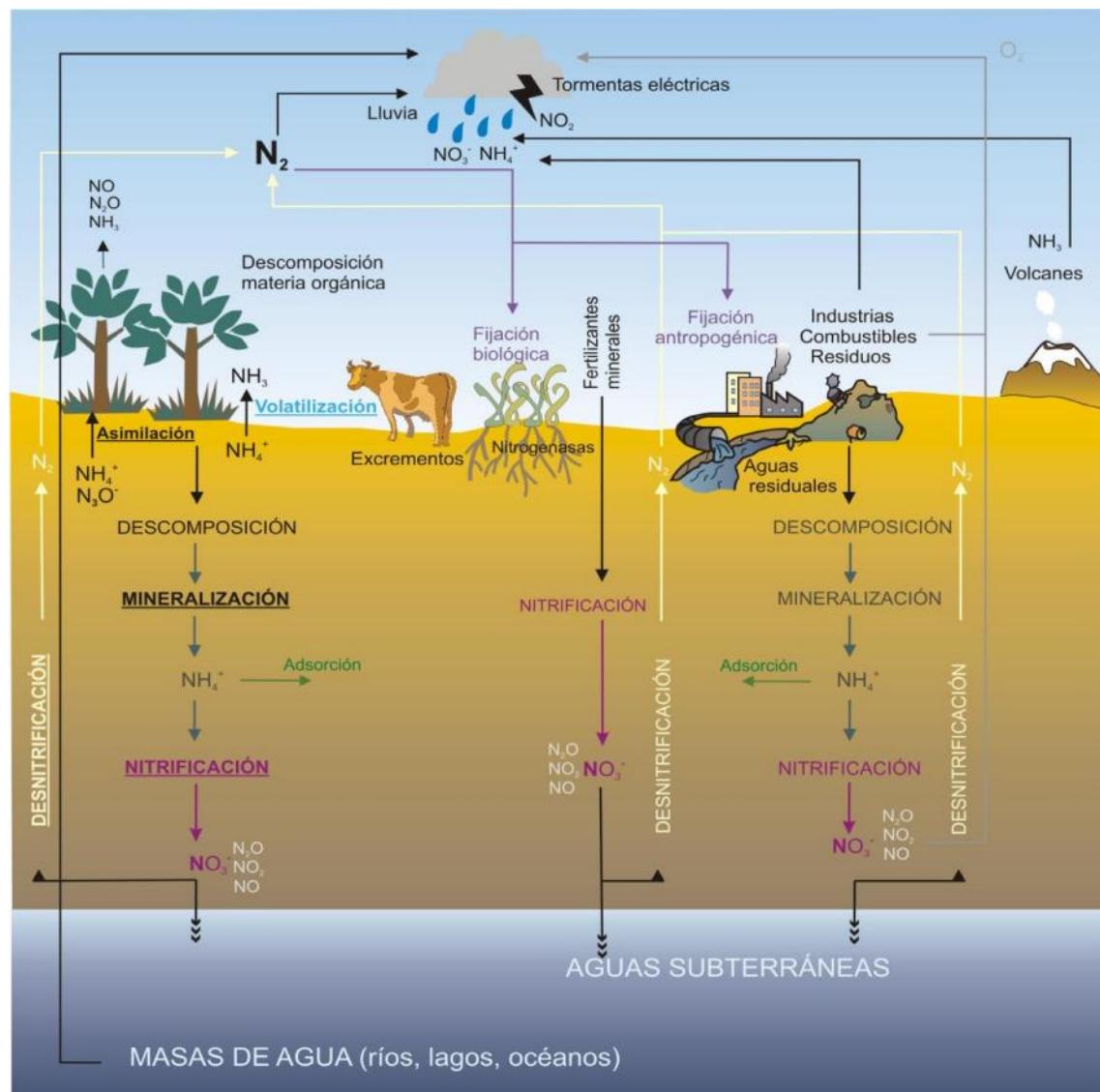


Figura 5. Ciclo del nitrógeno. (www.miliarium.com)

El ciclo del nitrógeno en los sistemas terrestres, integra un conjunto de transformaciones y procesos de transporte en el suelo. Las actividades agrarias, al igual que otras intervenciones humanas como la quema de combustibles fósiles, el cultivo masivo de gramíneas que alojan bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno o la liberación de nitrógeno desde reservorios naturales, introducen alteraciones en el ciclo natural que desencadenan procesos nocivos para el medio ambiente, como la eutrofización, la acidificación o la contaminación de los recursos hídricos. En la actualidad, la aplicación de fertilizantes agrícolas constituye la mayor alteración antrópica del ciclo del nitrógeno a escala global. La figura 6 esquematiza la aportación.

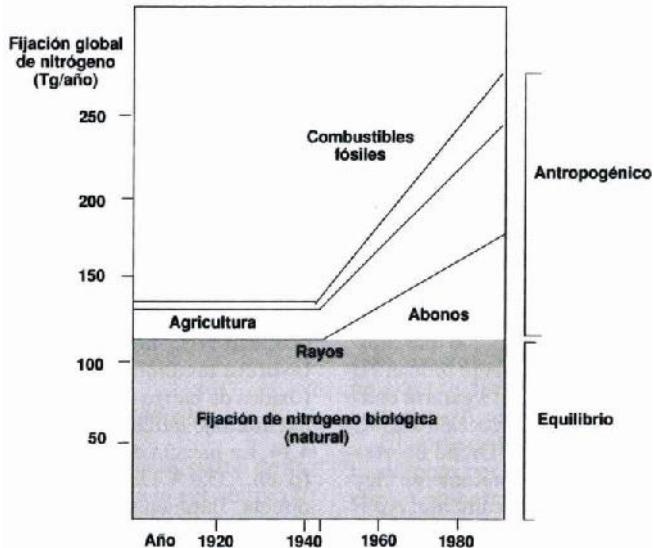


Figura 6. Impacto antropogénico en el ciclo del nitrógeno.

2.2. Uso del Nitrógeno en el entorno agrícola

El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de los seres vivos. El proceso de intensificación de las prácticas agrarias para obtener mayores rendimientos en los cultivos se basa fundamentalmente en el riego y en el abonado donde el sector de los fertilizantes nitrogenados desempeña un papel absolutamente imprescindible.



Figura 7. Tendencias en los aportes de nitrógeno por fertilización química y fijación de nitrógeno con relación al crecimiento de la población mundial desde 1860.

En la antigüedad, la fertilización se basaba en la aportación de estiércoles. A finales del siglo XIX, se explotaron, para insumos agrícolas, los yacimientos de guano de la costa sur del Pacífico y a principios del siglo XX se utilizaron los yacimientos de nitratos del norte de Chile. Durante la 1^a Guerra Mundial, el descubrimiento de la síntesis artificial del amoniaco, inicialmente relevante para uso militar, llevó a la producción de fertilizantes nitrogenados a bajo costo. En 1945, al acabar la Segunda Guerra Mundial, se inicia la producción masiva de fertilizantes como consecuencia del excedente militar. El máximo crecimiento del consumo anual de fertilizantes corresponde al periodo 1950-1975, en Europa occidental [21]. Posteriormente, se ha mantenido e incluso ha descendido algo como consecuencia de la mejora en las técnicas agrícolas y del uso más eficiente de los estiércoles y los restos orgánicos.

La aplicación de la fertilización nitrogenada causa problemas cuando la dosis excede de la cantidad crítica adecuada para cada tipo de cultivo, el lixiviado de los compuestos de nitrógeno

sobrantes, no absorbidos por las plantas, puede incorporarse a las aguas subterráneas sin causar ningún beneficio en la producción agrícola. La eficiencia en la absorción de nitrógeno por parte de los cultivos resulta máxima para dosis bajas y disminuye conforme se incrementan éstas. El utilizar más cantidad de fertilizante del necesario, además de ser nocivo para el medio ambiente, conlleva un gasto económico innecesario para el agricultor.

El nitrógeno añadido, puede estar en forma de urea, amonio o nitrato, aunque siempre sigue los mismos modelos de reacción que el nitrógeno liberado en los procesos biológicos (figura 8). Cuando el nitrógeno está en forma de ion nitrato es más vulnerable al lavado dada su gran movilidad en el medio que deriva de su persistencia, su alta solubilidad y su escasa reactividad; las formas amoniacales presentan una menor movilidad. A nivel mundial la urea es hoy el fertilizante nitrogenado más utilizado.

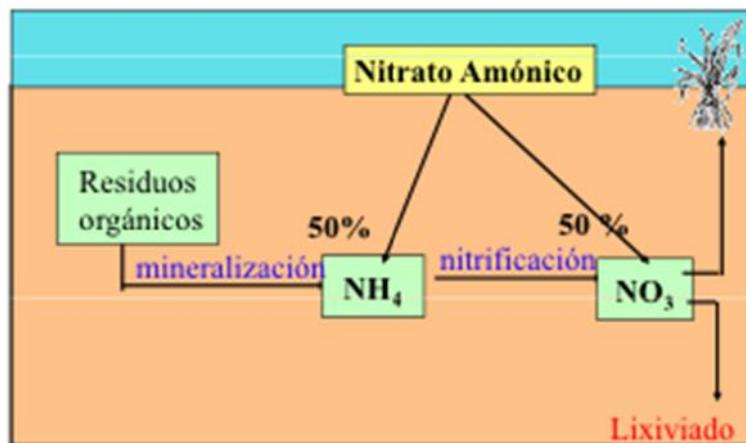


Figura 8. Distribución en el suelo del fertilizante Nitrógeno Amónico.

En los cereales de invierno, las formas nitrogenadas más utilizadas actualmente son: urea, nitrato amónico cálcico, abonos de liberación lenta, etc. Las diferentes especies aportadas como abono acaban generando ion nitrato. Y en presencia de materia orgánica pueden dar cantidades significativas de ion nitrito (figura 9).

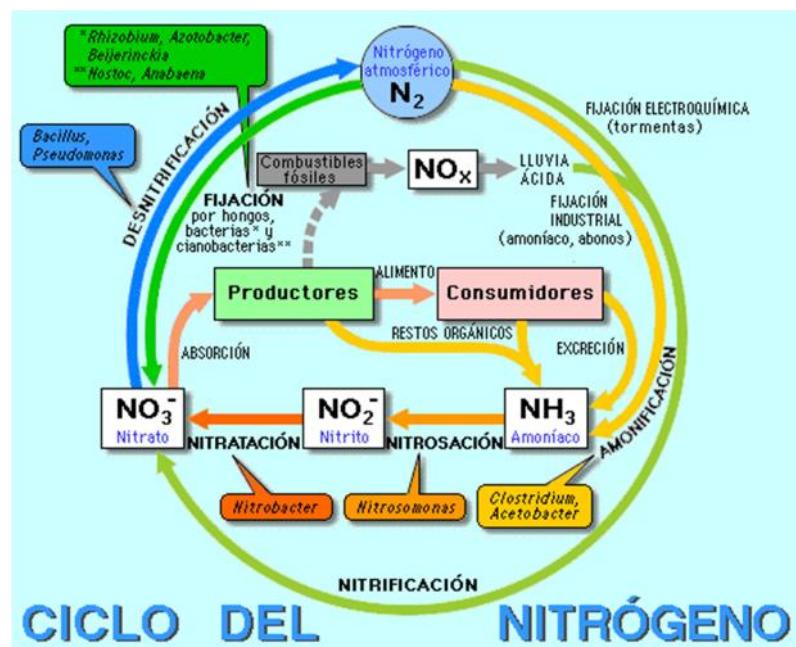


Figura 9. Ciclo del nitrógeno (<http://recursos.cnice.mec.es>)

2.3. El problema de los nitratos y las aguas subterráneas

Casi todos los tipos de abonado, por las reacciones bioquímicas del suelo acaban en forma de ion nitrato. Una parte del nitrógeno que se aporta al suelo, bajo la forma que sea, no es captada por las plantas. Dado que el ión nitrato no es retenido químicamente por el suelo, desciende en forma de solución durante la recarga de los acuíferos. Evidentemente, a mayor abonado nitrogenado más aportación de nitrato a las aguas subterráneas. Por ello, la contaminación por nitratos del agua subterránea es un problema ambiental muy importante a nivel mundial. En India y África, un 20-50% de los pozos estudiados contienen niveles de nitrato superiores a 50 mg/L y, en algunos casos, de hasta varios centenares de miligramos por litro. En USA, en 1994, la EPA (United States Environmental Protection Agency) señalaba a la agricultura como la causa principal de contaminación de las aguas subterráneas en los Estados Unidos. En Europa, la preocupación sobre este aspecto ambiental es compartida por todos los Estados y queda plasmada en las Directrices de la Unión Europea que los Estados Miembros han traspuesto a sus respectivas normativas estatales. El informe de la UE, 2008-2011, indica que el 14,4% de las aguas subterráneas superaron los 50mg/L. Las concentraciones más bajas se dieron en Finlandia, Suecia, Letonia, Lituania e Irlanda. Las más altas en Malta y Alemania.

En España, donde el sector primario tiene un peso importante, la contaminación difusa por nitratos de origen agropecuarios de las aguas subterráneas es un objetivo básico de la investigación actual. De forma muy general, en España se observa una mayor vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la costa mediterránea, en la mitad sur peninsular y en el archipiélago Balear, figura 10.

En la Cuenca del Ebro [22] se identifican 48 masas de agua entre las cuales están las del Saso de Bolea-Ayerbe y el aluvial de la Hoya de Huesca que forman parte de la zona de estudio de este trabajo. La figura 11 presenta el mapa de zonas con problemas.

En Aragón, la DGA ha determinado 17 zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario. En conjunto no representa una gran superficie en comparación con otras zonas de España. No obstante, en el territorio estudiado en este trabajo, la importancia de la vulnerabilidad de las masas de agua subterránea por nitratos de origen agropecuario se fundamenta en el aprovechamiento de los acuíferos para abastecimiento en numerosas poblaciones (Figura 12).

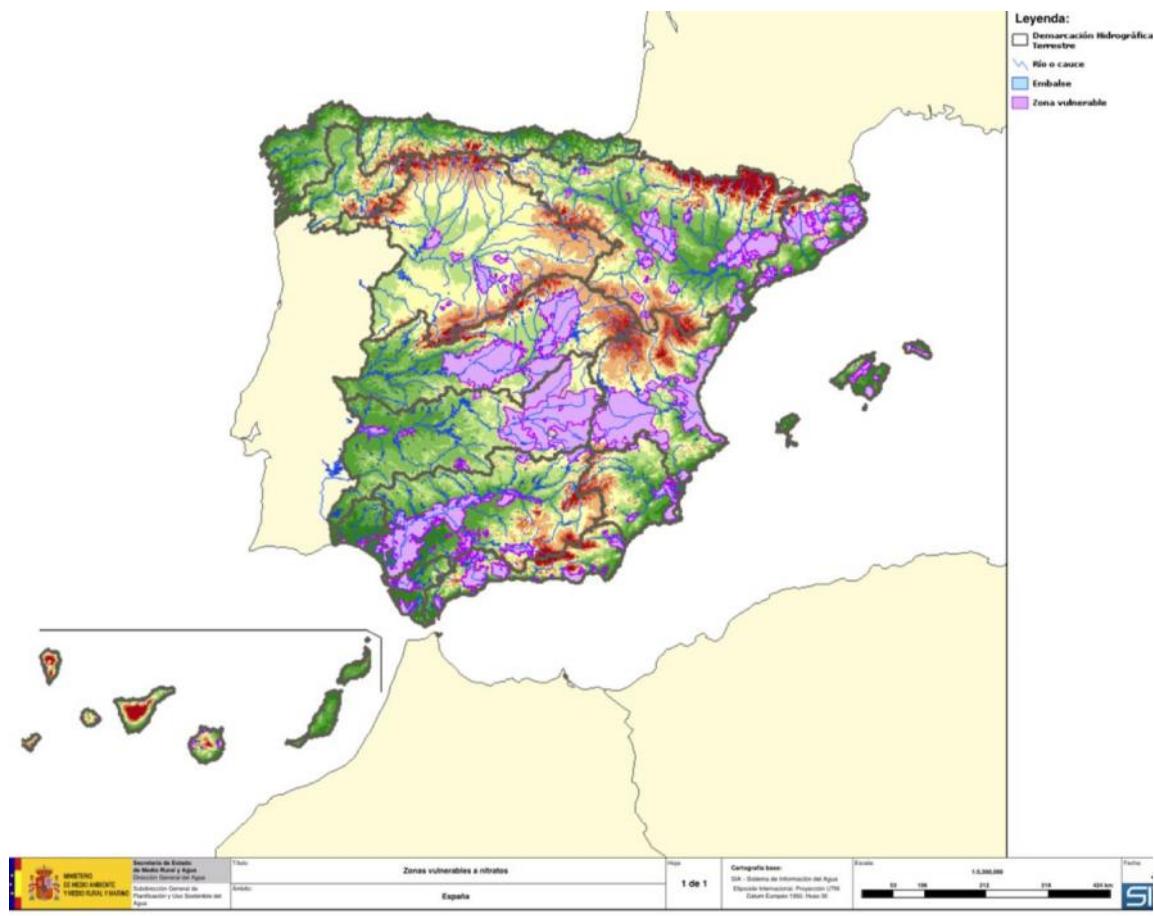


Figura 10. Zonas vulnerables a nitratos de España. Sistema integrado de inf. del Agua. MARM, 2014.

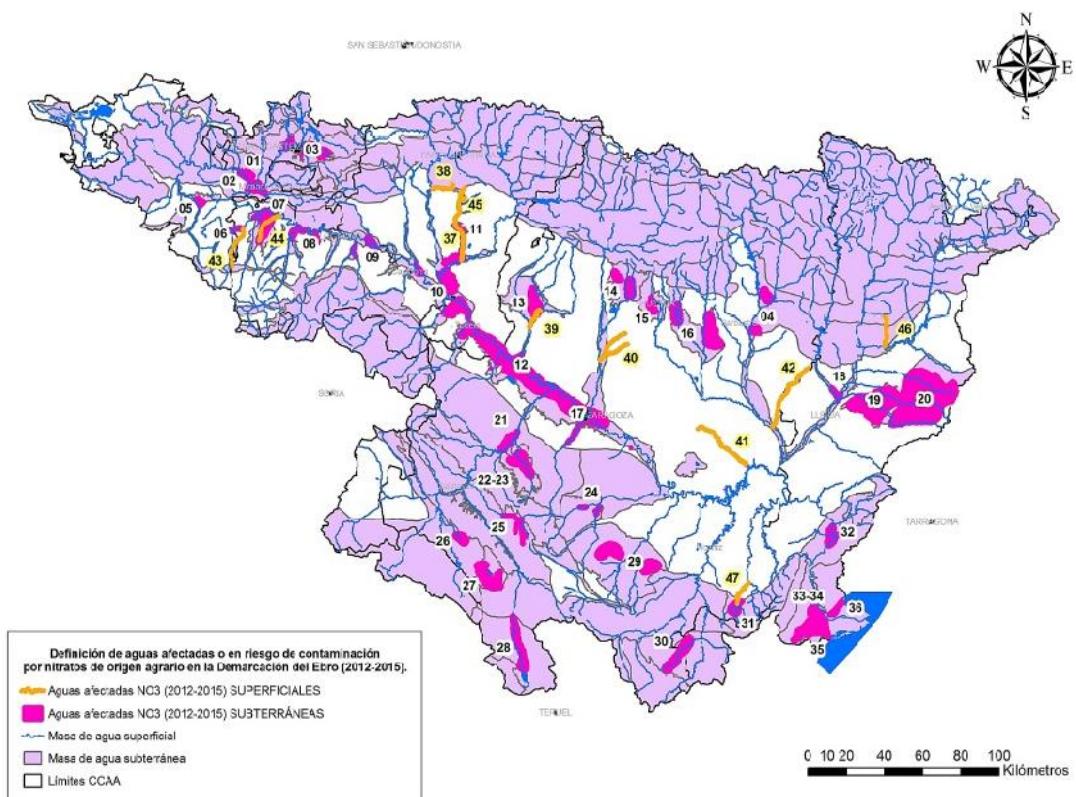


Figura 11. Determinación de las masas de aguas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario en la Demarcación del Ebro. (CHE, 2012).

COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN

ZONAS VULNERABLES

(ORDEN de 10 de septiembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente)

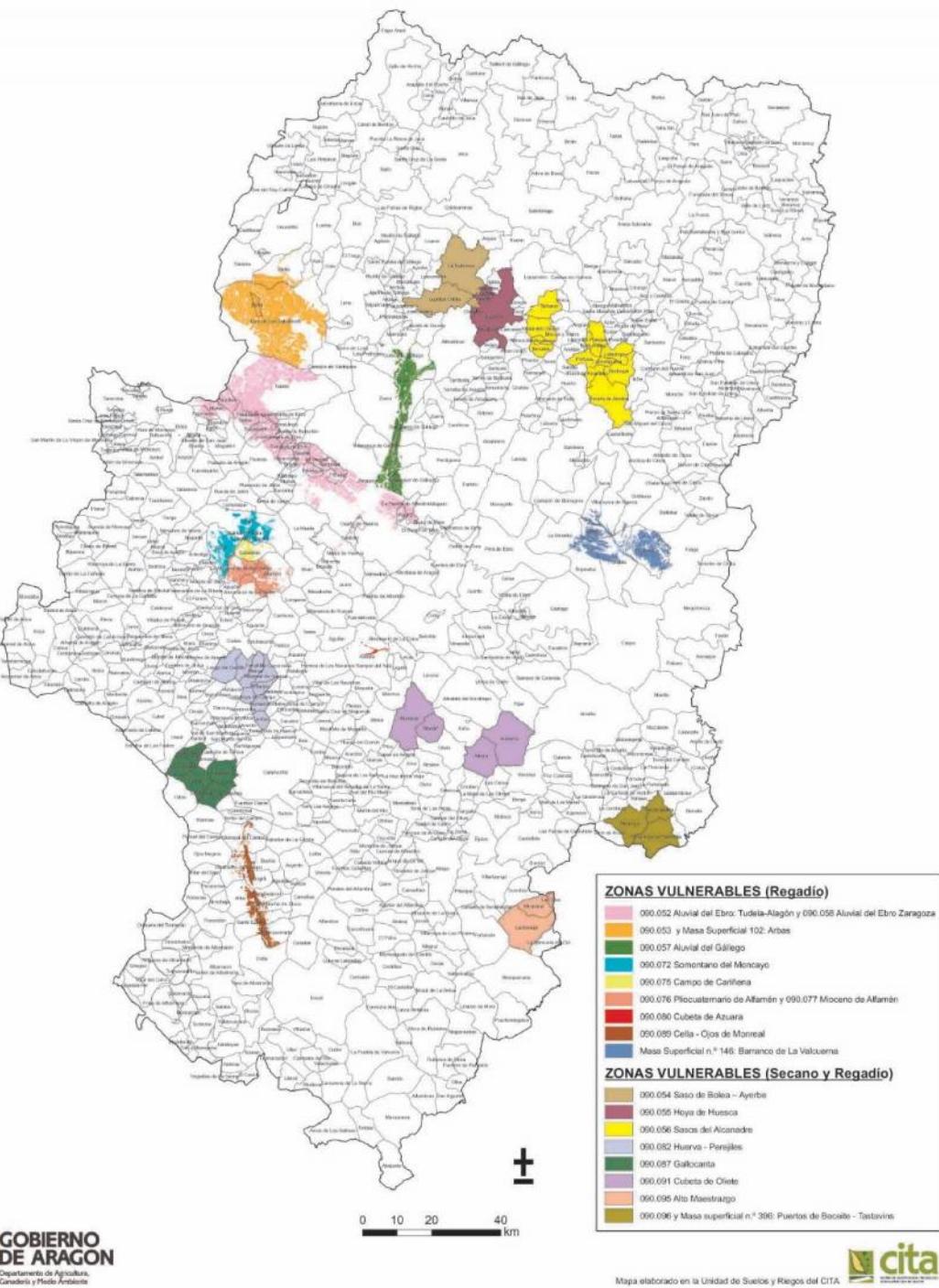


Figura 12. Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos agrarios en Aragón. CITA. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. 2013.

2.4. Riesgos sanitarios del exceso de nitrato

La contaminación de agua por nitratos es un problema de salud pública. Hay considerar las fuentes de aportación den nitratos (comida y bebida) y las diferentes especies del ciclo del nitrógeno.

En la actualidad la FAO/OMS recomienda una IDA (ingesta diaria aceptable) de 0-3,7mg/Kg de peso corporal a lo que hay que sustraer la IDA de nitritos estimada como máxima por la OMS en el rango de 0-0,06mg/Kg de peso corporal puesto que la toxicidad de los nitratos reside en su transformación en nitritos que sí es un compuesto tóxico para los humanos. Además, la OMS (Organización mundial de salud) fija un umbral tolerable de 50 mg/L en el agua de bebida. La simple presencia de nitritos se considera indeseable.

El ion nitrato está presente de forma natural como componente de muchos alimentos en concentraciones muy bajas. El principal peligro de los nitritos es que propician el desarrollo de la metahemoglobinemía, patología que se define como un exceso de metahemoglobina en la sangre de bebes lactantes, se trata de una hemoglobina anómala que al no trasportar oxígeno provoca un color azulado en la piel y las mucosas del bebe. Los síntomas propios de la falta de oxígeno son taquicardias, náuseas, vómitos, dificultad respiratorio, en casos muy graves incluso puede causar la muerte (OMS, 2004).

La razón de que afecte prioritariamente a bebes es la susceptibilidad de su hemoglobina fetal, el pH básico de su estómago que favorece la conversión de nitratos a nitritos y la inmadurez del mecanismo enzimático e inmunológico que no es capaz de revertir la metahemoglobina en hemoglobina como sucede en niños y en adultos.

Pese a que la OMS recoge que el 98% de los casos registrados de esta enfermedad ocurrieron en áreas con concentraciones de nitratos en agua subterránea superiores a 90 mg/L, algunos estudios cuestionan la relación de una alta concentración en nitratos con la metahemoglobinemía. En estos trabajos se considera que lo que realmente induce la aparición de esta alteración es la presencia de contaminación bacteriana en aguas con altos niveles de nitrato, aspecto que actualmente se controla, generalmente, mediante la potabilización de las aguas destinadas a abastecimiento.

Otro efecto de las concentraciones excesivas de ion nitrato convertido a nitrito es la posibilidad que tiene de originar moléculas con propiedades cancerígenas (como las nitrosaminas y nitrosamidas) al reaccionar en medio ácido con sustancias derivadas del metabolismo de los alimentos proteicos (carnes, pescados, huevos, leche y derivados de estos alimentos). Algunos estudios epidemiológicos acerca del rol del nitrato en la aparición de casos de cáncer no son concluyentes, en la comunidad médico-científica hay diversidad de opiniones a este respecto sin que, por el momento, ninguna de las corrientes prevalezca sobre la otra, de forma que es imposible valorar la influencia de la ingesta de nitratos para esta enfermedad.

2.5. Marco Legal

La contaminación de las aguas naturales superficiales y subterráneas causada por los residuos químicos de las actividades agropecuarias es uno de los problemas ambientales más frecuente e importante en casi todos los países desarrollados, y cada vez más, en muchos países en desarrollo siendo en éstos últimos más preocupante debido a las escasas técnicas y posibilidades de depuración del agua.

Dada la relevancia del problema, la Unión Europea, la administración del Estado Español y el Gobierno de Aragón han establecido una serie de normativas con el fin de reducir y prevenir la contaminación de las aguas por nitratos originarios de fuentes agrarias, para proteger la salud

humana y los ecosistemas acuáticos.

2.5.1. Marco legal europeo

La Unión Europea, ha constituido una serie de directivas que regulan la aplicación de fertilizantes nitrogenados, siendo uno de los aspectos más relevantes de esta normativa el establecimiento de códigos de buenas prácticas y de zonas vulnerables.

- *Directiva 91/676/CEE del Consejo de 12 de diciembre de 1991 relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.*

La finalidad de esta norma, es la aplicación por parte de los Estados Miembros de una serie de medidas para proteger la calidad del agua:

- Delimitación de aguas afectadas por contaminación o potencialmente contaminadas de no tomarse medidas atenuantes (Art. 3.1).
- Designación de zonas vulnerables, consideradas como tales las áreas de territorio cuya escorrentía afecte o pudiese afectar a la contaminación por nitratos de las aguas delimitadas anteriormente (Art. 3.2).
- Elaboración de códigos de buenas prácticas agrarias (Art. 4).
- Implantación de programas de acción en las zonas vulnerables designadas que recojan las medidas del Anexo III de la Directiva y las integradas en los códigos elaborados por los Estados Miembros en los códigos de buenas prácticas agrarias (Art. 5).
- Entrega de un informe cuatrienal a la Unión Europea en base a lo descrito en el Anexo V (Art. 10).

Adicionalmente, en la “Guía 2008 para la elaboración de informes por los Estados miembros de la Directiva 91/676/CEE: evaluación de resultados”, elaborada por la Comisión Europea, se señala la necesidad de identificar las aguas con posibilidad de estar afectadas por contaminación con nitratos de origen agrario. Se considera que un agua está en riesgo cuando tiene una concentración de ion nitrato comprendida entre 40 y 50 mg/L.

- *Directiva 1998/83/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.* En esta norma se establece el umbral límite de contenido en nitrato de las aguas en 50mg/L.

- *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas* (en adelante Directiva Marco del Agua o DMA).

La Directiva Marco del Agua es la norma que integra las actuaciones en cuestión de aguas, en ella se establece un planteamiento general basado en demarcaciones hidrográficas, con objetivos para el cercano 2015.

La DMA considera como zonas protegidas, que deben ser registradas de forma significativa en los Planes hidrológicos de cuenca, las zonas declaradas como vulnerables en virtud de lo previsto en la Directiva de nitratos (Art. 3.2).

- *Directiva 2006/118/CE, de 12 de diciembre de 2006 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.*

En esta Directiva se ratifica que las concentraciones de nitratos no deben superar el umbral de tolerancia de 50mg/L.

2.5.2. Marco legal estatal

En las últimas décadas, la gestión y planificación del agua subterránea en España ha evolucionado en base a un progreso legislativo que supuso un cambio radical en el concepto legal de agua subterránea que pasó de tener un carácter privado a formar parte del Dominio Público Hidráulico.

Desde 1986, cuando entró en vigor la Ley de Aguas, todo territorio con aguas subterráneas potencialmente útiles se considera una zona que debe gestionar y planificar la Administración Hidráulica. Posteriormente se desarrollaron diferentes normativas acordes a la Directiva Marco del Agua, cuya aprobación supuso el inicio del interés de la administración hidráulica española por los aspectos de calidad y contaminación del agua.

- *RD 261/1996, de 16 de febrero sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de actividades agrarias.* Transpone al ordenamiento jurídico español la Directiva 91/676/CEE.

El apartado 1 del artículo 4 del citado Real Decreto establece que los órganos competentes de las Comunidades Autónomas designen zonas vulnerables en sus respectivos ámbitos.

El apartado 2 del mismo artículo, determina que las zonas designadas como vulnerables deben ser examinadas y, en su caso, modificadas o ampliadas por los órganos competentes de las Comunidades Autónomas en un plazo adecuado y como mínimo cada 4 años.

En el artículo 6 determina que en las zonas designadas como vulnerables, los órganos competentes de las Comunidades Autónomas establecerán programas de actuación con objeto de prevenir y reducir la contaminación causada por los nitratos de origen agrario.

RD 1/ 2001, de 20 de julio por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

La norma establece la regulación del dominio público hidráulico, del uso del agua y del ejercicio de las competencias atribuidas al Estado delimitadas en el artículo 149 de la Constitución.

- *RD 140/2003 de 7 de febrero por el que se aprueban los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.*

Se establece en el Artículo 5, criterios de calidad del agua de consumo humano, que el agua de consumo humano deberá ser salubre y limpia, a efectos de este Decreto y en el caso de la concentración en nitratos establece en el Anexo B el valor límite en 50mg/L.

Resolución de 24 de marzo de 2011 de la Dirección General del Agua, por la que se determinan las aguas afectadas por la contaminación, o en riesgo de estarlo, por aportación de nitratos de origen agrario en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.

2.5.3. Marco legal autonómico

La mayor parte del territorio de Aragón (3,7 millones sobre 4,8 millones de hectáreas de superficie total) es utilizado en actividades de los sectores agrícola, ganadero y forestal, es decir, el sector primario. En Aragón es esencial la existencia de legislación que controle las actividades agropecuarias para prevenir y evitar la contaminación de los recursos naturales, desde el primer decreto de 1997 la normativa ha ido progresando de acuerdo a las Directivas comunitarias.

- *Decreto 77/1997, de 27 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Código*

de Buenas Prácticas Agrarias de la Comunidad Autónoma de Aragón y se designan determinadas áreas Zonas Vulnerables a la Contaminación de las aguas por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

En el artículo 4 del RD 261/1996, de 16 de febrero, se establece que corresponde a las Comunidades Autónomas la designación de las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos. En este decreto se designan solamente 2 subpolígonos de las Unidades Hidrogeológicas "Jalón Huerva" y "Gallocanta" (Art. 2)

En el Artículo 1 del Decreto 77/1997, se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias que clasifica los fertilizantes y según ésta propone unas recomendaciones generales sobre la aplicación de fertilizante a los suelos por grupos de cultivo.

Posteriormente se suceden Ordenes del Consejo pertinente que modifican el Decreto anterior, sólo se citan las más recientes:

- Orden de 11 de diciembre de 2008, del Consejero de Agricultura y Alimentación, por la que se designan y modifican las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunidad Autónoma de Aragón.

Publicada en el BOA el 2 de enero de 2009, en esta Orden se designan como zonas vulnerables, en el ámbito de este trabajo, las parcelas correspondientes a la Hoya de Huesca: Alerre, Banariés y Huesca. Se excluyen con respecto a las designadas en 2004 las parcelas de los términos municipales de Banastás, Chimillas, Igriés, Nueno y Tierz.

- Orden de 18 de mayo de 2009, del Consejero de Agricultura y Alimentación, por la que se aprueba el III Programa de Actuación sobre las zonas vulnerables a la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en la Comunidad Autónoma de Aragón.

El III Programa de Actuación describe los siguientes principios básicos sobre el aporte de fertilizantes nitrogenados en general:

A1) El Código de Buenas Prácticas Agrarias es de obligado cumplimiento en las Zonas Vulnerables.

A2) Las necesidades máximas de nitrógeno para los cultivos han de estar fijadas en base a la productividad de la cosecha. Se limitan los períodos de aplicación en función de la climatología de la zona y los requerimientos del cultivo. Para cubrir la exigencia de N del cultivo se tendrán en cuenta sinérgicamente todas las fuentes de aporte de N, la aplicación de fertilizantes nitrogenados es un recurso más no es único.

A3) Clasificación de los fertilizantes en función de la velocidad de liberación de nitrógeno.

A4) Se determinan las necesidades máximas de los cultivos y disponibilidad de N existente. Se diseña el Plan de Abonado a partir de los datos anteriormente descritos y se cumple el Libro-Registro de Aplicación de Fertilizante.

A5) y A6) No se realizarán aportes de fertilizantes en superficies agrarias en las que no se pueda producir absorción por los cultivos ni en zonas de suelos hidromorfos.

A7) La aplicación de fertilizantes en zonas inclinadas vendrá condicionada por la pendiente de la misma; cuando la pendiente sea mayor del 10% los fertilizantes no podrán ser abonos minerales.

- Orden de 10 de septiembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se designan y modifican las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunidad Autónoma de Aragón. (BOA nº 200, de 9 octubre 2013).

Esta orden de reciente aprobación modifica las zonas declaradas como vulnerables, dentro del entorno del estudio, las masas de agua subterráneas designadas son:

- Saso de Bolea-Ayerbe.
- Hoya de Huesca.
- Sasos del Alcanadre.

En términos municipales, se incluyen todas las parcelas tanto de regadío como de secano, Alerre, Apiés, Banariés, Bellestar del Flumen, Cuarte, Huesca y Tabernas del Isuela.

Se incluyen como zonas vulnerables las parcelas de los siguientes municipios: Alcalá del Obispo, Aniés, Arbaniés, Argavieso, Banastás, Barbuñales, Berbegal, Chimillas, Esquedas, Fañanas, La Perdiguera, Laluenga, Las Cellas, La Sotonera, Lierta, Liesa, Lupiñén-Ortilla (excluyendo las parcelas pertenecientes al polígono 11), Novales, Ortilla, Peralta de Alcofea, Pertusa, Plasencia del Monte, Ponzano, Pueyo de Fañanás, Quinzano, Siétar 17 Irres de Alcanadre.

- *Orden de 18 de septiembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se aprueba el IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables a la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en la Comunidad Autónoma de Aragón. (BOA nº201, de 10 octubre 2013)*

El nuevo IV Programa de Actuación que tendrá una vigencia de 4 años es similar al III Programa de Actuación en cuanto a forma y contenido. Se añade en cuanto al aporte de fertilizantes nitrogenados en general (apartado A), una nueva sección, A.8, referida a las distancias a respetar a las aguas superficiales y acuíferos, se declara que en las proximidades de masas de aguas, cursos de agua naturales y puntos de explotación de acuíferos (pozos y otros), se asegurará que no se producen aportes de fertilizantes nitrogenados a una distancia menor de 10 metros de estos elementos.

Anexo III. Zona de estudio

3.1. Situación geográfica

La zona de estudio de este trabajo fin de grado se ubica dentro del somontano altoaragonés en concreto en su parte más occidental denominada Hoya de Huesca.

La Hoya de Huesca es una comarca ubicada en la zona central de la provincia de Huesca, al pie de las Sierras exteriores en la zona centro-septentrional de Aragón. Surcada por los ríos Gállego, Isuela, Sotón, Flumen, Guatizalema, Alcanadre, Riel y Astón que modelan su relieve, constituye la zona más llana del somontano oscense.

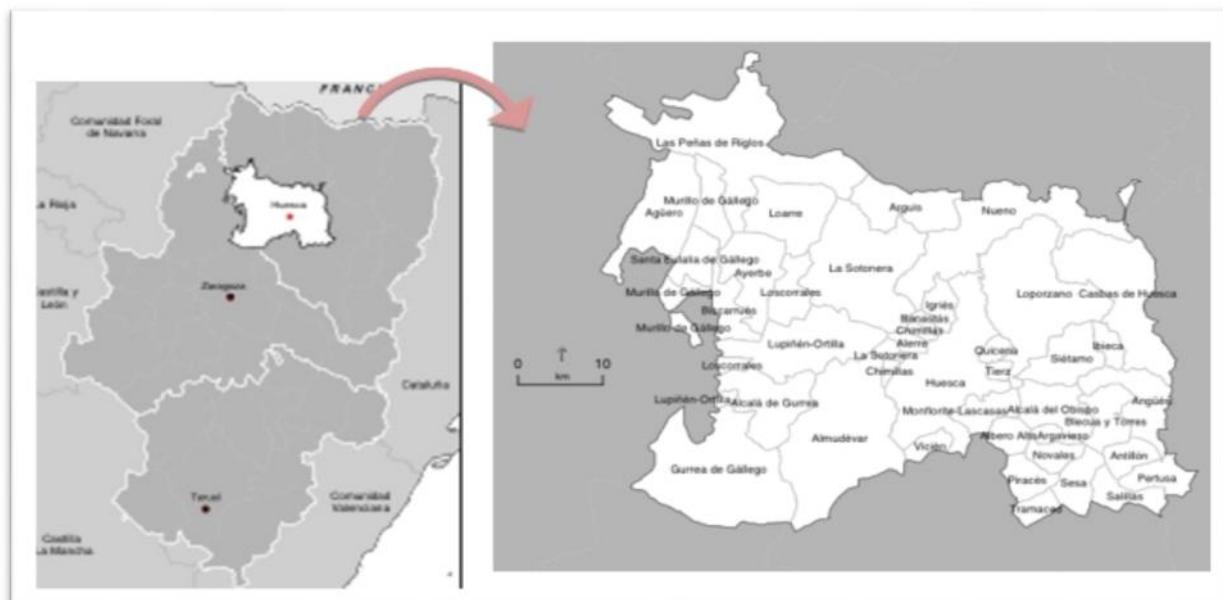


Figura 13. Situación y municipios de la comarca de la Hoya de Huesca. (Gobierno de Aragón, 2004)

El Somontano o piedemonte altoaragonés es una llanura escalonada con niveles que van descendiendo a medida que nos acercamos al centro de la depresión del Ebro, modelada por la acción hidrológica [23].

El área de piedemonte oscense estudiada está comprendida entre los ríos Gállego y Flumen; las sierras exteriores pirenaicas (Loarre, Caballera, Gratal y Águila) constituyen el límite norte.

La Comarca de la Hoya de Huesca tiene una población total de 66793 habitantes y tiene una superficie de 2525,60 km², integra 40 municipios y 125 núcleos de población (INSTITUTO ARAGONÉS DE ESTADÍSTICA, 2004). Al igual que el resto de Aragón, hay una tendencia al desequilibrio de distribución de la población, el 76,7% de la población que está censada en la comarca se concentra en la ciudad de Huesca, el resto está distribuida, de manera desigual, en los municipios restantes.

3.2. Usos del territorio

os usos del suelo de la zona de estudio se presentan en la figura 14. Se dividen principalmente en vegetación natural, labor de secano y labor de regadío. Con el fin de representar gráficamente lo indicado se ha elaborado el mapa de usos del territorio que viene a continuación.

La economía de la comarca se basa en el sector primario; en agricultura, el cultivo mayoritario es el de cereal, en menor porcentaje, almendros y huertos conforman el paisaje agrícola de la Hoya de Huesca. Con respecto a la ganadería en los últimos años ha aumentado la producción en la comarca debido al auge del sector. El sector terciario se centraliza en la capital de la provincia, Huesca, y en los municipios más poblados donde se concentran la mayoría de servicios y recursos.

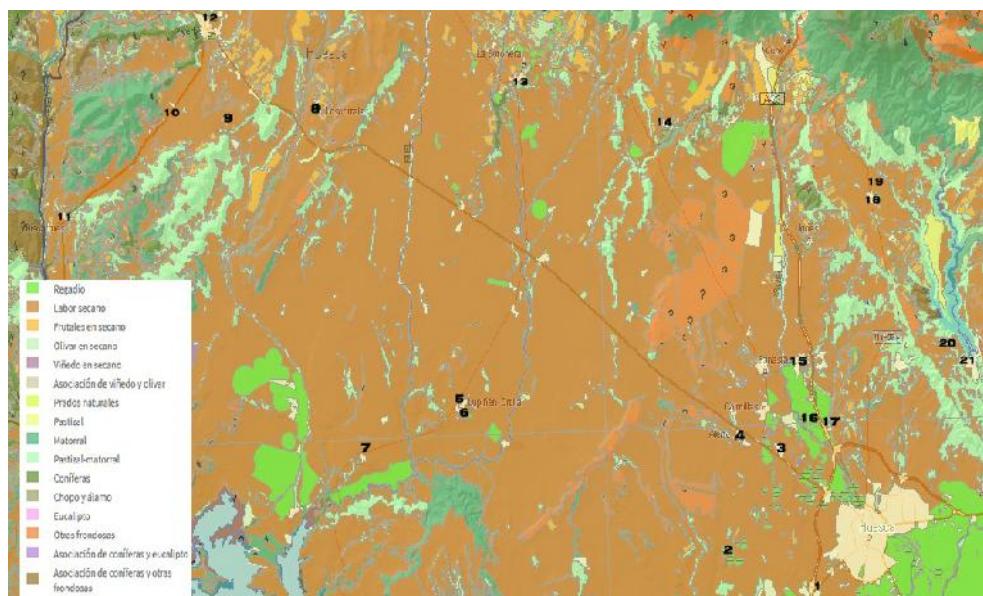


Figura 14. Usos del suelo según CORINNE.

En resumen, más del 50% de la superficie es de uso agrícola y en concreto de cultivos de secano que ocupan una superficie del orden del 45% del total de la comarca. En la zona de estudio los cultivos predominantes son los de cereal de invierno, principalmente cebada y en segundo lugar trigo. Guisantes y lino se usan como cultivos extensivos alternativos. Como cultivos leñosos, normalmente minoritarios, se encuentran viña, olivos y almendros. No obstante existen excepciones puntuales como en las cercanías del núcleo urbano de Lierda donde predomina el almendro.

3.3. Climatología

El Alto Aragón dentro de un contexto general de clima mediterráneo continental se caracteriza por tener un gradiente climático muy acusado; a nivel comarcal la Hoya de Huesca, situada a caballo entre el Pirineo y la depresión del Ebro, se caracteriza por tener un clima de transición entre estas dos grandes unidades, además de un gradiente altitudinal comarcal norte-sur, un efecto pirenaico de sombra de lluvia así como la existencia de valles cerrados y otros enclaves con microclimas particulares [24].

En invierno los días son soleados con temperaturas que descienden con la pérdida de luz solar, en las Sierras Exteriores las nevadas son ocasionales y en las zonas de menor altitud como Huesca o La Sotonera se producen heladas; en estas zonas deprimidas, debido a la influencia del Anticiclón de las Azores, se originan estados de inversión térmica localizados que provocan intensas nieblas. El verano es una estación cálida y muy seca suavizada con tormentas estivales. En otoño y sobretodo en primavera el clima es inestable, con paso de frentes lluviosos.

Es frecuente que en invierno y a principios de la primavera, masas de aire continental muy frío y seco procedentes del noroeste causen el Cierzo, fuerte y seco, que se origina en el valle del Ebro debido a la diferencia de presión entre el mar Cantábrico y el mar Mediterráneo.

3.3.1. Temperaturas

Las temperaturas son relativamente altas en las zonas donde el componente altitudinal es mínimo, como consecuencia de la continentalidad. Con el ascenso en altitud las temperaturas muestran un previsible descenso. Los valores medios de la Estación meteorológica de Huesca Aeropuerto (Monflorite), se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Temperatura media mensual/anual (OC) Estación meteorológica Huesca Aeropuerto. Fuente: AEMET

* Temperatura media mensual/anual (OC) Fuente AEMET: Guía resumida del clima en España 1971-2000.

Periodo	Estación	Media anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2017	Huesca (Monflorite)	-----	4,1	8,3	11,7	13,4	17,9	23,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2016	Huesca (Monflorite)	14,6	7,8	8,2	9,3	12,3	15,8	21,7	25,3	24,5	21,4	15,6	8,7	4,7
2015	Huesca (Monflorite)	15,5	5,9	6,3	11,4	14,5	18,9	23,4	27,3	24,2	19,0	15,8	10,9	8,6
2014	Huesca (Monflorite)	15,5	7,7	7,3	11,0	15,5	16,2	22,2	23,2	23,7	22,1	19,0	11,7	6,3
2013	Huesca (Monflorite)	14,1	6,6	6,4	9,6	12,3	12,6	19,1	24,9	23,9	21,0	17,4	10,1	5,8
2012	Huesca (Monflorite)	15,1	6,5	5,5	12,2	11,5	18,4	23,0	23,8	26,4	20,5	15,7	10,0	7,2
2011	Huesca (Monflorite)	15,4	5,2	8,6	9,8	15,6	18,7	20,7	22,8	25,4	22,6	17,2	11,3	7,1
2010	Huesca (Monflorite)	13,7	4,8	5,8	8,9	13,4	15,1	20,0	25,4	24,2	19,3	14,0	8,3	4,7
1971-2000*	Huesca (Monflorite)	13,6	4,9	7,0	9,6	11,4	15,3	19,7	23,4	23,3	19,5	14,3	8,9	5,6

3.3.2. Precipitaciones

La pluviometría en el Alto Aragón sigue un modelo estacional, se dan dos períodos cortos de lluvias en primavera y otoño mientras que en verano e invierno las lluvias son escasas. Al igual que la temperatura, las precipitaciones también tienen una distribución espacial relacionada directamente con la topografía y con la dificultad de penetración de los frentes atmosféricos. La tabla 2 presenta los valores de varias localidades de la zona de estudio.

Tabla 2. Valores de precipitación normal (en mm) mensual y anual en estaciones de la Hoya de Huesca de la zona de estudio durante el periodo 1981- 2010. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (IAEST), según datos AEMET.

Municipio Estación	Media anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ayerbe Ayerbe	606,6	37,8	31,1	34,0	69,7	65,1	44,9	32,4	39,5	57,9	76,2	65,2	52,8
Huesca Apiés	650,0	42,1	33,9	39,1	71,8	70,3	52,8	35,2	37,8	66,5	74,7	66,1	59,7
Los Corrales Los Corrales	523,3	31,6	27,5	31,0	55,4	57,2	43,9	22,3	31,6	54,2	65,8	58,1	44,6
Lupiñén- Ortilla Lupiñén Lloro	500,8	31,2	26,9	29,9	55,5	54,6	39,8	20,0	30,1	51,5	62,4	55,2	43,8

En los municipios ubicados más al norte, se advierte un incremento de los valores de precipitación, en general se dan valores mínimos en el mes de julio y máximos en el mes de mayo

siendo también elevados los valores registrados en el mes de octubre.

Tabla 3. Valores de precipitación media mensual y anual (en mm) en Estación meteorológica Huesca Aeropuerto.

*Precipitación media mensual/anual (en mm). Fuente AEMET: Guía resumida del clima en España 1971-2000.

Periodo	Estación	Media anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2017	Huesca (Monflorite)	-----	6	49	87	19	39	126	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2016	Huesca (Monflorite)	628	34	134	75	86	53	14	12	3	24	42	147	4
2015	Huesca (Monflorite)	407	20	22	89	17	3	52	49	43	62	25	24	1
2014	Huesca (Monflorite)	596	41	37	43	57	76	27	21	35	88	13	155	3
2013	Huesca (Monflorite)	506	45	10	134	61	35	72	5	35	32	42	6	30
2012	Huesca (Monflorite)	510	0	0	7	139	11	37	32	62	24	137	41	20
2011	Huesca (Monflorite)	372	31	12	77	28	57	52	6	4	13	27	58	7
2010	Huesca (Monflorite)	541	47	53	38	33	32	95	19	2	87	67	42	26
1971-2000*	Huesca (Monflorite)	535	39	32	34	53	62	47	20	38	54	54	50	51



Figura 15. Ombotermogramas en Estación de Huesca Monflorite desde 2014 a 2017.

Los años 2015, 2016 y principio de 2017, los más relevantes de cara a este estudio, fueron muy similares a los anteriores con máximos pluviométricos en primavera y mínimos en verano. Las

temperaturas fueron máximas en torno a 25°C de media, en el mes de julio y mínimas en febrero. Los ombrotermogramas señalan un clima mediterráneo continental.

3.4. Geología

La zona de estudio se sitúa, en el margen septentrional norte de la Cuenca del Ebro. Está formado básicamente por materiales cuaternarios y pliocuaternarios que recubren el terciario continental de la Cuenca del Ebro. Abarca sectores de las hojas del Mapa Geológico de España en escala 1:50.000, de Ayerbe, Apiés y Huesca.

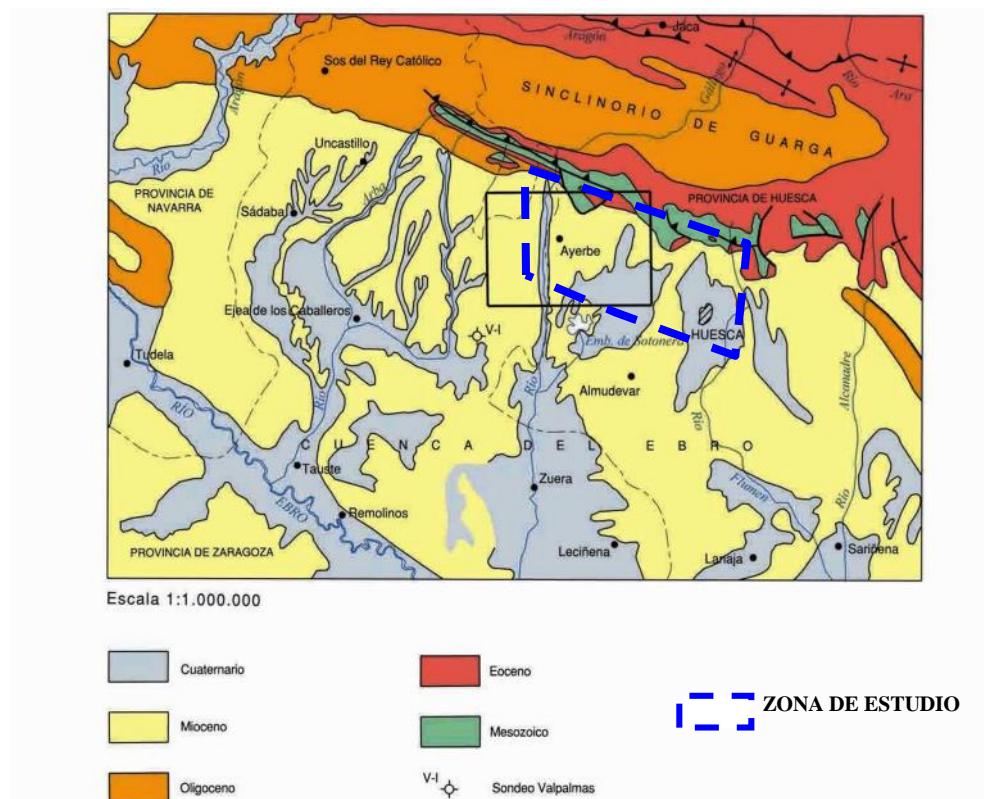


Figura 16. Esquema geológico regional del área de estudio. Hoja Ayerbe, 1:50000. IGME, 2009.

3.4.1. Litoestratigrafía

Desde el punto de vista litoestratigráfico, los materiales continentales terciarios de la Cuenca del Ebro que afloran en el sector estudiado corresponden a la Formación Uncastillo equivalente a la Formación Sariñena. El conjunto de la formación está compuesta por una facies detrítica gruesa (conglomerados) y otra facies constituida por una serie de limos y margas con alternancia de niveles de arenisca de grano grueso y escasa matriz con cemento esparítico con un paso muy brusco entre ambas. Esta alternancia de estratos subhorizontales de capas limo-arcillosas se denomina localmente salagón, de forma localizada los niveles de arenisca se engrosan en paleocanales (antiguos cauces excavados en los materiales arcillosos).

Los materiales del Cuaternario representan una superficie importante dentro del área de estudio, se pueden diferenciar en base a su incidencia hidrogeológica en dos unidades:

- Aluvio-Coluviones Pliocuaternarios que corresponden a los materiales depositados al pie de las Sierras que en forma de glacis originan planos elevados (sasos) desconectados totalmente de la red hidrográfica sobre los cuales son frecuentes las costras calcáreas (mallacán) [23].

- Aluvio-coluviones Cuaternarios, se trata de los depósitos detríticos asociados a sistemas aluviales y fluviales más recientes. Ocupan zonas de cotas más bajas y no suelen presentar costras calcáreas [23].

3.4.2. Estructura geológica

La estructura geológica de la zona de estudio es muy sencilla, los materiales tienen disposición horizontal-subhorizontal con leve buzamiento hacia el sur en algunas subunidades [23].

3.4.3. Geomorfología

La distribución litológica, las estructuras geológicas y la evolución morfoclimática controlan los rasgos geomorfológicos de este territorio. El control litológico es esencial, más que la estructura, originando formas muy características.

Las formas que conforman el paisaje del piedemonte son debidas a la historia geológica reciente; es decir a los procesos erosivos diferenciales ocurridos desde finales del Mioceno hasta la actualidad y a la actividad antrópica más reciente.

Los rasgos geomorfológicos más característicos del llano son:

- Relieves estructurales: son aquellos en los que la estructura de los materiales controla los procesos erosivos y por tanto el relieve resultante. Las plataformas estructurales con disposición horizontal de los sedimentos son ejemplos claros del resultado de una erosión diferencial, con formaciones a techo de calizas o areniscas consistentes y materiales margosos lábiles en las zonas inferiores.

- Glacis: localmente denominados *sasos* cuando quedan en alto por efecto de la erosión, son un elemento importante en el paisaje del somontano altoaragonés. Son superficies de suave pendiente y perfil ligeramente cóncavo que enlazan los relieves montañosos de las sierras con los fondos aluviales de los valles y las depresiones. Habitualmente, sobre los materiales terciarios se disponen gravas fluviales de procedencia local, con espesores de hasta 10 metros, recubiertas de costras carbonatadas (mallacán). Estos materiales granulares son muy permeables por lo que resultan idóneos para formar pequeños acuíferos.

El origen de estas formas tan características está en los episodios de corrientes de agua torrenciales en el pliocuaternario que erosionaron los materiales más blandos del piedemonte, quedando los materiales más resistentes (control litológico) en alto. Los glacis se escalonan en varios niveles, los más altos, como el del cerro de Huesca, son los más antiguos.

- Fondos de valle: son las zonas más bajas de fondo plano llenas de sedimentos aluviales locales. Se desarrollan terrazas fluviales continuas de espesores importantes en los cauces de los ríos Gállego, Alcanadre y Cinca. Esta serie de terrazas constituyen un excelente marco geomorfológico donde evaluar la evolución de los suelos a lo largo del tiempo o cronosecuencia. En las zonas más bajas de los cauces medios y bajos de los ríos es donde se desarrollan potencias mayores de estos depósitos fluviales.

- Laderas de acumulación: rampas suaves en las que se acumulan partículas de diferente

tamaño predominando los materiales finos. Las laderas de vertiente norte suelen ser más estables debido a la acción de la cubierta vegetal.

- Badlands: zonas de suelo desnudo, con cárcavas y pináculos, común en las áreas llanas, estas morfologías debidas a la erosión hídrica actual en materiales finos, crea problemas para el cultivo agrícola [24], en la zona de trabajo se distinguen al sur de Lupiñén.

3.5. Aspectos hidrogeológicos de la zona de estudio.

La zona de estudio está drenada por los ríos Isuela y Flumen, afluentes del Cinca; el río Gállego y sus afluentes Astón, Sotón y Riel. Todos estos cursos fluviales descienden desde las Sierras Prepirenaicas con dirección N-S hasta la zona plana modelando el relieve a su paso.

3.6. Hidrogeología de la zona de estudio

3.6.1. Antecedentes

A pesar de su trascendencia, hasta 1970 los estudios hidrológicos son exiguos y puntuales, hasta 1980 hay registros de investigaciones a nivel local y muy específicos, la mayor parte dedicados a solucionar el abastecimiento de pequeños municipios realizados por la Dirección General de Obras Públicas y la Diputación General de Aragón.

En 1988 se publicó la tesis doctoral de Sánchez Navarro, *“Los recursos hídricos de la Sierra de Guara y sus Somontanos”*. Este trabajo aporta una detallada descripción física e hidrológica del Somontano de Huesca además de la definición de diferentes unidades hidrogeológicas.

Un poco más adelante, en 1994, Garrido y Azcón detallan la primera propuesta de unidades hidrogeológicas en los somontanos basada en unidades geomorfológicas.

En 1996 la CHE desarrolla el Estudio de delimitación de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Ebro, en el año 2000 la misma entidad lo completa con el Estudio de recursos hídricos subterráneos de los acuíferos en la margen izquierda del Ebro, definiendo dentro de la cuenca del Ebro, unidades y dominios hidrogeológicos.

Las investigaciones desde la universidad, especialmente desde la EPSH, han aumentado en las últimas décadas, destacando el estudio *“Las unidades hidrogeológicas del Alto Aragón”* de Cuchí en 1998. Larrey y Lasaosa en 1994 contribuyen con una detallada caracterización hidroquímica de los acuíferos altoaragoneses en su proyecto fin de carrera *“Estudio de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el Somontano de Huesca”* y Gimeno en 1995 en su proyecto aporta una visión más temporal sobre contaminación por nitratos del acuífero de Apiés. En 2004, Cuchí en el estudio *“Caracterización de las masas de agua subterráneas de la provincia de Huesca: Somontanos”*, detalla las características de las principales unidades de agua subterránea.

3.6.2. Localización y límites de las masas de agua subterránea

La Confederación Hidrográfica del Ebro, en 2013, establece la unidad Hoya de Huesca dentro del Dominio del Ebro, diferenciando dos masas de agua subterránea denominadas: Saso de Bolea-Ayerbe y Hoya de Huesca que engloban muchos acuíferos estudiados en este trabajo, sin embargo no incluyen la zona estudiada en este trabajo entre Murillo de Gállego y Biscarrués.



Figura 17. Masas de agua subterránea en la zona de estudio delimitadas por CHE, 2013.

El trabajo se realiza en puntos de agua pertenecientes a los siguientes acuíferos:

3.6.2.1. Acuífero del Saso Bolea-Ayerbe

El acuífero engloba 5 municipios (Murillo de Gállego, Ayerbe, Santa Eulalia, Los corrales, Lupiñén-Ortilla) y su superficie es de 291,7 km². [22]. Se sitúa al sur de las sierras de Santo Domingo y de Guara, y al oeste de la Hoya de Huesca, incluyendo las cuencas de los ríos Riel y Sotón.

Se divide en tres unidades. Terrazas del Gállego, Ayerbe y Sotón

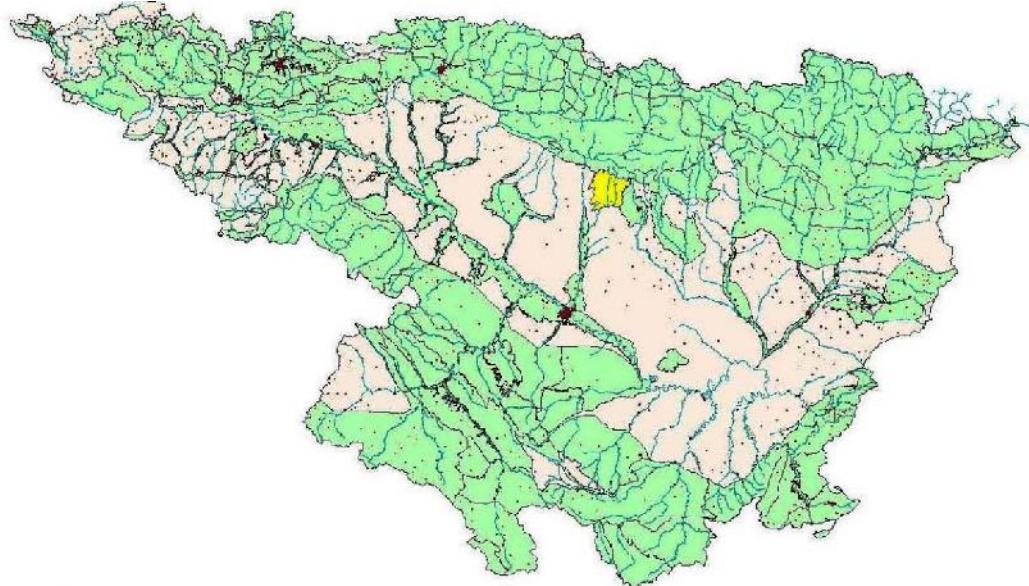


Figura 18. Localización de la masa de agua definida por la CHE como Saso de Bolea-Ayerbe [22]

Diversos retazos de terrazas del río Gállego constituyen una serie de acuíferos inconexos entre Murillo de Gállego y Biscarrués. Tienen superficie modesta y un espesor de grava del orden de una

decena de metros. Dan lugar a pequeñas fuentes por la periferia en el contacto entre las gravas y la base del mioceno impermeable.

- Masa de agua subterránea de las terrazas del Gállego.



Figura 19. Localización de masas de agua pertenecientes a la unidad denominada Terrazas del Gállego. Base visor IBERPIX.

- Masa de agua subterránea de Ayerbe-Fontellas.



Figura 20. Masa de agua Ayerbe-Fontellas [24]

Zona de la depresión de Ayerbe, protegida por el cerro de San Miguel y el cerro Monzorral. y queda limitada al este por el saso de Fontellas. Se recarga por precipitación, por pérdidas del río Seco y del riego del embalse de las Navas. Descarga por los barrancos de Badiello y San Julian y fuentes como la de la Fontaneta en Ayerbe o la de Fontellas [24]

- Masa de agua subterránea cuenca del Sotón.

Área muy compleja con pequeños acuíferos muy locales. Poco estudiada, se distinguen:

- El Saso de Loscorrales. Acoge un acuífero local que el pueblo utiliza como abastecimiento y drena al río Astón y al barranco de Quinzano (Las Paules A-132) [24].
- Astón o Barranco de Artasona. Debido al intenso uso para el regadío es una zona compleja hidrologicamente.
- Cuenca del Riel. Desde Aniés albergados en un glacis hasta Lubiñen existen varios acuíferos pequeños, relacionados con este modesto río. Limitados al oeste por la base impermeable miocena del saso de Loscorrales, al este se enlaza con la cuenca del Sotón. Descarga drenando la Paúl de Arbea y Plasencia del Monte, más al sur aflora al sur de Guadasespe en antiguos drenes abiertos y también en Lubiñen. Se capta en pozos en el entorno de Plasencia del Monte y sobre todo en los pozos de los Viveros de la DGA [24].



Figura 21. Pozo en huertos de Lubiñen [24].

- Acuífero del Sotón. Localizado entre Bolea y Esquedas, se capta por pozos en las cercanías de Esquedas. Se localiza en rellenos cuaternarios.
- Acuífero de Lierta. Con surgencia por varios manantiales en torno de Lierta que se utilizan tradicionalmente para abastecimiento y riego. Podría tener alguna conexión con acuíferos del Prepirineo [24].

Las dos últimas masas de agua subterráneas pertenecen a la unidad Saso de Bolea-Ayerbe, definida por la Confederación Hidrográfica del Ebro en 2005, se le atribuye una descarga global de 0,21 hm³, utilizada básicamente para el abastecimiento y riego de localidades como Loscorrales, Lierta y Esquedas [22].

3.6.2.2. Acuífero de la Hoya de Huesca

Esta masa de agua queda separada de la cuenca del Sotón por cerros de material Terciario. Dentro de esta unidad se diferencian. Se divide en dos unidades: Isuela y Apiés

- Acuífero del Isuela. Acotado al oeste por cerros testigo y por la meseta de la Corona de Arascués y por el este por los materiales impermeables de la margen izquierda del Isuela. Recarga por precipitaciones, pérdidas del cauce fluvial y de riegos. Aflora en los Ibones de Yéqueda.

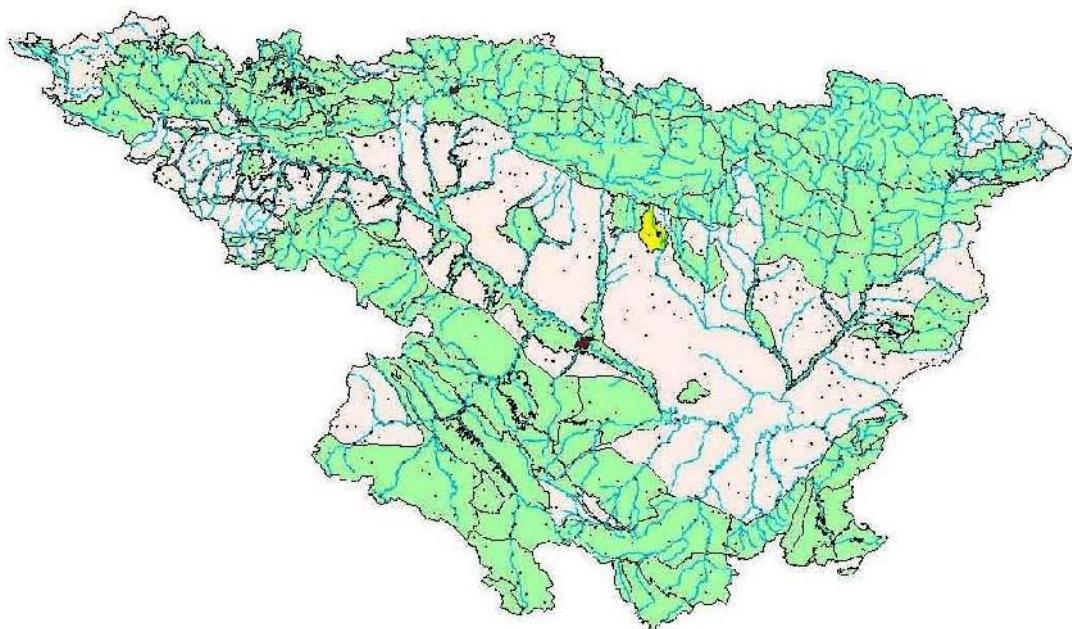


Figura 22. Localización de la unidad Hoya de Huesca definida por la CHE [22].

Más al sur, los cerros de Cillas dividen esta unidad, la rama oeste desciende por Cillas, Huerrios y Loreto. La disponibilidad de agua va condicionada por la almacenada en la Alberca de Cortés principal fuente de recarga. Se capta en la fuentes e ibones de Cillas y Banariés así como en numerosos pozos de Banastás, Chimillas, Alerre, Huerrios, Banariés, Cuarte y la EPSH entre otros. La rama este pasa entre los cerros de San Jorge y el casco antiguo de la ciudad de Huesca por un paleocauce que circulaba por el parque de Huesca y el parque de los Olivos [24]; descarga por la zona de las Paules de Estiche y también en la E.D.A.R de Huesca. La recarga por las pérdidas de riegos es importante. A las captaciones tradicionales de las fuentes de San Miguel, El Angel y del Ibón hay que añadir numerosos pozos particulares. La CHE define en 2005, la unidad de la Hoya de Huesca, que coincide prácticamente con esta masa de agua de la cuenca del Isuela. En 2005, la CHE estimó una recarga de 16Hm^3 y una descarga de $1,38 \text{ hm}^3$.

Los materiales cuaternarios, que recubren parcialmente los materiales terciarios, son materiales detríticos no consolidados. Desde el punto de visto hidrológico son materiales de alta porosidad y alta permeabilidad lo que los convierte en excelentes acuíferos. Debido a su escaso espesor, forman acuíferos modestos muy limitados localmente que oscilan fuertemente en función de las lluvias y los riegos, acusando las épocas de estiaje y con tiempos de residencia del orden de un año como máximo.

3.6.2.3. Acuífero de Apiés

El acuífero cuenta con una extensión superficial reducida, de unas 800 ha, situado en una pequeña cuenca en la zona de Apiés. Esta se encuentra en la transición entre las Sierras Prepirenaicas y los Somontanos altoaragoneses. Los límites laterales del acuífero se sitúan en el barranco de Lienas y los escarpes de Sabayés, Corona de la Virgen y canteras de Fornillos [25].

Descarga por evapotranspiración, en las zonas de paules, y al río Flumen aflorando agua en humedales naturales en la zona del camino de Lienas. Se capta en diversas fuentes como la de Lienas y Apiés así como en algunos pozos en las inmediaciones del pueblo homónimo, para abastecimiento y riego [24].



Figura 23. Delimitación del acuífero de Apiés. Base visor IBERPIX.

Anexo IV. Material y métodos

4.1. Material

Para llevar a cabo la campaña de muestreo se ha utilizado el material listado a continuación.

- Conductímetro digital: Marca CRISON MM40, con una resolución de 0,01.
- Botellas de tereftalato de polietileno (PET).
- Material vario: Cubos, vasos, cuerda, cuaderno, bolígrafo y rotulador indeleble.

Para llevar a cabo el análisis de las muestras de agua en laboratorio se ha utilizado una serie de material listado a continuación:

- Espectrofotómetro molecular de doble haz UNICAM UV/VIS: Utilizado para la medición de nitratos y sulfatos.
- Espectrofotómetro de emisión atómica de llama SpectrAA 110: Utilizado para la medición del calcio, magnesio, potasio y sodio.
- pH-metro CRISON MM40.
- Material básico de laboratorio: Vasos de precipitados, buretas, pipetas, erlenmyers...
- Reactivos: Los citados en los propios métodos.

4.2. Métodos

4.2.1. Determinación del pH

La determinación del pH se realiza mediante una técnica potenciométrica (electrodos selectivos de iones) y para ello se utiliza el pH-metro como equipo instrumental. El principio en el que se fundamenta es la medida de la diferencia de potencial eléctrico generado entre un electrodo selectivo de vidrio y otro electrodo de calomelanos tomado como referencia. El potencial del primero varía con la concentración de H^+ , y el de calomelanos presenta un potencial constante. Normalmente se utiliza un electrodo de pH combinado.

Para realizar las medidas, el electrodo de pH se sumerge en la muestra de agua y cuando se alcanza el equilibrio, la señal se estabiliza y se obtiene directamente el valor de pH. El pHmetro es necesario calibrarlo previamente con disoluciones tampón de pH 4 y pH 7.

4.2.2. Determinación de la conductividad

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de una disolución acuosa para conducir la corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de los iones presentes en dicha disolución.

Para realizar las determinaciones se emplea un conductímetro que dispone de una sonda (sistema de dos electrodos) la cual se sumerge en la muestra de agua originándose una caída del voltaje debida a la resistencia de las sales disueltas al paso de la corriente. De forma indirecta se obtiene el valor de la conductividad expresada como mS/cm o μ S/cm 20°C (S, Siemens).

Como la conductividad varía con la temperatura, el valor que se toma es la conductividad referida a una temperatura de 20°C ya que el equipo dispone de un termopar. El conductímetro se debe calibrar periódicamente con disoluciones patrón de KCl.

4.2.3. Determinación de nitratos

La determinación de nitratos se realiza mediante la espectrofotometría de absorción molecular en el UV a una longitud de onda de 220 nm, método aplicado para muestras de agua natural con bajo contenido en materia orgánica, ya que el principal problema del método son las interferencias debidas a la presencia de materia orgánica.

Para corregir dichas interferencias se debe realizar una segunda medición en el instrumento, a una longitud de onda de 275nm, donde solo absorbe la materia orgánica. Posteriormente se realiza una corrección de las absorbancias a las distintas longitudes de onda para obtener únicamente la absorbancia producida por los nitratos.

$$A_{NO_3^-} = A_{220} - 2 A_{275}$$

Este método es aplicable, siempre y cuando el valor de la corrección a 275nm no supere el 10% de la lectura a 220nm.

El procedimiento de análisis es el siguiente. Se toman la alícuota de agua necesaria en cada muestra, se añaden 2 mL de HCl 1N para evitar interferencias de carbonatos. Seguidamente se añade agua destilada hasta enrasar a 100 mL, posteriormente se mide la absorbancia de esta disolución en el Espectrofotómetro a una longitud de onda de 220 nm y finalmente a 275 nm.

Previo al análisis de la muestra, se debe realizar un calibrado con patrones de nitratos (rango de trabajo 1-30 mg/L) preparados a partir de una disolución patrón de KNO_3 de 100 mg/L y siguiendo el mismo procedimiento aplicado a las muestras. También se prepara un blanco para ajustar el “cero instrumental” en el equipo

El equipo instrumental para llevar a cabo la determinación de nitratos (así como fósforo y sulfatos) es el espectrofotómetro de absorción molecular, cuyo funcionamiento es el siguiente. La muestra se coloca en una cubeta transparente (cuarzo para el ultravioleta y vidrio o plástico para el visible). El equipo dispone de dos lámparas (una para el ultravioleta y otra para el visible) que emiten radiación electromagnética policromática. El monocromador permite seleccionar la longitud de onda deseada que incide sobre la muestra. La radiación no absorbida llega a un detector que la convierte en energía eléctrica, y por diferencia entre radiación incidente y la saliente, se obtiene la medida de Absorbancia, proporcional a la concentración del analito según la Ley de Beer.

4.2.4. Determinación de sulfatos

La determinación de sulfatos se realiza mediante el método turbidimétrico-. Espectrofotométrico que se basa en la medida de la turbidez originada en una disolución por la formación de una suspensión de $BaSO_4$. Se emplea un espectrofotómetro de absorción molecular en el visible a una longitud de onda de trabajo de 420 nm.

El procedimiento aplicado es el siguiente. Se toma una alícuota de muestra (10-20 mL) en matraz aforado de 50 mL, se le añaden 2 ml de HCl y se agita. A continuación se añade agua hasta los 40 mL, 5 mL de reactivo precipitante/estabilizante (Ba_2Cl 0,5 M y agar-agar 1,5 %) y se enrasa. Se agita suavemente durante 1 minuto, y se deja reposar unos 5 minutos para estabilizar la suspensión. Finalmente se mide la absorbancia.

Previo al análisis de la muestra, se debe realizar un calibrado con patrones de sulfatos (rango de trabajo 5-40 mg/L) preparados a partir de una disolución patrón de K_2SO_4 de 500 mg/L y siguiendo el mismo procedimiento aplicado a las muestras. También se prepara un blanco para ajustar el “cero instrumental” en el equipo.

4.2.5. Determinación de cationes: magnesio, calcio, potasio y sodio

La técnica empleada es la Espectroscopía atómica a la llama. Calcio, potasio y sodio se miden por emisión, a 422,7 nm, 766,5 nm, y 589 nm respectivamente, y el magnesio por absorción a 202,6 nm. Las muestras de agua no requieren un tratamiento previo, por lo que se miden directamente en el equipo después de ser filtradas y realizar la correspondiente dilución en los casos en los que sea necesario.

El fundamento de estas técnicas es el siguiente. La espectroscopía de absorción atómica consiste en atomizar la muestra de agua por acción de una llama, convirtiendo los compuestos químicos a átomos libres en su estado fundamental, susceptibles de absorber parte de la radiación de su propia naturaleza emitida por una lámpara de cátodo hueco propia del elemento en cuestión.

La radiación no absorbida por los átomos pasa por un monocromador, que selecciona la longitud de onda deseada del metal, separándola de la radiación policromática procedente de la llama. La radiación no absorbida llega a un fotodetector que la convierte en energía eléctrica, y por diferencia entre radiación incidente y la saliente, se obtiene la medida de Absorbancia, la cual es proporcional a la concentración del elemento en las muestras según la Ley de Beer.

El fundamento de la espectroscopía de emisión atómica es el mismo que el anterior, con la diferencia de que en este caso no se necesita una fuente de emisión, sino que es la propia llama la que suministra suficiente energía para producir la excitación de los átomos del analito. Cuando éstos pasan del estado excitado a uno de menor energía o al fundamental emiten la radiación electromagnética característica de los elementos presentes en la muestra. Dicha radiación, como en el caso anterior, pasa por un monocromador que permite seleccionar la longitud de onda deseada dependiendo del elemento a determinar. La radiación llega al fotodetector que mide la potencia radiante emitida, que entonces es amplificada y enviada al registrador para dar la señal de emisión, la cual también es proporcional a la concentración del elemento.

Previo al análisis de la muestra, se debe realizar un calibrado para cada catión, a partir de las disoluciones patrón correspondientes. Rango de trabajo del magnesio (0,5-15 mg/L), del calcio (10-100 mg/L), del sodio (1-30 mg/L) y del potasio (1-10 mg/L).

4.2.6. Determinación de los Hidrogenocarbonatos

La alcalinidad en aguas naturales se debe principalmente a la presencia carbonatos (CO_3^{2-}) e hidrogenocarbonatos (HCO_3^-). Teniendo en cuenta el equilibrio ácido-base y dado que las muestras analizadas tienen un pH inferior a 8,3 la especie predominante son los hidrogenocarbonatos, por lo que el método que se describe a continuación permite calcular los dos parámetros.

El método consiste en una volumetría ácido-base utilizando HCl como agente valorante y verde de bromocresol como indicador. Para ello, se toman 50 mL de la muestra de agua en un erlenmeyer, se añaden unas gotas de indicador y se valora con una disolución de HCl 0,1 M (previamente estandarizada frente al patrón primario Na_2CO_3) hasta observar el viraje del indicador (azul a verde) que tiene lugar cuando se alcanza un pH de 4,5.

La reacción de neutralización es la siguiente:

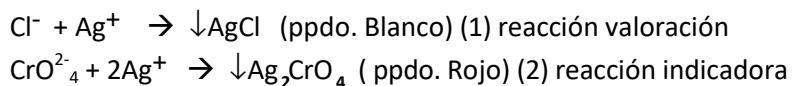


4.2.7. Determinación de cloruros

Para determinar el contenido de cloruros en muestras de agua se utiliza el método de Mohr, basado en una volumetría de precipitación con nitrato de plata (AgNO_3) como valorante. La plata

forma precipitados insolubles con los cloruros.

El procedimiento a seguir es el siguiente. Se toman 100 mL de muestra de agua en un erlenmeyer, se añaden 5 gotas de indicador cromato potásico al 5% y se valora con una disolución estándar de AgNO_3 0,01M. La valoración finaliza cuando se observa un cambio de color (de blanco a anaranjado) en la disolución debida a la presencia de cromato de plata. Las reacciones que tiene lugar son:



4.3 Cálculos

Con el fin de justificar los cálculos realizados en las determinaciones de los diferentes parámetros químicos analizados, se muestra a continuación la metodología seguida para el caso de las volumetrías, y de los análisis instrumentales.

Cálculos en análisis volumétricos. A partir de la reacción volumétrica (estequiometria) y teniendo en cuenta la concentración de la disolución de agente valorante y el volumen consumido de éste, se calcula el número de moles del analito en la disolución valorada. Finalmente considerando la masa atómica (o masa molecular) del analito y el volumen de muestra tomado para la determinación se calcula la concentración final de analito en la muestra de agua (mg/L).

Ecuación general utilizada para cálculos:

$$\text{mg/L analito} = (\text{VxM}) \times \text{F} \times \text{pm} \times 1000 \times 1/\text{Vm}$$

V: volumen (l) de agente valorante consumidos

M: concentración molar de agente valorante (mol/L)

F: factor estequiométrico

pm: peso atómico o peso molecular analito

1000: pasar de L a mL

Vm: volumen muestra (L)

Cálculos en análisis instrumental. A partir de la ecuación de la recta de calibrado, se sustituye el valor de la señal analítica (absorbancia y/o emisión) y se obtiene la concentración de analito en la disolución de la muestra medida. En el caso de que haya dilución, se aplica el factor correspondiente para finalmente calcular la concentración de analito en el agua expresada en mg/L.

Cálculos generales:

$$\text{mg/L analito} = (\text{Y}-\text{b})/\text{a} \times \text{fd}$$

Ecuación recta: $\text{Y} = \text{a} + \text{bX}$, siendo Y la señal analítica (absorbancia o emisión) y X la concentración expresada en mg/L.

fd: factor de dilución aplicado

4.4. Diagramas hidroquímicos

4.4.1 Diagrama de Piper

En el diagrama se incluyen aniones y cationes de forma simultánea. Este gráfico permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (figura 24).

Está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . Los vértices del triángulo de aniones son SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones dadas en meq/L se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo tres aniones y tres cationes. A cada vértice le corresponde el 100% de un anión o catión.

4.4.2 Diagrama de Stiff

Este tipo de diagrama (figura 25) está compuesto por tres ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Siempre el Na^+ se confronta con el Cl^- , el Ca^{2+} con el HCO_3^- y el Mg^{2+} con el SO_4^{2-} (a veces también se pueden mostrar otros dos iones, como el Fe^{2+} contra el NO_3^-). Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L.

Dos características sobresalen en este tipo de diagrama: por un lado permite visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, de forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica). Además permite apreciar los valores de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y la variación de las relaciones entre cationes y entre aniones de una muestra. Así como ver la diferencia entre diferentes épocas (figura 26 y 27)

También pueden representarse en un mapa, con lo que se visualiza rápidamente la variación espacial de la mineralización del agua en el acuífero.

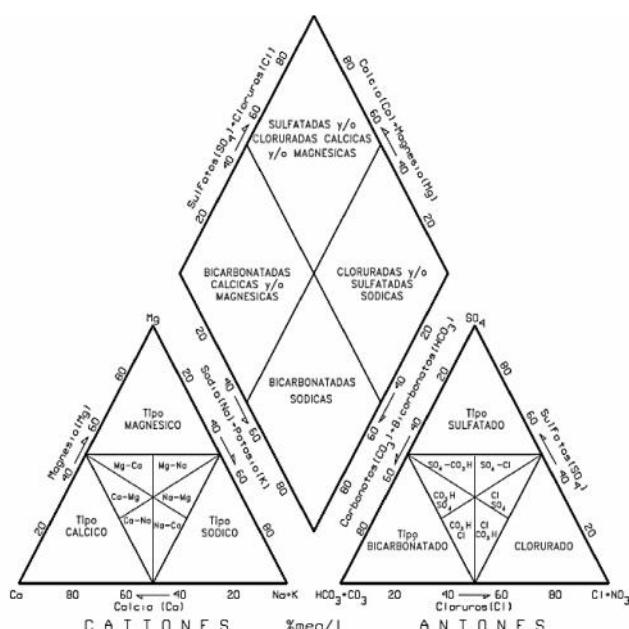


Figura.24 Ejemplo de diagrama de Piper

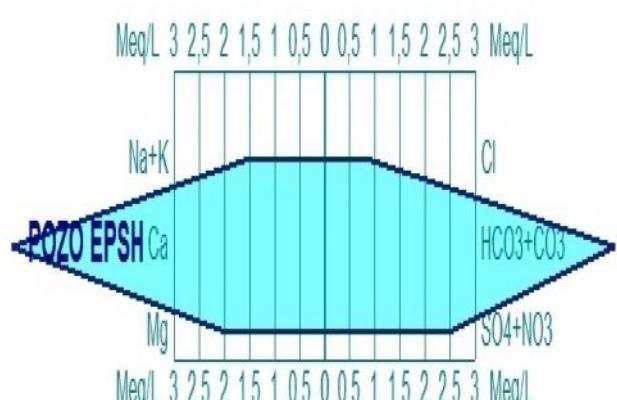


Figura.25 Ejemplo de diagrama de Stiff

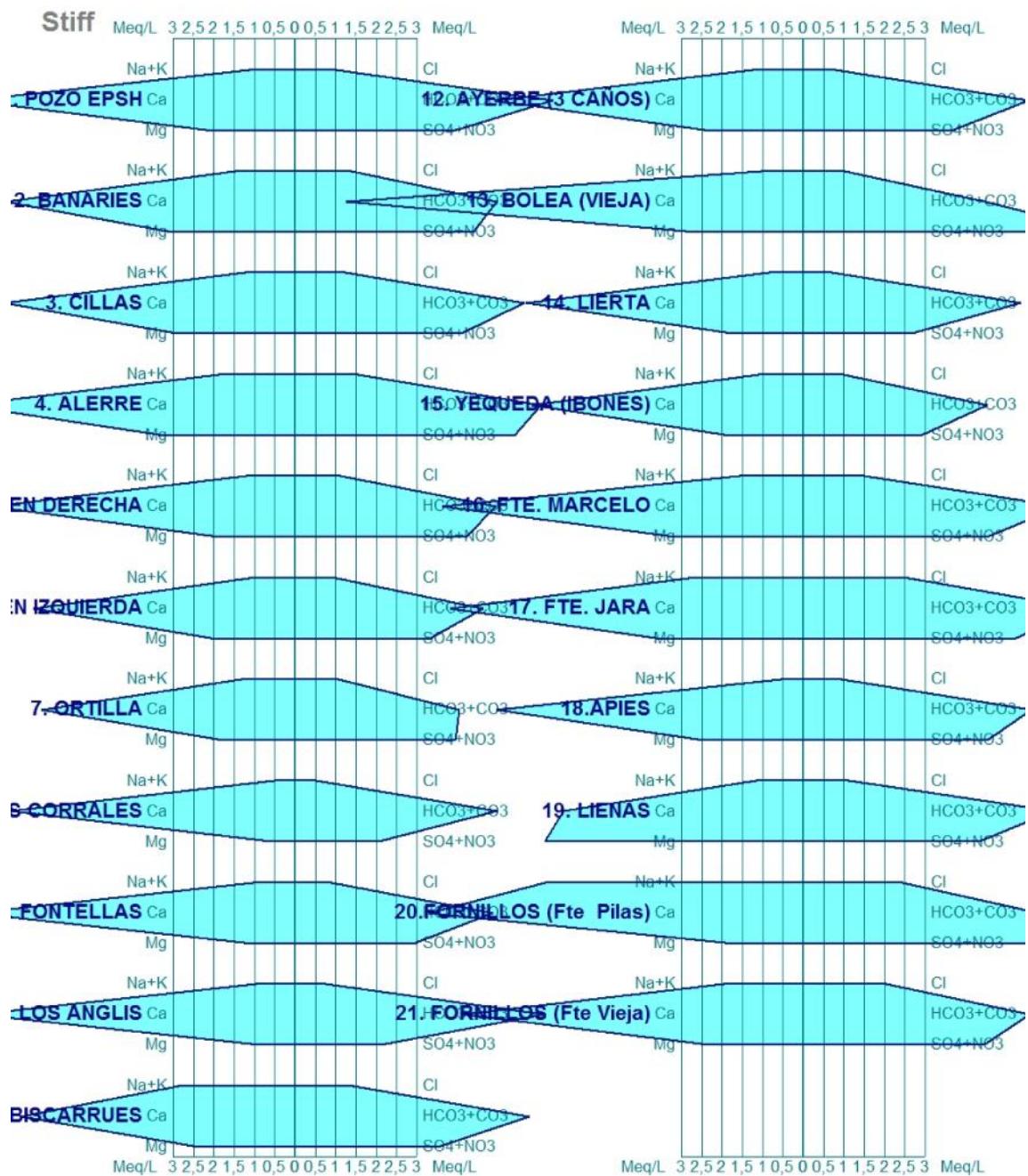


Figura 26. Diagramas Stiff. Muestreo abril 2016

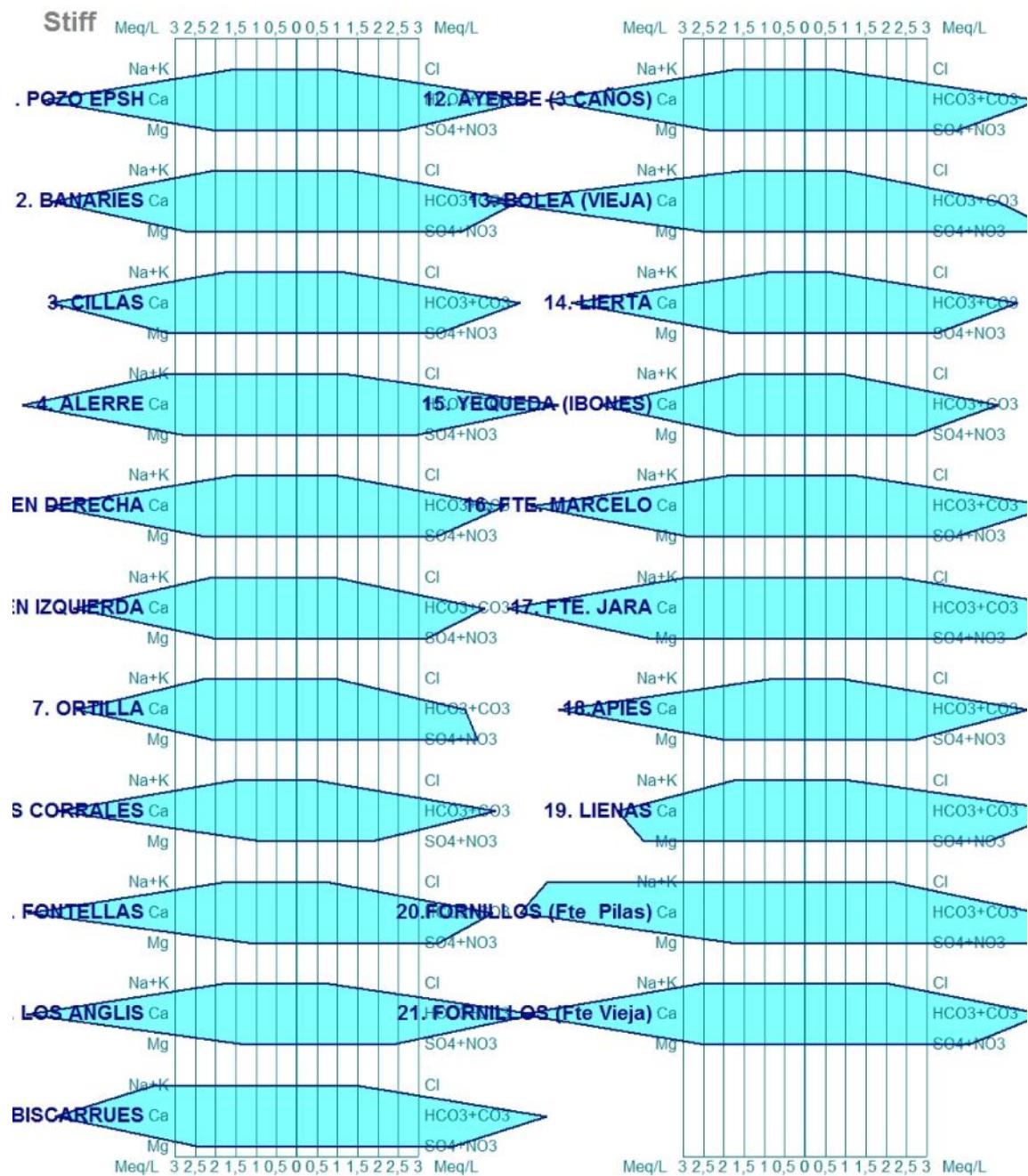


Figura 27. Diagramas Stiff. Muestreo de septiembre 2016

Anexo V. Fichas de muestreo y datos de pH y concentración de nitratos

FICHA DE MUESTREO PUNTO 1

Nombre del punto: Pozo Escuela Politécnica Superior de Huesca

Masa de agua: subterránea captada directamente del pozo

Localidad: Huesca

Término municipal: Huesca

Coordenadas UTM:

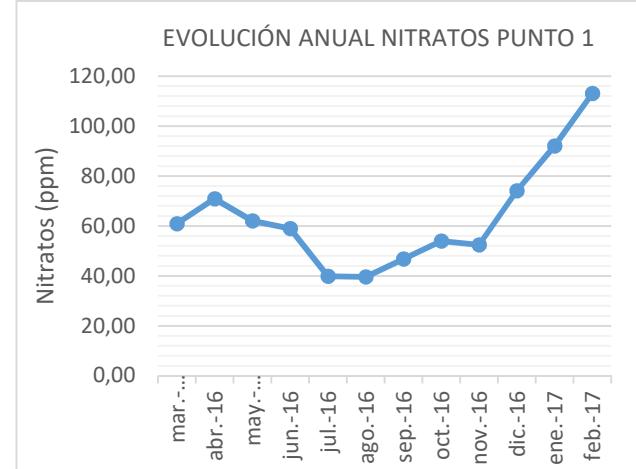
X: 711013 Y: 4666082 Z: 460

Litología del punto: conglomerados, gravas, arenas y limos del cuaternario.

Entorno: el punto se encuentra en el entorno de la Escuela Politécnica Superior de Huesca, más concretamente rodeado de un pequeño campo de vides.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	930	14,1	6,53	60,92
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	938	15,0	6,90	70,83
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	890	16,3	6,85	62,01
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	873	17,9	6,81	58,91
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	826	25,0	6,71	39,86
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	823	25,1	6,72	39,56
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	868	18,8	7,07	46,70
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	864	18,4	7,27	53,93
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	972	17,6	6,94	52,44
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	1058	16,2	6,75	74,01
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	980	15,4	6,82	91,98
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	993	14,3	6,41	113,03



FICHA DE MUESTREO PUNTO 2

Nombre del punto: Manantial Banariés

Fecha de muestreo: 6/03/2016

Masa de agua: subterránea

Localidad: Banariés

Término municipal: Huesca

Coordenadas UTM:

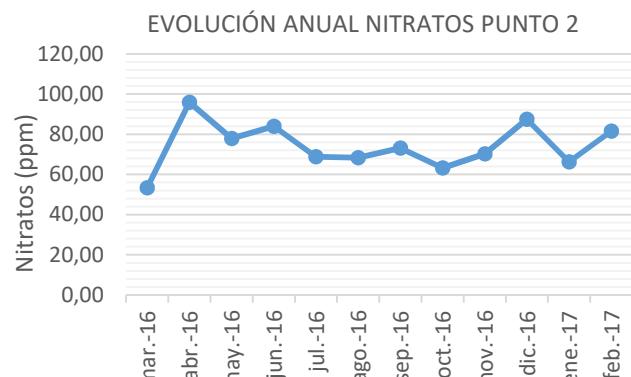
X: 709142 Y: 4667945 Z: 470

Litología del punto: Conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y evaporitas, vulcanitas básicas del terciario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de tierras de labor en secano, con una mayoría de cultivo herbáceo y zona residencial.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T (°C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10°C	1032	11,4	7,58	53,43
11/04/2016 T = 12°C	990	13,5	7,18	95,87
24/05/2016 T = 17°C	968	14,4	7,01	77,81
15/06/2016 T = 20°C	969	16,1	6,95	83,89
10/07/2016 T = 33°C	971	17,6	7,01	68,81
15/08/2016 T = 31°C	965	18,0	7,02	68,40
18/09/2016 T = 22°C	1004	18,0	7,07	73,14
13/10/2016 T = 14°C	996	18,1	7,15	63,17
10/11/2016 T = 11°C	981	17,0	6,95	70,19
15/12/2016 T = 5 °C	909	15,4	7,04	87,48
19/01/2017 T = -3°C	995	13,7	7,11	66,22
23/02/2017 T = 7 °C	941	13,0	6,72	81,50



FICHA DE MUESTREO PUNTO 3

Nombre del punto: Fuente de Cillas

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Cillas

Término municipal: Huesca

Coordenadas UTM:

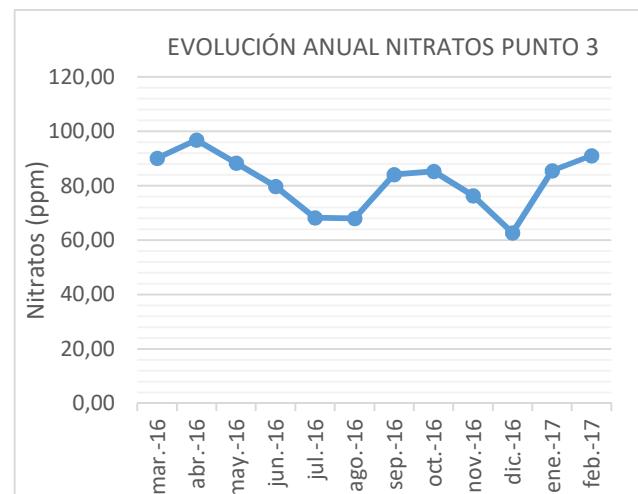
X: 710565 Y: 4671015 Z: 510

Litología del punto: conglomerados, gravas, arenas y limos del cuaternario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de terrenos regados permanentemente, con cultivos herbáceos, leñosos y zonas residenciales.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10°C	972	13,4	7,21	90,17
11/04/2016 T = 12°C	966	14,2	6,99	96,85
24/05/2016 T = 17°C	956	14,9	6,81	88,35
15/06/2016 T = 20°C	952	15,8	6,78	79,75
10/07/2016 T = 33°C	946	16,8	6,90	68,27
15/08/2016 T = 31°C	940	17,1	6,89	68,08
18/09/2016 T = 22°C	938	17,1	6,90	84,10
13/10/2016 T = 14°C	952	16,1	6,99	85,31
10/11/2016 T = 11°C	955	14,7	6,80	76,34
15/12/2016 T = 5 °C	868	14,3	6,87	62,75
19/01/2017 T = -3°C	979	12,9	6,93	85,60
23/02/2017 T = 7 °C	892	13,7	6,44	91,15



FICHA DE MUESTREO PUNTO 4

Nombre del punto: Fuente Alerre

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Alerre

Término municipal: Alerre

Coordenadas UTM:

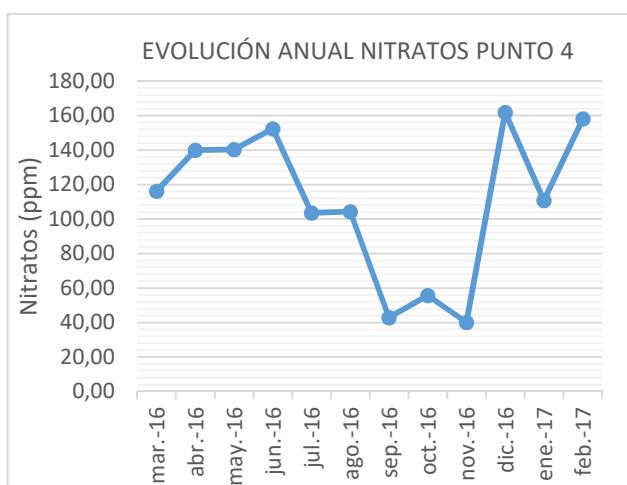
X: 709589 Y: 4670958 Z: 500

Litología del punto: Conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y evaporitas, vulcanitas básicas del terciario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de zona residencial y de tierras de labor en secano, principalmente de cultivo herbáceo.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10°C	1091	12,8	7,19	116,26
11/04/2016 T = 12°C	1152	12,6	7,06	139,93
24/05/2016 T = 17°C	1163	14,5	6,83	140,33
15/06/2016 T = 20°C	1234	15,3	6,75	152,44
10/07/2016 T = 33°C	1140	17,1	6,91	103,55
15/08/2016 T = 31°C	1133	17,5	6,91	104,38
18/09/2016 T = 22°C	1081	19,2	6,80	42,85
13/10/2016 T = 14°C	1089	18,1	6,91	55,70
10/11/2016 T = 11°C	1068	17,4	6,78	40,03
15/12/2016 T = 5 °C	1265	14,8	6,92	161,93
19/01/2017 T = -3°C	982	13,4	7,05	110,83
23/02/2017 T = 7 °C	1179	12,7	6,63	158,16



FICHA DE MUESTREO PUNTO 5

Nombre del punto: Fuente Lapiñén (Derecha)

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Lapiñén

Término municipal: Lapiñén- Ortilla

Coordenadas UTM:

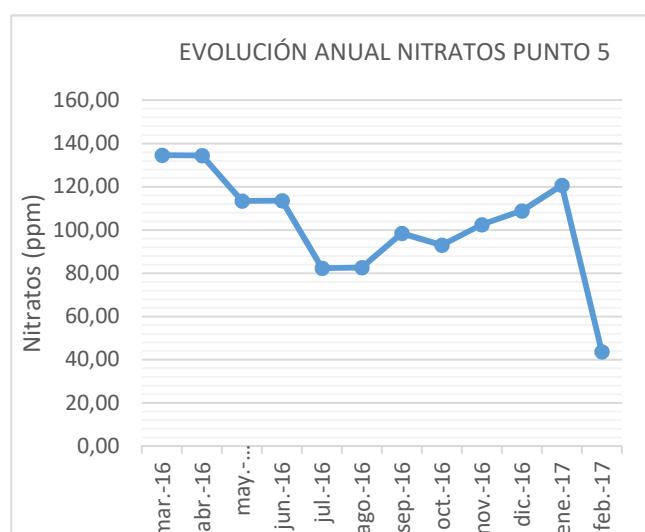
X: 699856 Y: 4672064 Z: 465

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre Mioceno

Entorno: Zona urbana rodeada de campos de cultivo extensivo

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	945	12,3	7,17	134,56
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	943	12,6	7,01	134,42
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	893	14,1	6,83	113,46
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	868	19,9	6,83	113,58
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	849	16,3	6,92	82,31
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	851	16,7	6,92	82,61
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	855	19,4	6,84	98,53
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	880	18,0	6,91	92,92
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	888	17,1	6,79	102,51
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	978	14,7	6,86	108,82
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	840	12,0	6,93	120,64
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	842	12,2	6,60	43,71



FICHA DE MUESTREO PUNTO 6

Nombre del punto: Fuente Lapiñén (Izquierda)

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Lapiñén

Término municipal: Lapiñén-Ortilla

Coordenadas UTM:

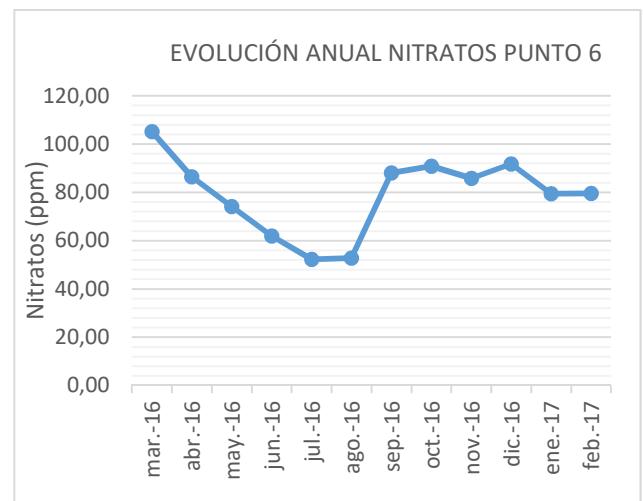
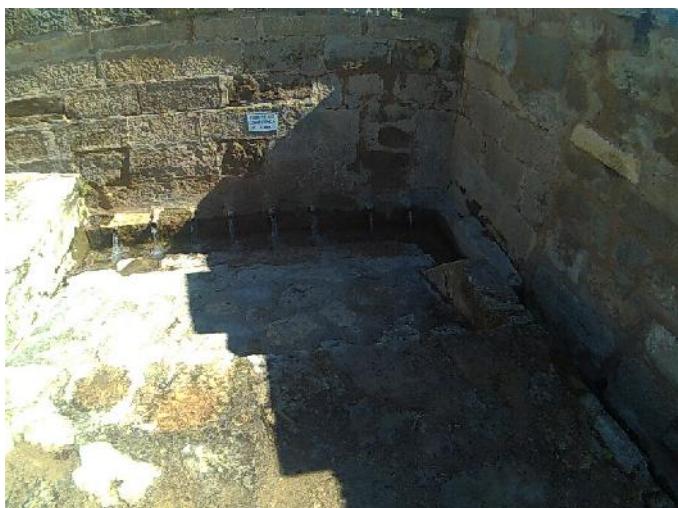
X: 699856 Y: 4672064 Z: 465

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre Mioceno

Entorno: Zona urbana rodeada de campos de cultivo extensivo

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	857	12,1	7,88	105,22
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	825	12,2	7,18	86,54
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	800	13,6	6,89	74,16
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	789	14,8	6,89	61,92
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	774	15,4	6,98	52,27
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	771	15,9	6,98	52,77
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	836	19,2	6,90	88,08
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	862	18,0	7,01	90,88
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	844	17,7	6,89	85,88
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	873	14,6	6,96	91,76
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	746	12,5	7,08	79,44
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	734	12,0	6,78	79,56



FICHA DE MUESTREO PUNTO 7

Nombre del punto: Fuente Ortilla

Masa de agua: subterránea

Localidad: Ortilla

Término municipal: Lupiñén - Ortilla

Coordenadas UTM:

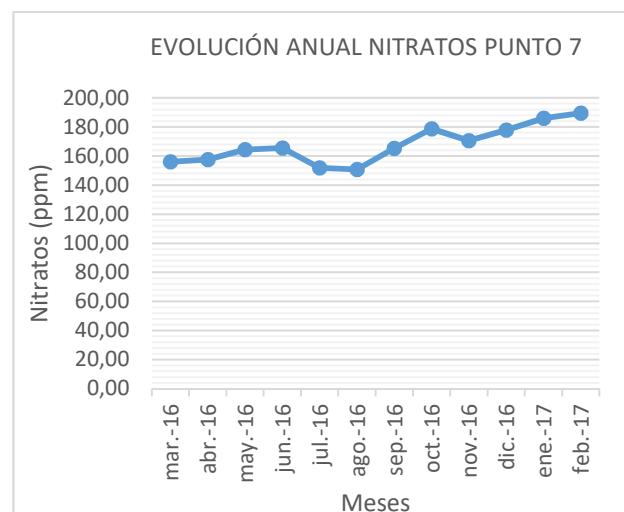
X: 696068 Y: 4670560 Z: 452

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre Mioceno

Entorno: Zona urbana rodeada de campos de cultivo extensivo

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	900	12	7,69	156,01
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	863	12,1	7,28	157,56
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	889	13,3	7,02	164,40
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	893	15,2	7,05	165,48
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	895	16,8	7,14	151,78
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	890	17,0	7,14	150,77
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	875	19,3	7,12	165,25
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	920	19,1	7,12	178,78
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	928	17,8	7,08	170,54
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	850	14,8	7,12	177,87
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	839	12,4	7,17	186,04
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	864	12,0	6,96	189,57



FICHA DE MUESTREO PUNTO 8

Nombre del punto: Lavadero Los Corrales

Masa de agua: subterránea

Localidad: Los Corrales

Término municipal: Los Corrales

Coordenadas UTM:

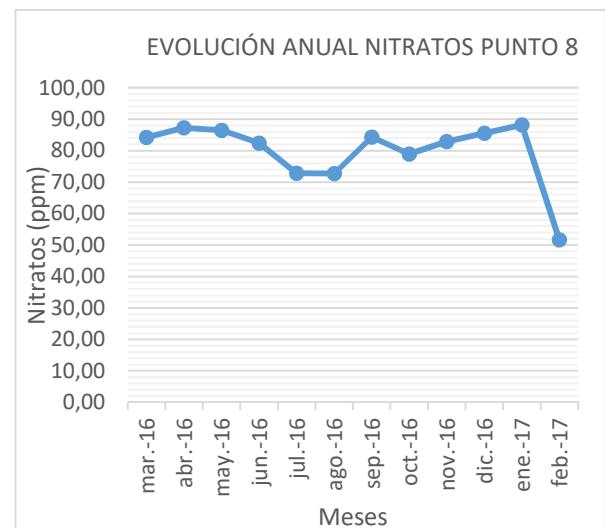
X: 694607 Y: 4680629 Z: 619

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre Mioceno

Entorno: Zona urbana rodeada de campos de cultivo extensivo

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	710	11,7	7,22	84,29
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	715	12,8	7,06	87,27
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	702	14,6	6,87	86,44
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	704	16,2	6,86	82,42
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	701	17,1	6,94	72,85
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	700	17,3	6,94	72,75
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	697	17,5	6,94	84,36
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	683	16,3	7,02	78,92
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	703	14,9	6,88	82,96
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	733	13,6	6,96	85,57
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	635	12,0	6,98	88,24
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	684	12,6	6,71	51,69



FICHA DE MUESTREO PUNTO 9

Nombre del punto: Fuente Fontellas

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Fontellas

Término municipal: Fontellas

Coordenadas UTM:

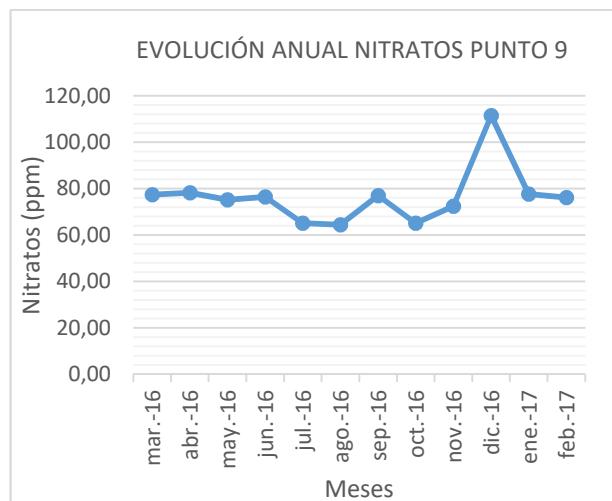
X: 691212 Y: 4679988 Z: 553

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre Mioceno

Entorno: Zona urbana rodeada de campos de cultivo extensivo

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	822	13	7,32	77,37
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	820	13,1	7,15	78,25
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	800	14,0	6,84	75,11
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	798	15,2	6,89	76,48
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	794	17,7	6,96	65,16
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	793	18,0	6,95	64,36
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	796	19,3	6,97	77,01
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	816	18,1	7,10	65,16
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	817	17,1	7,01	72,39
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	791	14,7	7,03	111,45
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	700	13,1	7,18	77,68
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	730	13,0	6,82	76,08



FICHA DE MUESTREO PUNTO 10

Nombre del punto: Fuente Los Anglis

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Los Anglis

Término municipal: Los Anglis

Coordenadas UTM:

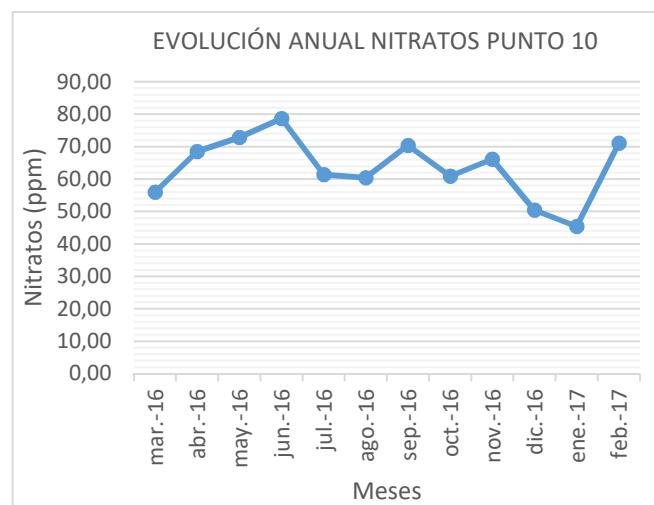
X: 688627 Y: 4680023 Z: 519

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre Mioceno

Entorno: Zona urbana rodeada de campos de cultivo extensivo

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	811	9,3	7,19	55,92
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	805	10,8	7,02	68,49
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	802	13,7	6,80	72,86
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	804	16,5	6,86	78,63
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	804	20,1	6,90	61,44
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	800	20,1	6,90	60,38
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	801	19,8	6,87	70,35
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	805	17,7	6,93	60,94
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	801	14,1	6,84	66,12
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	796	11,3	6,90	50,38
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	710	8,5	6,97	45,37
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	754	9,6	6,71	71,03



FICHA DE MUESTREO PUNTO 11

Nombre del punto: Fuente Biscarrués

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Biscarrués

Término municipal: Biscarrués

Coordenadas UTM:

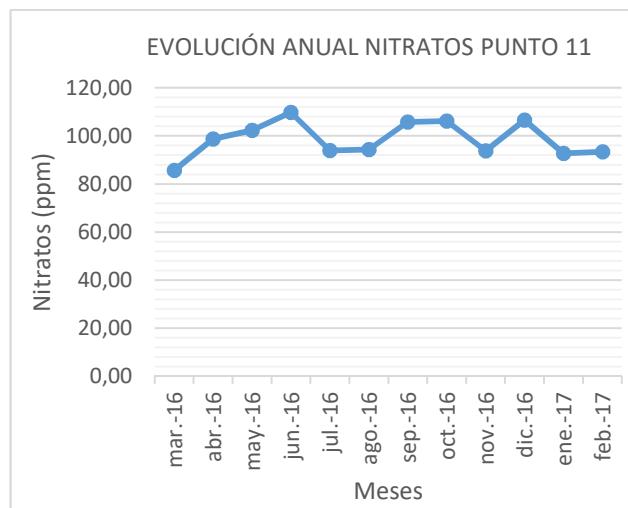
X: 685286 Y: 4676865 Z: 440

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre Mioceno

Entorno: Zona urbana rodeada de campos de cultivo extensivo

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	1067	13,0	7,13	85,67
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	1019	13,3	7,09	98,69
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	1052	13,8	6,94	102,36
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	1072	14,5	6,95	109,81
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	1085	15,3	7,00	93,96
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	1082	15,5	7,00	94,29
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	1081	16,5	7,03	105,73
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	1128	16,1	7,04	106,17
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	1146	15,1	6,90	93,78
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	1080	14,3	6,95	106,57
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	987	13,8	7,09	92,73
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	1029	13,3	7,00	93,33



FICHA DE MUESTREO PUNTO 12

Nombre del punto: Fuente de 3 Caños (Ayerbe)

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Ayerbe

Término municipal: Ayerbe

Coordenadas UTM:

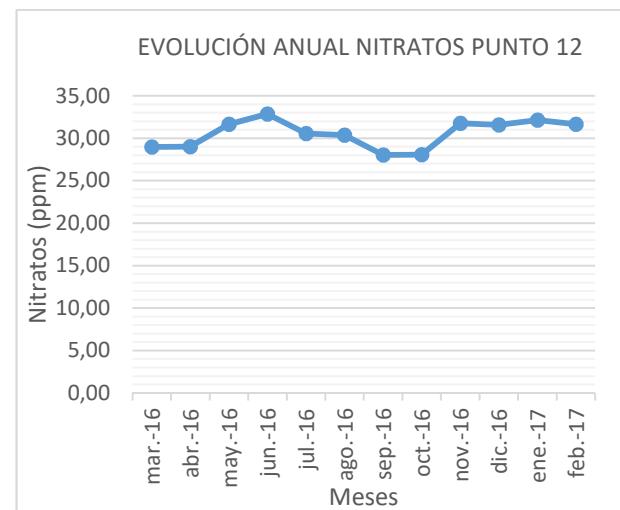
X: 690406 Y: 4683380 Z: 571

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre Mioceno

Entorno: Zona urbana rodeada de campos de cultivo extensivo

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	902	14,1	7,23	28,97
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	897	14,4	7,05	29,02
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	900	14,3	6,90	31,65
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	895	14,7	6,92	32,85
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	900	15,1	6,97	30,57
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	900	15,1	6,97	30,38
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	889	15,2	6,97	28,05
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	904	14,5	6,96	28,09
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	907	14,2	6,99	31,76
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	806	13,7	6,96	31,57
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	813	13,7	7,13	32,15
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	845	14,0	6,90	31,66



FICHA DE MUESTREO PUNTO 13

Nombre del punto: Fuente Vieja (Bolea)

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Bolea

Término municipal: Bolea

Coordenadas UTM:

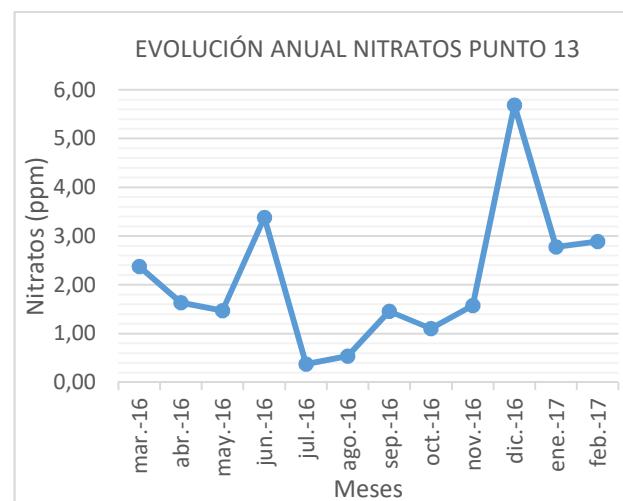
X: 699856 Y: 4672064 Z: 465

Litología del punto: Gravas cuaternarias sobre el Mioceno

Entorno: Zona urbana, proveniente de una zona de cultivo extensivo a varios Km

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	1097	10,8	7,36	2,37
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	1115	13,1	7,20	1,64
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	1029	14,9	7,02	1,47
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	1011	16,5	7,04	3,38
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	1004	18,6	7,12	0,37
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	1001	18,8	7,11	0,54
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	1020	19,05	7,09	1,46
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	1050	17,2	7,17	1,10
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	1156	13,8	7,15	1,58
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	993	12,3	7,00	5,68
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	824	9,6	7,23	2,78
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	732	10,4	6,99	2,89



FICHA DE MUESTREO PUNTO 14

Nombre del punto: Fuente Lierta

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Lierta

Término municipal: Lierta

Coordenadas UTM:

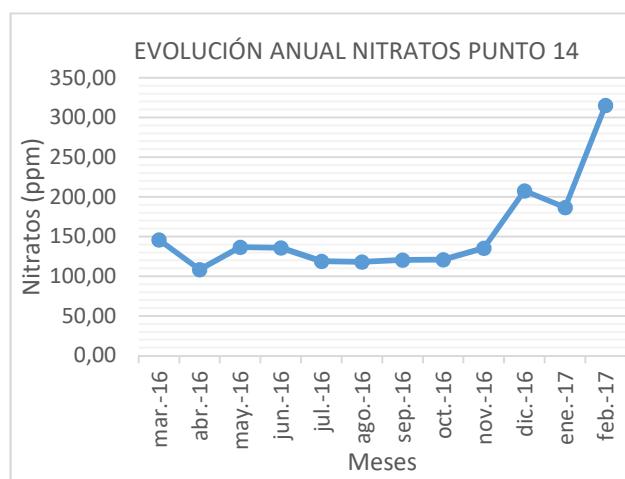
X: 706898 Y: 4680163 Z: 670

Litología del punto: Conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y evaporitas, vulcanitas básicas del terciario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de zona residencial y de tierras de labor en secano, con cultivos herbáceos, leñosos, y un pequeño porcentaje de matorral.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	896	13,5	7,19	146,09
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	806	13,7	7,03	108,62
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	838	13,7	6,87	136,73
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	835	13,9	6,90	135,73
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	834	15,0	6,94	119,07
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	825	15,2	6,95	117,99
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	830	16,6	6,96	120,62
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	868	15,6	6,95	120,79
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	864	15,4	6,90	135,67
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	873	14,7	6,99	207,74
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	772	13,1	7,07	186,87
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	759	12,7	6,86	315,23



FICHA DE MUESTREO PUNTO 15

Nombre del punto: Ibones de Yéqueda

Masa de agua: subterránea

Localidad: Yéqueda

Término municipal: Yéqueda

Coordenadas UTM:

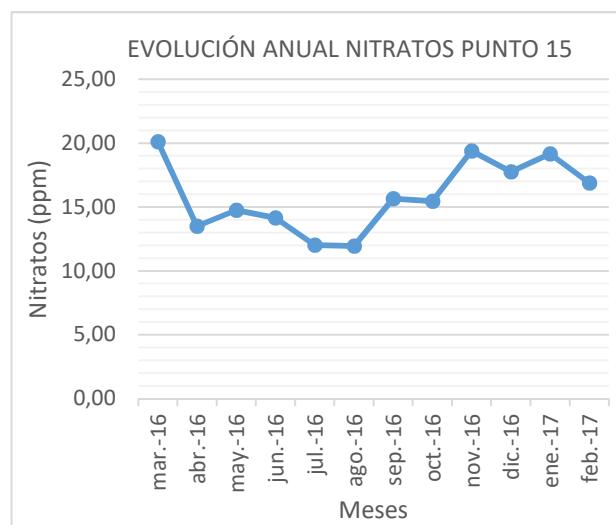
X: 711206 Y: 4673214 Z: 525

Litología del punto: Conglomerados, gravas, arenas y limos del cuaternario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de tierras de labor en secano, sobre todo se trata de cultivos herbáceos y zonas residenciales.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	804	13,0	7,50	20,11
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	770	12,8	7,23	13,50
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	807	13,1	7,01	14,74
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	810	13,3	7,01	14,15
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	795	14,6	7,09	12,01
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	783	14,9	7,09	11,95
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	766	15,3	7,22	15,65
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	774	14,7	7,13	15,46
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	774	14,3	7,03	19,39
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	771	12,9	7,18	17,76
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	795	12,6	7,11	19,16
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	730	13,0	6,92	16,88



FICHA DE MUESTREO PUNTO 16

Nombre del punto: Fuente Marcelo

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Huesca

Término municipal: Huesca

Coordinadas UTM:

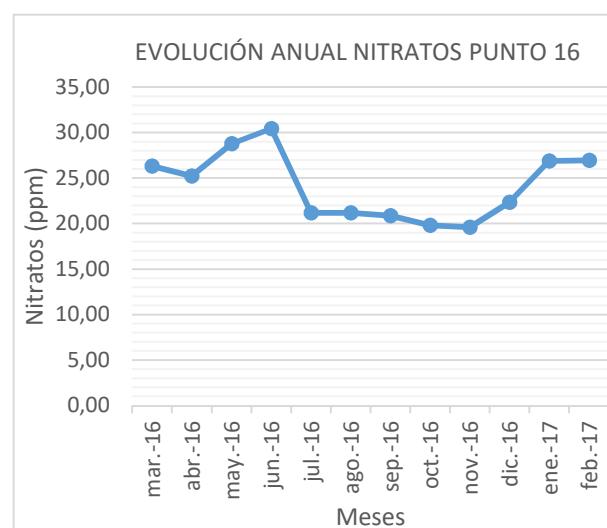
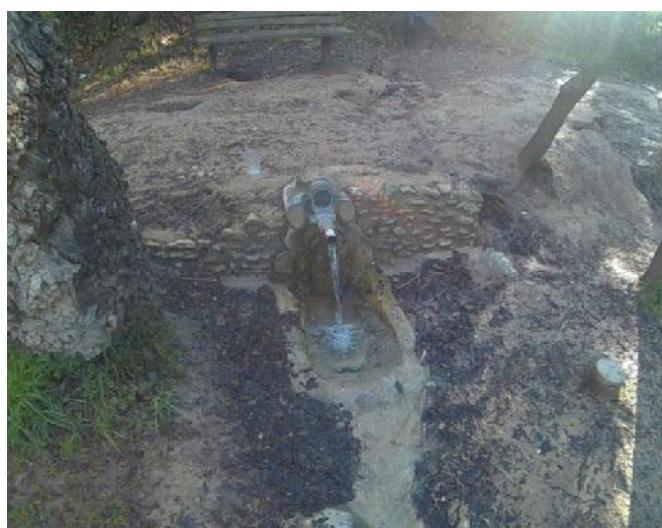
X: 712151 Y: 4671277 Z: 500

Litología del punto: Conglomerados, gravas, arenas y limos del cuaternario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de terrenos regados permanentemente, con una mayoría de frondosas perennifolias y caducifolias, que conforman la ribera.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10°C	1080	14,6	7,06	26,30
11/04/2016 T = 12°C	1085	14,5	6,89	25,23
24/05/2016 T = 17°C	1077	14,5	6,74	28,79
15/06/2016 T = 20°C	1065	14,6	6,79	30,42
10/07/2016 T = 33°C	1034	15,4	6,87	21,18
15/08/2016 T = 31°C	1034	15,7	6,87	21,18
18/09/2016 T = 22°C	1006	14,9	6,88	20,87
13/10/2016 T = 14°C	1018	14,6	6,88	19,81
10/11/2016 T = 11°C	1018	14,1	6,86	19,60
15/12/2016 T = 5 °C	1039	13,8	6,85	22,32
19/01/2017 T = -3°C	1060	12,6	6,90	26,89
23/02/2017 T = 7 °C	975	14,0	6,68	26,94



FICHA DE MUESTREO PUNTO 17

Nombre del punto: Fuente Jara

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Huesca

Término municipal: Huesca

Coordenadas UTM:

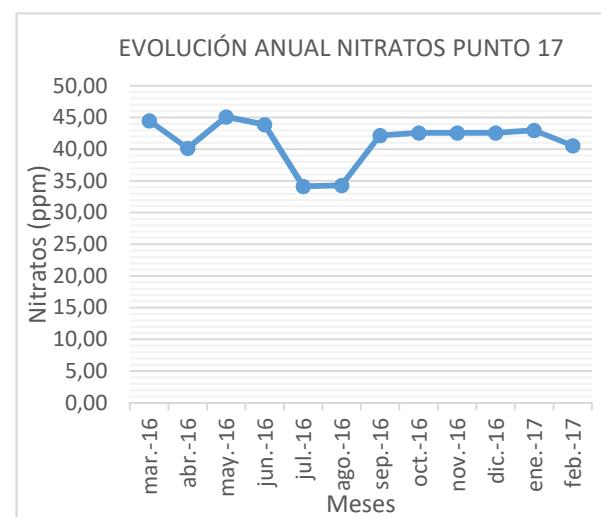
X: 712872 Y: 4671182 Z: 490

Litología del punto: Conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y evaporitas, vulcanitas básicas del terciario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de terrenos regados permanentemente, principalmente compuestos por frondosas caducifolias y matorral.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	1318	14,2	7,00	44,48
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	1297	13,9	6,93	40,14
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	1288	13,7	6,71	45,13
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	1277	13,9	6,74	43,88
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	1277	14,9	6,78	34,13
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	1275	15,5	6,78	34,30
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	1296	15,9	6,82	42,18
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	1310	15,6	6,82	42,56
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	1327	15,8	6,75	42,59
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	1293	15,7	6,84	42,57
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	1165	13,8	6,85	42,98
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	1221	13,7	6,70	40,57



FICHA DE MUESTREO PUNTO 18

Nombre del punto: Fuente Apiés

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Apiés

Término municipal: Apiés

Coordenadas UTM:

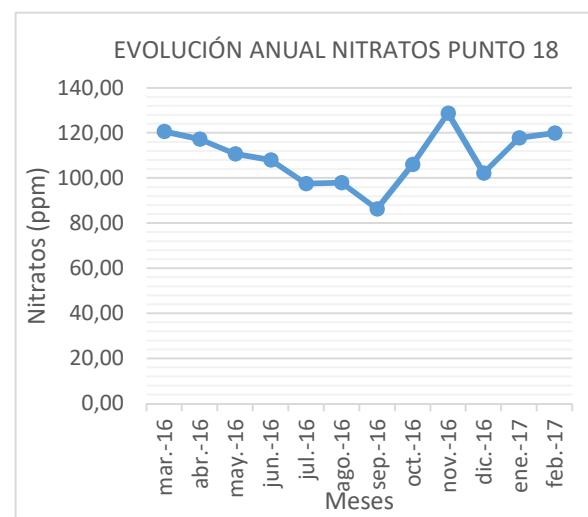
X: 714327 Y: 4678122 Z: 681

Litología del punto: Conglomerados, gravas, arenas y limos del cuaternario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de tierras de labor en secano, con sobre todo cultivos herbáceos y de zonas residenciales.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10°C	909	13,8	7,28	120,59
11/04/2016 T = 12°C	920	13,0	7,06	117,22
24/05/2016 T = 17°C	889	13,7	6,88	110,77
15/06/2016 T = 20°C	891	14,7	6,91	107,94
10/07/2016 T = 33°C	883	16,3	6,99	97,49
15/08/2016 T = 31°C	883	17,4	6,98	97,90
18/09/2016 T = 22°C	878	17,6	7,04	86,25
13/10/2016 T = 14°C	905	16,3	7,02	106,06
10/11/2016 T = 11°C	899	15,4	6,93	128,67
15/12/2016 T = 5 °C	930	14,3	7,04	102,12
19/01/2017 T = -3°C	815	11,3	6,99	117,87
23/02/2017 T = 7 °C	819	13,2	6,92	119,98



FICHA DE MUESTREO PUNTO 19

Nombre del punto: Fuente Lienas

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Lienas

Término municipal: Lienas

Coordenadas UTM:

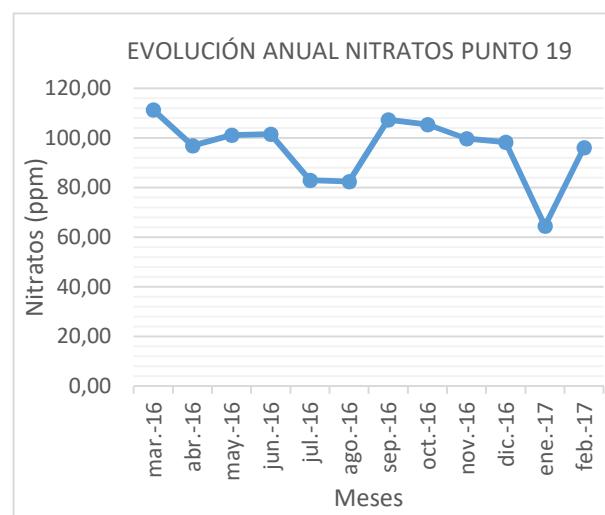
X: 714850 Y: 4678484 Z: 669

Litología del punto: Conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y evaporitas, vulcanitas básicas del terciario.

Entorno: el punto se encuentra rodeado de tierras de labor en secano, sobre el 70% se trata de cultivo herbáceo, lo demás es leñoso.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	1066	12,9	7,39	111,36
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	1062	12,5	7,24	96,96
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	1071	12,6	7,09	101,25
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	1074	13,0	7,14	101,62
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	1086	14,3	7,27	83,07
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	1078	14,7	7,26	82,47
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	1067	15,6	7,66	107,44
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	1095	14,7	7,37	105,46
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	1094	14,1	7,38	99,74
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	1069	14,9	7,14	98,34
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	988	12,5	7,16	64,61
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	964	12,2	7,01	96,17



FICHA DE MUESTREO PUNTO 20

Nombre del punto: Fuente Pilas

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Fornillos

Término municipal: Fornillos

Coordinadas UTM:

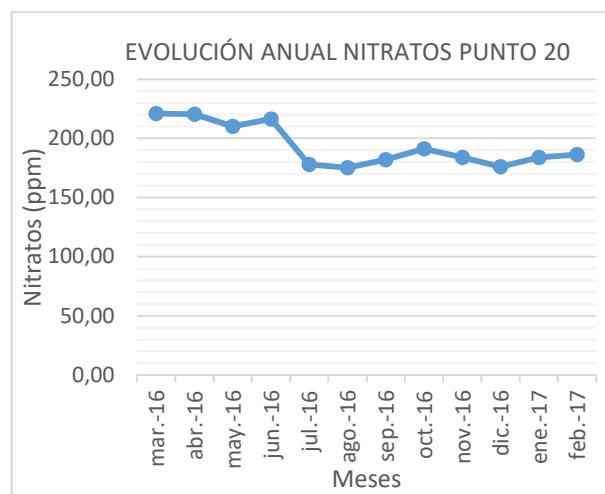
X: 717047 Y: 4673973 Z: 640

Litología del punto: Conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y evaporitas, vulcanitas básicas del terciario.

Entorno: el punto se encuentra en terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural.

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10°C	1522	13,1	6,98	220,99
11/04/2016 T = 12°C	1510	14,3	7,05	220,32
24/05/2016 T = 17°C	1534	14,9	6,96	210,01
15/06/2016 T = 20°C	1522	16,2	7,01	216,45
10/07/2016 T = 33°C	1510	18,5	7,13	177,97
15/08/2016 T = 31°C	1446	18,4	7,12	175,32
18/09/2016 T = 22°C	1422	19,0	7,06	182,01
13/10/2016 T = 14°C	1433	17,5	7,03	191,13
10/11/2016 T = 11°C	1433	16,5	6,94	183,73
15/12/2016 T = 5 °C	1437	14,7	6,98	176,07
19/01/2017 T = -3°C	1323	13,3	6,97	183,80
23/02/2017 T = 7 °C	1358	13,4	6,85	186,24



FICHA DE MUESTREO PUNTO 21

Nombre del punto: Fuente Vieja

Masa de agua: subterránea captada en una fuente

Localidad: Fornillos

Término municipal: Fornillos

Coordenadas UTM:

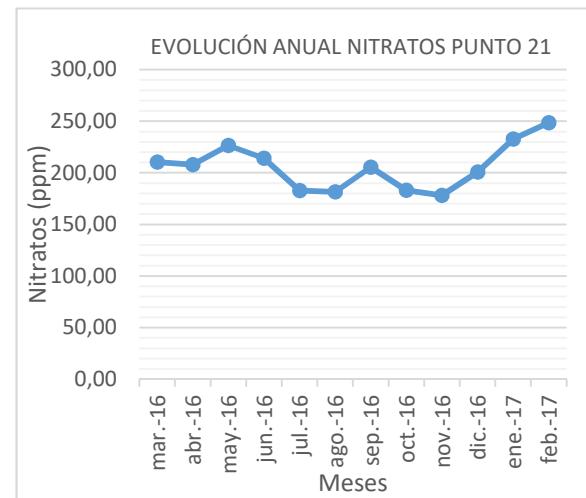
X: 717488 Y: 4673298 Z: 591

Litología del punto: Gravas sobre arcillas del Mioceno

Entorno: Campos de cultivo extensivos

Datos de campo (CE y T), pH y concentración nitratos:

Fecha de muestreo (T Ambiente)	CE (μ S/cm)	T ($^{\circ}$ C)	pH	Concentración de nitratos (mg/L)
16/03/2016 T = 10 $^{\circ}$ C	1144	11,7	7,31	210,29
11/04/2016 T = 12 $^{\circ}$ C	1152	12,1	7,15	208,06
24/05/2016 T = 17 $^{\circ}$ C	1178	13,3	6,92	226,49
15/06/2016 T = 20 $^{\circ}$ C	1188	13,3	6,90	214,01
10/07/2016 T = 33 $^{\circ}$ C	1179	15,4	7,03	182,79
15/08/2016 T = 31 $^{\circ}$ C	1172	17,2	7,01	181,44
18/09/2016 T = 22 $^{\circ}$ C	1155	18,3	7,18	205,49
13/10/2016 T = 14 $^{\circ}$ C	1178	16,8	7,17	183,14
10/11/2016 T = 11 $^{\circ}$ C	1175	15,8	7,06	178,18
15/12/2016 T = 5 $^{\circ}$ C	1214	14,4	7,14	200,65
19/01/2017 T = -3 $^{\circ}$ C	1170	12,1	6,99	232,70
23/02/2017 T = 7 $^{\circ}$ C	1169	12,1	6,84	248,56



Anexo VI. Tablas de resultados

Tabla 4. Caracterización hidroquímica de abril 2016

MUESTRA	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) (20°C)	Nitratos (mg/L)	Hidrogenocarbonatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Sodio (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
1. POZO EPSH	893	70,83±0,33	387,61±3,47	36,21±0,00	132,80±6,30	160,63±7,05	24,53±0,14	2,76±0,08	24,72±3,70	6,9	13,6
2. BANARIES	876	95,87±0,43	303,97±3,47	49,35±0,50	137,25±1,26	143,05±2,56	36,6±0,77	9,72±0,71	28,33±2,36	7,18	15,2
3. CILLAS	834	96,85±0,96	344,77±3,47	44,73±1,00	122,77±2,83	143,42±1,93	35,65±0,71	4,54±0,13	26,04±2,60	6,99	14
4. ALERRE	1008	139,93±1,13	369,25±3,47	55,03±0,50	151,74±7,87	162,99±2,26	38,79±0,94	13,12±0,59	35,7±3,11	7,06	12,5
5. LUPIÑÉN DERECHA	832	134,42±0,70	301,93±3,47	39,76±0,00	99,15±2,20	149,58±0,54	23,15±0,08	1,29±0,13	27,53±3,29	7,01	13
6. LUPIÑÉN IZQUIERDA	719	86,54±0,00	281,53±0,00	36,21±0,00	91,8±1,26	129,03±1,28	23,82±0,29	2,07±0,12	25,07±3,54	7,18	13,8
7. ORTILLA	757	157,56±0,84	246,85±3,47	38,34±0,00	68,18±5,67	125,02±1,03	21,66±0,08	1,26±0,14	30,52±3,86	7,28	13,7
8. LOS CORRALES	607	87,27±0,36	303,97±3,47	18,82±0,50	33,13±1,89	140,43±2,03	7,16±0,10	0,92±0,14	11,63±1,16	7,06	13,9
9. FONTELLAS	728	78,25±0,44	297,85±3,47	32,31±0,50	80,66±2,52	158,71±2,47	12,66±0,11	2,63±0,10	22,54±2,37	7,15	14,2
10. LOS ANGLIS	705	68,49±0,61	373,33±0,00	26,63±0,50	49,69±1,57	156,64±2,86	10,57±0,34	3,24±3,38	20,54±1,55	7,02	13,7
11. BISCARRUÉS	864	98,69±0,87	352,93±3,47	51,48±0,50	92,91±3,46	134,97±3,97	28,99±0,04	31,84±0,68	47,72±3,93	7,09	13
12. AYERBE (3 CAÑOS)	783	29,02±0,12	338,65±3,47	28,76±0,50	151,96±5,04	151,97±5,14	27,57±0,16	2,37±0,12	28,09±2,85	7,05	12,6
13. BOLEA (VIEJA)	979	1,64±0,00	273,37±3,47	36,57±0,50	357,62±4,72	225,12±5,70	32,05±1,09	2,44±0,13	23,00±2,89	7,2	12,4
14. LIERTA	687	108,62±1,14	326,41±3,47	25,56±0,00	44,11±0,00	136,51±4,81	21,26±0,01	16,78±0,59	9,41±1,13	7,03	12,1
15. YÉQUEDA (IBONES)	675	13,50±0,22	275,41±0,00	35,86±0,50	128,57±4,72	133,32±5,79	21,84±0,01	2,71±0,09	24,15±2,56	7,23	11,6
16. FTE. MARCELO	959	25,23±0,08	387,61±3,47	52,9±0,50	198,75±7,56	177,34±7,85	38,33±1,46	3,49±0,12	34,06±2,74	6,89	14,5
17. FTE. JARA	1124	40,14±0,25	420,25±3,47	91,95±0,50	218,81±5,67	173,72±7,45	42,24±1,27	5,67±0,12	62,06±7,44	6,93	13,6
18. APIES	795	117,22±1,33	342,73±0,00	33,73±0,50	126,78±75,31	151,15±6,63	29,84±0,13	1,55±0,14	12,09±1,31	7,06	13,1
19. LIENAS	945	96,96±,,02	375,37±3,47	39,76±0,00	133,69±7,56	117,73±6,06	77,32±0,24	0,81±0,15	26,66±3,39	7,24	13,4
20. FORNILLOS (Fte Pilas)	1337	220,32±1,75	354,97±0,00	86,62±0,00	167,86±16,80	184,65±9,46	20,71±0,19	154,58±4,44	55,90±5,34	7,05	13,6
21. FORNILLOS (Fte Vieja)	985	208,06±2,24	340,69±3,47	72,42±1,00	53,48±4,41	167,46±7,74	28,1±0,32	1,79±0,13	44,59±5,46	7,15	14,1

Tabla 5. Caracterización hidroquímica de septiembre 2016

MUESTRA	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) (20°C)	Nitratos (mg/L)	Hidrogenocarbonatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Sodio (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
1. POZO EPSH	833	46,70±0,29	352,93±3,47	33,37±0,00	82,36±2,22	125,52±0,78	23,99±0,01	3,59±0,01	35,97±0,05	7,07	20
2. BANARIES	969	73,14±0,33	326,41±3,47	50,77±0,50	137,48±1,11	121,11±0,67	32,32±0,04	8,97±0,06	44,16±0,03	7,07	19,2
3. CILLAS	813	84,10±0,24	330,49±6,01	42,25±0,50	104,96±0,00	121,31±0,22	38,20±0,08	3,89±0,02	39,01±0,03	6,9	13,3
4. ALERRE	960	42,85±4,28	387,61±3,47	46,15±0,00	105,16±0,27	134,91±0,89	33,10±0,04	51,05±0,32	45,14±0,01	6,8	14
5. LUPIÑÉN DERECHA	778	98,53±0,76	308,05±3,47	36,57±0,50	87,44±0,27	122,33±0,18	27,44±0,02	1,12±0,01	35,96±0,01	6,84	15,5
6. LUPIÑÉN IZQUIERDA	715	88,08±0,73	277,45±3,47	35,86±0,50	84,69±0,83	110,10±0,97	24,10±0,02	1,94±0,02	49,23±0,02	6,9	13,5
7. ORTILLA	740	165,25±0,87	248,89±3,47	36,57±0,50	86,06±0,00	108,45±0,13	24,68±0,01	0,86±0,01	52,89±0,02	7,12	16,4
8. LOS CORRALES	598	84,36±0,61	293,77±0,00	17,75±0,00	25,49±0,18	118,43±0,34	10,37±0,03	0,64±0,01	35,29±0,02	6,94	14,1
9. FONTELLAS	712	77,01±0,49	289,69±3,47	29,47±0,50	106,73±0,83	132,59±0,27	12,85±0,10	2,42±0,02	41,41±0,01	6,97	15,1
10. LOS ANGLIS	706	70,35±1,10	352,93±3,47	28,05±0,50	58,7±1,39	132,83±0,02	15,05±0,02	0,66±0,01	41,94±0,03	6,87	15,2
11. BISCARRUÉS	999	105,73±0,24	369,25±3,47	55,03±0,50	102,4±0,27	119,19±0,04	28,81±0,04	38,00±0,39	60,16±0,04	7,03	15,4
12. AYERBE (3 CAÑOS)	785	28,05±0,17	346,81±3,47	26,63±0,50	157,32±0,55	128,21±0,35	27,79±0,01	1,95±0,00	40,28±0,01	6,97	15,9
13. BOLEA (VIEJA)	923	1,46±0,05	285,61±3,47	36,21±0,00	298,82±0,00	155,34±1,41	29,29±0,07	2,14±0,04	36,3±0,01	7,09	16,1
14. LIERTA	764	120,62±1,22	314,17±3,47	24,5±0,50	61,85±1,39	115,28±1,10	21,67±0,03	7,86±0,06	17,32±0,02	6,96	15
15. YÉQUEDA (IBONES)	672	15,65±0,06	285,61±3,47	35,15±0,50	116,77±1,11	101,6±0,85	19,72±0,02	2,23±0,02	36,94±0,02	7,22	15,8
16. FTE. MARCELO	915	20,87±0,05	367,21±6,01	46,51±0,50	162,28±0,55	134,91±0,97	34,66±0,03	2,81±0,03	43,07±0,03	6,88	15,9
17. FTE. JARA	1146	42,18±0,18	412,09±3,47	85,56±0,50	216,22±2,22	147,20±0,13	45,42±0,07	5,28±0,02	66,68±0,01	6,82	16
18. APIES	829	86,25±1,63	330,49±0,00	34,44±0,50	61,06±1,39	121,68±0,40	23,49±0,04	1,23±0,01	19,82±0,02	7,04	16,5
19. LIENAS	978	107,44±2,65	387,61±3,47	40,12±0,50	134,72±2,78	92,34±0,49	48,36±0,03	0,57±0,01	40,58±0,02	7,66	16,8
20. FORNILLOS (Fte Pilas)	1290	182,01±3,67	346,81±3,47	78,81±1,00	139,9±0,00	140,67±0,58	20,25±0,02	147,32±0,55	59,82±0,04	7,06	16,6
21. FORNILLOS (Fte Vieja)	1087	205,49±0,61	352,93±3,47	74,2±0,50	35,28±0,00	139,8±0,21	29,66±0,05	1,63±0,02	59,63±0,05	7,18	16,9

Tabla 6. Matriz de correlaciones. Caracterización hidroquímica de abril 2016

	<i>Conductividad</i>	<i>Nitratos</i>	<i>Hidrogenocarbonatos</i>	<i>Cloruros</i>	<i>Sulfatos</i>	<i>Calcio</i>	<i>Magnesio</i>	<i>Potasio</i>	<i>Sodio</i>
<i>Conductividad</i>	1								
<i>Nitratos</i>	0,3363	1							
<i>Hidrogenocarbonatos</i>	0,4991*	-0,018	1						
<i>Cloruros</i>	0,8723**	0,3792	0,4628*	1					
<i>Sulfatos</i>	0,5638**	-0,4524	0,131	0,3282	1				
<i>Calcio</i>	0,5741**	-0,1529	0,1858	0,3793	0,7334**	1			
<i>Magnesio</i>	0,4254	-0,0763	0,4083	0,3047	0,4032	-0,0858	1		
<i>Potasio</i>	0,6412**	0,511*	0,1486	0,5274*	0,1075	0,2596	-0,1172	1	
<i>Sodio</i>	0,792**	0,2795	0,4302	0,9267**	0,2916	0,2941	0,2575	0,492*	1

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Tabla 7. Matriz de correlaciones. Caracterización hidroquímica de septiembre 2016

	<i>Conductividad</i>	<i>Nitratos</i>	<i>Hidrogenocarbonatos</i>	<i>Cloruros</i>	<i>Sulfatos</i>	<i>Calcio</i>	<i>Magnesio</i>	<i>Potasio</i>	<i>Sodio</i>
<i>Conductividad</i>	1								
<i>Nitratos</i>	0,3028	1							
<i>Hidrogenocarbonatos</i>	0,6341**	-0,0953	1						
<i>Cloruros</i>	0,9024**	0,3451	0,5345*	1					
<i>Sulfatos</i>	0,4053	-0,5239	0,1556	0,2896	1				
<i>Calcio</i>	0,4628*	-0,1584	0,2746	0,4348*	0,4634*	1			
<i>Magnesio</i>	0,5433*	-0,109	0,6016**	0,4895*	0,4739*	0,0006	1		
<i>Potasio</i>	0,632**	0,3628	0,2319	0,5085*	0,0903	0,2623	-0,0896	1	
<i>Sodio</i>	0,6064**	0,3057	0,3252	0,7768**	0,2125	0,2948	0,2993	0,3814	1

Tabla 8. Matriz de componentes de abril 2016

	Componente		
	1	2	3
CE	,984	,009	-,024
Cl	,922	,183	,077
Na	,864	,174	,096
K	,620	,482	-,359
Bicarbon	,552	-,112	,499
Nitratos	,279	,858	,001
Sulfatos	,546	-,753	-,241
Mg	,395	-,350	,723
Ca	,566	-,451	-,595

Método de extracción: Análisis de componentes principales. A 3 componentes extraídos

Tabla 9. Matriz de componentes de septiembre 2016

	Componente		
	1	2	3
CE	,962	,089	-,012
Cl	,935	,175	-,044
Na	,743	,234	1,59E-005
Bicarbon	,676	-,216	-,367
K	,573	,461	,376
Nitratos	,198	,890	-,171
Sulfatos	,463	-,711	,289
Ca	,528	-,246	,655
Mg	,583	-,443	-,619

Tabla 10. Minerales estudiados por el programa *WATEQF*.

Minerales	Abreviatura	Composición
Anhidrita	An	CaSO_4
Aragonito	Arg	CaCO_3
Artinita	Art	$\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg(OH)}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Brucita	Bru	Mg(OH)_2
Calcita	Ca	CaCO_3
Dolomita	Do	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Yeso	Y	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Halita	Ha	NaCl
Huntita	Hu	$\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$
Hidromagnesita	Hidr	$\text{Mg}_4(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$
Magnesita	Mag	MgCO_3
Mirabilita	Mi	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Nacolita	Nac	NaHCO_3
Natrón	Nat	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Nesquehonita	Nes	$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Thernardita	The	NaSO_4
Thermonatrita	Them	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Trona	Tro	$\text{Na}_3(\text{HCO}_3)(\text{CO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Tabla 11. Índices saturación mostrados por el programa WATEQF en abril de 2016

Muestra	An	Arg	Art	Bru	Ca	Do	Y	Ha	Hu	Hidr	Mag	Mi	Nac	Nat	Nes	The	Them	Tro
1	-1,564	-0,165	-7,62	-6,685	-0,014	-0,625	-1,229	-7,628	-5,682	-17,07	-0,948	-7,639	-4,644	-10,129	-3,968	-9,069	-12,035	-16,789
2	-1,612	-0,064	-7,118	-6,055	0,089	-0,22	-1,258	-7,431	-4,675	-15,211	-0,639	-7,428	-4,677	-9,791	-3,657	-8,936	-11,772	-16,633
3	-1,651	-0,187	-7,581	-6,41	-0,035	-0,473	-1,304	-7,511	-5,185	-16,089	-0,77	-7,575	-4,663	-10,014	-3,789	-9,057	-11,97	-16,792
4	-1,552	-0,075	-7,394	-6,349	0,078	-0,287	-1,187	-7,288	-4,856	-15,178	-0,691	-7,161	-4,489	-9,609	-3,709	-8,716	-11,633	-16,352
5	-1,721	-0,214	-7,642	-6,647	-0,061	-0,756	-1,355	-7,531	-5,984	-17,335	-1,021	-7,536	-4,678	-9,955	-4,038	-9,091	-11,979	-16,887
6	-1,796	-0,132	-7,304	-6,314	0,021	-0,522	-1,425	-7,606	-5,448	-16,39	-0,867	-7,608	-4,739	-9,876	-3,884	-9,184	-11,921	-16,911
7	-1,929	-0,096	-7,081	-6,156	0,057	-0,481	-1,556	-7,495	-5,397	-16,21	-0,862	-7,557	-4,709	-9,658	-3,878	-9,139	-11,078	-16,672
8	-2,162	-0,144	-7,449	-7,013	0,009	-1,1	-1,799	-8,219	-7,156	-19,359	-1,436	-8,733	-5,038	-10,637	-4,453	-10,277	-12,652	-17,91
9	-1,764	-0,034	-7,107	-6,584	0,119	-0,677	-1,405	-7,705	-6,106	-17,681	-1,124	-7,816	-4,772	-10,003	-4,142	-9,345	-12,004	-16,98
10	-1,994	-0,101	-7,608	-7,087	0,054	-0,923	-1,604	-7,823	-6,717	-18,875	-1,294	-7,983	-4,689	-10,043	-4,309	-9,633	-12,158	-17,168
11	-1,792	-0,106	-7,371	-6,345	0,047	-0,387	-1,435	-7,184	-5,091	-15,996	-0,763	-7,126	-4,381	-9,354	-3,781	-8,644	-11,344	-15,919
12	-1,529	-0,106	-7,328	-6,375	0,046	-0,439	-1,187	-7,67	-5,245	-16,247	-0,819	-7,431	-4,64	-9,906	-3,838	-8,893	-11,842	-16,621
13	-1,097	0,037	-6,865	-6,146	0,19	-0,268	-0,738	-7,664	-5,02	-15,89	-0,786	-7,226	-4,824	-10,009	-3,803	-8,755	-12,009	-17,038
14	-2,068	-0,158	-7,482	-6,548	-0,006	-0,628	-1,716	-8,186	-5,71	-16,961	-0,953	-8,858	-5,115	-10,857	-3,972	-10,356	-12,828	-18,117
15	-1,636	-0,076	-7,096	-6,214	0,077	-0,449	-1,273	-7,628	-5,34	-16,229	-0,853	-7,525	-4,771	-9,887	-3,87	-9,07	-11,902	-16,893
16	-1,396	-0,168	-7,661	-6,566	-0,016	-0,484	-1,055	-7,331	-5,256	-16,371	-0,802	-7,19	-4,509	-9,858	-3,822	-8,646	-11,789	-16,433
17	-1,387	-0,126	-7,604	-6,498	0,026	-0,357	-1,038	-6,834	-4,959	-15,955	-0,715	-6,607	-4,212	-9,251	-3,733	-8,094	-11,212	-15,588
18	-1,622	-0,111	-7,415	-6,418	0,042	-0,435	-1,261	-7,963	-5,228	-16,241	-0,805	-8,173	-4,987	-10,581	-3,823	-9,707	-12,586	-17,782
19	-1,745	-0,028	-7,132	-5,694	0,125	0,244	-1,377	-7,555	-3,357	-13,124	-0,206	-7,463	-4,61	-9,673	-3,224	-9,023	-11,703	-16,548
20	-1,465	-0,038	-7,212	-6,533	0,114	-0,514	-1,122	-6,908	-5,604	-16,974	-0,961	-6,837	-4,335	-9,309	-3,98	-8,303	-11,249	-15,729
21	-1,97	0,012	-7,127	-6,325	0,165	-0,28	-1,597	-7,066	-5,01	-16,007	-0,769	-7,388	-4,419	-9,339	-3,786	-8,969	-11,389	-16,063

Tabla 12. Índices saturación mostrados por el programa WATEQF en septiembre de 2016

Muestras	An	Arg	Art	Bru	Ca	Do	Y	Ha	Hu	Hidr	Mag	Mi	Nac	Nat	Nes	The	Them	Tro
1	-1,794	-0,052	-6,972	-6,062	0,096	-0,252	-1,506	-7,502	-4,773	-15,437	-0,7	-7,679	-4,551	-9,772	-3,723	-8,917	-11,496	-15,97
2	-1,622	-0,139	-7,156	-6,009	0,01	-0,288	-1,325	-7,235	-4,712	-15,177	-0,647	-7,252	-4,494	-9,615	-3,669	-8,53	-11,377	-15,832
3	-1,743	-0,307	-7,716	-6,33	-0,157	-0,566	-1,435	-7,365	-5,213	-15,93	-0,754	-7,435	-4,533	-9,858	-3,776	-8,758	-11,663	-16,201
4	-1,693	-0,264	-7,679	-6,447	-0,116	-0,561	-1,411	-7,272	-5,275	-16,214	-0,798	-7,426	-4,424	-9,826	-3,822	-8,643	-11,53	-15,858
5	-1,776	-0,34	-7,685	-6,417	-0,192	-0,751	-1,495	-7,465	-5,692	-16,641	-0,912	-7,686	-4,617	-10,077	-3,936	-8,894	-11,772	-16,283
6	-1,818	-0,373	-7,665	-6,375	-0,225	-0,83	-1,536	-7,334	-5,863	-16,781	-0,958	-7,402	-4,52	-9,786	-3,982	-8,619	-11,49	-15,914
7	-1,821	-0,203	-7,047	-5,91	-0,056	-0,472	-1,539	-7,296	-5,13	-15,565	-0,77	-7,341	-4,539	-9,551	-3,794	-8,553	-11,251	-15,689
8	-2,286	-0,265	-7,523	-6,74	-0,116	-1,038	-1,983	-7,772	-6,712	-18,4	-1,269	-8,108	-4,616	-9,94	-4,291	-9,411	-11,726	-16,327
9	-1,648	-0,204	-7,263	-6,495	-0,056	-0,843	-1,366	-7,495	-6,24	-17,631	-1,14	-7,462	-4,579	-9,846	-4,164	-8,674	-11,546	-16,023
10	-1,896	-0,204	-7,427	-6,594	-0,057	-0,772	-1,62	-7,512	-6,025	-17,449	-1,071	-7,738	-4,492	-9,868	-4,095	-8,926	-11,544	-15,91
11	-1,768	-0,147	-7,346	-6,233	0,003	-0,371	-1,453	-7,063	-4,949	-15,684	-0,716	-7,038	-4,292	-9,284	-3,737	-8,391	-11,118	-15,445
12	-1,565	-0,225	-7,605	-6,456	-0,074	-0,588	-1,233	-7,547	-5,451	-16,455	-0,852	-7,128	-4,478	-9,674	-3,872	-8,548	-11,571	-16,148
13	-1,219	-0,09	-6,895	-5,943	0,058	-0,314	-0,94	-7,477	-4,882	-15,423	-0,726	-7,184	-4,659	-9,88	-3,751	-8,386	-11,57	-16,118
14	-1,951	-0,271	-7,597	-6,473	-0,121	-0,727	-1,637	-7,945	-5,772	-16,86	-0,95	-8,312	-4,892	-10,497	-3,971	-9,661	-12,326	-17,249
15	-1,739	-0,137	-7,104	-6,093	0,014	-0,461	-1,408	-7,454	-5,245	-15,936	-0,813	-7,297	-4,59	-9,58	-3,833	-8,712	-11,472	-16,156
16	-1,552	-0,282	-7,849	-6,568	-0,131	-0,633	-1,216	-7,279	-5,472	-16,516	-0,838	-7,057	-4,425	-9,678	-3,858	-8,493	-11,589	-16,129
17	-1,429	-0,271	-7,875	-6,525	-0,121	-0,515	-1,106	-6,837	-5,136	-16,053	-0,734	-6,638	-4,206	-9,355	-3,755	-8,021	-11,218	-15,489
18	-1,933	-0,134	-7,209	-6,212	0,015	-0,429	-1,631	-7,742	-5,146	-15,959	-0,791	-8,259	-4,824	-10,311	-3,814	-9,557	-12,092	-16,897
19	-1,771	0,364	-5,763	-4,821	0,514	0,977	-1,444	-7,369	-1,93	-10,916	0,124	-7,208	-4,437	-8,954	-2,896	-8,608	-10,831	-15,347
20	-1,575	-0,064	-6,986	-6,183	0,084	-0,393	-1,29	-6,924	-5,173	-16,079	-0,83	-7,06	-4,354	-9,38	-3,854	-8,287	-11,094	-15,361
21	-2,148	0,088	-6,603	-5,789	0,237	0,065	-1,855	-6,943	-4,105	-14,455	-0,522	-7,616	-4,337	-9,222	-3,545	-8,879	-10,969	-15,253

Tabla 13.Concentración de nitratos en mg/L en los puntos de marzo 2016 a febrero 2017

PUNTO DE MUESTREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
1	60,92±0,21	70,83±0,33	62,01±0,99	58,91±0,02	39,86±0,08	39,56±0,08	46,70±0,29	53,93±0,93	52,44±0,40	74,01±0,41	91,98±0,08	113,03±0,00
2	53,43±0,35	95,87±0,43	77,81±0,66	83,88±0,01	68,81±0,90	68,40±0,41	73,14±0,33	63,17±0,25	70,19±0,40	87,48±0,57	66,22±0,00	81,50±0,25
3.	90,17±0,88	96,85±0,96	88,34±1,21	79,74±1,28	68,27±0,37	68,08±0,49	84,10±0,24	85,31±1,02	76,34±1,70	62,75±0,37	85,60±0,25	91,15±0,99
4.	116,26±0,99	139,93±1,13	140,32±2,02	152,44±0,44	103,55±1,22	104,38±1,02	42,85±4,28	55,70±0,64	40,03±1,82	161,93±0,00	110,83±0,21	158,16±0,21
5.	134,56±0,62	134,42±0,70	113,46±2,43	113,57±0,48	82,31±1,07	82,61±0,15	98,53±0,76	92,92±0,95	102,51±0,30	108,82±1,23	120,64±0,00	43,71±0,46
6.	105,22±0,37	86,54±0,00	74,16±1,46	61,92±0,01	52,27±0,49	52,77±0,37	88,08±0,73	90,88±1,78	85,88±0,36	91,76±0,74	79,44±0,50	79,56±0,86
7.	156,01±0,65	157,56±0,84	164,39±1,56	165,48±0,77	151,78±0,70	150,77±0,17	165,25±0,87	178,78±2,36	170,54±0,52	177,87±1,41	186,04±0,18	189,57±1,94
8.	84,29±0,29	87,27±0,36	86,44±0,72	82,42±0,66	72,85±0,00	72,75±0,24	84,36±0,61	78,92±0,38	82,96±1,09	85,57±1,11	88,24±0,50	51,69±0,86
9.	77,37±0,53	78,25±0,44	75,11±0,60	76,48±0,32	65,16±0,12	64,36±0,61	77,01±0,49	65,16±1,02	72,39±0,73	111,45±0,49	77,68±0,50	76,08±1,36
10.	55,92±0,77	68,49±0,61	72,86±2,31	78,63±0,67	61,44±0,98	60,38±0,86	70,35±1,10	60,94±0,64	66,12±0,12	50,38±0,62	45,37±0,12	71,03±0,37
11.	85,67±0,91	98,69±0,87	102,36±1,95	109,810,80	93,96±0,24	94,29±0,37	105,73±0,24	106,17±0,25	93,78±0,85	106,57±0,99	92,73±0,37	93,33±0,12
12.	28,97±0,19	29,02±0,12	31,64±0,34	32,85±0,12	30,57±0,17	30,38±0,17	28,05±0,17	28,09±0,13	31,76±0,44	31,57±0,27	32,15±0,15	31,66±0,07
13.	2,37±0,05	1,64±0,00	1,47±0,11	3,38±0,08	0,37±0,01	0,54±0,16	1,46±0,05	1,10±0,08	1,58±0,06	5,68±0,06	2,78±0,04	2,89±0,04
14.	146,09±1,03	108,62±1,14	136,73±2,67	135,73±1,18	119,06±0,98	117,99±0,24	120,62±1,22	120,79±0,25	135,67±1,21	207,74±0,74	186,87±3,18	315,23±0,25
15.	20,11±0,12	13,50±0,22	14,74±0,13	14,15±0,02	12,01±0,00	11,95±0,02	15,65±0,06	15,46±0,11	19,39±0,22	17,76±0,05	19,16±0,02	16,88±0,01
16.	26,30±0,15	25,23±0,08	28,79±0,41	30,42±0,11	21,18±0,10	21,18±0,02	20,87±0,05	19,81±0,43	19,60±0,05	22,32±0,00	26,89±0,02	26,94±0,10
17.	44,48±0,37	40,14±0,25	45,12±0,48	43,88±0,32	34,13±0,43	34,30±0,12	42,18±0,18	42,56±0,38	42,59±0,30	42,57±0,49	42,98±0,25	40,57±0,92
18.	120,59±1,52	117,22±1,33	110,76±1,81	107,94±1,82	97,49±0,82	97,60±0,00	86,25±1,63	106,06±2,76	128,67±1,21	102,12±1,64	117,87±1,45	119,98±1,64
19.	111,36±1,15	96,96±,02	101,25±1,41	101,62±1,84	83,07±2,04	82,47±1,43	107,44±2,65	105,46±2,76	99,74±2,43	98,34±0,82	64,61±1,24	96,17±1,23
20.	220,99±2,78	220,32±1,75	210,01±6,08	216,45±1,20	177,97±0,41	175,32±2,04	182,01±3,67	191,13±2,12	183,73±1,21	176,07±0,41	183,80±0,00	186,24±2,87
21.	210,29±2,61	208,06±2,24	226,49±3,64	214,01±1,93	182,79±0,92	181,44±0,00	205,49±0,61	183,14±1,91	178,18±2,73	200,65±1,85	232,70±0,31	248,56±1,54

Tabla 14. Comparativa temporal valores de nitratos.

Fuente Alerre (Año)	Alerre (mg/L)	Lierta (mg/L)	Lienas (mg/L)
Larrey-Lasaosa (octubre 1993)	121,00	56,50	129,00
Igual (octubre 2013)	143,48	181,97	147,90
Traba (marzo 2014)	159,88	137,81	104,67
Bosque (noviembre 2014)	100,17	-	-
Trabajo propio (2016-2017)	110,53	154,26	95,70