



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Contaminación por nitratos en acuíferos del  
somontano altoaragonés

Autor

Nuria Igual Ramos

Director

José Antonio Cuchí Oterino

Escuela Politécnica Superior de Huesca  
2014



**Universidad**  
Zaragoza



**Escuela Politécnica**  
**Superior - Huesca**  
**Universidad Zaragoza**

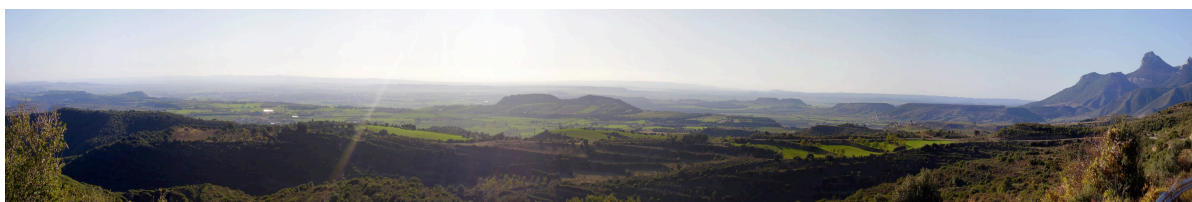
Trabajo de Fin de Grado de Ciencias Ambientales

**CONTAMINACIÓN POR NITRATOS EN ACUÍFEROS  
DEL SOMONTANO ALTOARAGONÉS.**

Autora: Nuria Igual Ramos

Director: José Antonio Cuchí Oterino

Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Noviembre 2014.



*... A Rufino, por creer en mi, por quererme y por estar siempre para ayudarme a seguir adelante .*

*... Al pequeño Acher, para que continúe siendo tan curioso y para animarle a perseguir sus metas.*

*... A mis padres, Ramón y Rosa, por su apoyo incondicional , por cuidarme y animarme en los momentos difíciles y por enseñarme que en el esfuerzo si hay futuro.*

## Agradecimientos

---

En primer lugar, agradecer a José Antonio Cuchí Oterino haber dirigido este Trabajo Fin de Grado, por compartir conmigo su tiempo y su saber, por su paciencia y sus buenos consejos, muchas gracias.

Agradecer a Joaquín Lanuza, Tomas Salinas y José Antonio Manso, por facilitar mi trabajo de laboratorio.

A casa Chil de Buén de Erés, a Pilar Santolaria y David Badía por dejarnos acceder a sus casas.

Mi más sentido agradecimiento a muchos profesores y compañeros que me han ayudado a lo largo de estos años para poder estar escribiendo ahora este trabajo.

A mis amigos, Raquel y Sergio que me prestaron su escaso tiempo, por sus buenos consejos, su ánimo y su cariño, muchísimas gracias.



## Resumen

---

La contaminación por nitratos del agua subterránea es un problema de salud pública de alcance mundial y una de las principales preocupaciones ambientales de nuestro tiempo. Por ello la Unión Europea aprueba la *Directiva 91/676/CEE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura*. La UE establece el umbral límite de contenido en nitrato de las aguas en 50mg/L de acuerdo con lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud en la *Directiva 1998/83/CE*.

Este trabajo está dirigido específicamente a determinar el grado de contaminación por nitratos de las masas de agua en un área del somontano altoaragonés y a evaluar su origen. Para ello se realiza una campaña de muestreo, en octubre de 2013, la elección de los puntos de agua responde a la necesidad de estimar la influencia de la fertilización sobre la calidad de los acuíferos, dado que las actividades agropecuarias son uno de los orígenes más frecuentes e importantes de la contaminación de las aguas naturales y en el área estudiada más del 50% de la superficie es de uso agrícola.

Los resultados obtenidos se basan en la determinación, por espectrofotometría VIS-UV, de nitratos en las muestras de agua recogidas y su representación espacial así como en el estudio de las características hidrogeológicas de los materiales, terciarios y cuaternarios, que conforman la zona de estudio, en el análisis de los usos del suelo y en la consulta sobre el abonado a agricultores de la zona.

Con casi el 45% de las muestras con valores superiores a 50 mg/L, se demuestra que las masas de agua subterráneas, de la zona de estudio, están mayoritariamente contaminadas por nitratos y se evidencia la relación entre las elevadas concentraciones con las actividades agrícolas, en concreto con la fertilización nitrogenada. De la comparación con otras investigaciones, se desprende que existe un problema de contaminación por nitratos desde hace más de 25 años. Con relación a las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos o en riesgo de estarlo, delimitadas por la administración, subrayar que la masa de agua correspondiente a las Terrazas del Gállego no está definida como tal a pesar de presentar contenidos en nitratos por encima del umbral sanitario.

**Palabras clave:** acuífero, agua subterránea, contaminación por nitratos, fertilización nitrogenada, somontano altoaragonés, zona vulnerable.

## Abstract

---

The contamination because of groundwater nitrates is a public health problem with a worldwide extent and one of the main environmental concerns of our time. That is why the European Union passes the Directive 91/676/CEE which has to do with the protection of water against the contamination produced by nitrates used in agriculture. The EU establishes the threshold limit in water nitrate content in 50mg/L according to what is recommended by the World Health Organization in the Directive 1998/83/CE.

This project is specifically addressed to establish the degree of pollution caused by nitrates in the body of water in an area of Altoaragonés Somontano and to evaluate its origin. For this a sampling campaign was carried out in October 2013, the choice of the water points responds to the necessity of estimating the influence of fertilization about the quality of aquifers, since the agricultural activities are one of the most frequent and important origins of the natural water pollution and in the studied area more than 50% of the surface is of agricultural use.

The results obtained are based on determination, by spectrophotometry VIS-UV, of nitrates in the samples of water collected and its space representation and in the hydrogeological characteristics of the materials , tertiary and quaternary, which shape the study zone as well as the analysis of the ground uses and the consultation with local agrarians.

With almost 45% of the samples with values over 50 mg/L, it is proved that the bodies of groundwater , in the study zone, are mostly polluted by nitrates and it is also shown the relation between the high concentrations with the agricultural activities, specifically with the nitrogen fertilization. From the comparison with other researches, it follows that in the studied area there has been a problem of pollution by nitrates for more than 25 years. Concerning vulnerable areas, the pollution by nitrates or the risk of having it, bounded by the administration, it must be highlighted that the body of water which corresponds to the Gallego terraces is not defined as such in spite of presenting contents in nitrates above the health threshold.

**Keywords:** aquifer, groundwater, pollution by nitrates, nitrogen fertilization, Somontano altoaragonés, vulnerable area.

## INDICE

---

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<b>3. CONCEPTOS GENERALES</b>	<b>13</b>
<b>3.1. EL CICLO DEL AGUA</b>	<b>13</b>
<b>3.2. EL AGUA SUBTERRÁNEA</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1. CONCEPTOS BÁSICOS</b>	<b>14</b>
<b>3.2.2. TIPOS DE ACUÍFEROS</b>	<b>15</b>
<b>3.2.3. EL AGUA SUBTERRÁNEA, RECURSO NATURAL ESTRATÉGICO</b>	<b>17</b>
<b>3.3. EL NITRÓGENO EN EL MEDIO AMBIENTE</b>	<b>18</b>
<b>3.3.1. EL CICLO DEL NITRÓGENO</b>	<b>18</b>
<b>3.3.2. USO DEL NITRÓGENO EN EL ENTORNO AGRÍCOLA</b>	<b>20</b>
<b>3.3.3. EL PROBLEMA DE LOS NITRATOS Y LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS</b>	<b>23</b>
<b>3.4. RIESGOS SANITARIOS DEL EXCESO DE NITRATO</b>	<b>28</b>
<b>3.5. MARCO LEGAL</b>	<b>30</b>
<b>3.5.1. MARCO LEGAL EUROPEO</b>	<b>30</b>
<b>3.5.2. MARCO LEGAL ESTATAL</b>	<b>32</b>
<b>3.5.3. MARCO LEGAL AUTONÓMICO</b>	<b>33</b>
<b>4. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>37</b>
<b>4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y USOS DEL TERRITORIO</b>	<b>37</b>
<b>4.2. CLIMATOLOGÍA</b>	<b>41</b>
<b>4.2.1. TEMPERATURAS</b>	<b>42</b>
<b>4.2.2. PRECIPITACIONES</b>	<b>43</b>
<b>4.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN</b>	<b>45</b>
<b>4.3. GEOLOGÍA</b>	<b>46</b>
<b>4.3.1. HISTORIA GEOLÓGICA</b>	<b>48</b>
<b>4.3.2. LITOESTRATIGRAFÍA</b>	<b>50</b>
<b>4.3.3. ESTRUCTURA GEOLÓGICA</b>	<b>51</b>
<b>4.3.4. GEOMORFOLOGÍA</b>	<b>52</b>
<b>4.4. HIDROGEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>55</b>
<b>4.4.1. ANTECEDENTES</b>	<b>55</b>
<b>4.4.2. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.</b>	<b>56</b>
<b>4.4.3. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS</b>	<b>59</b>

<b>5. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>68</b>
<b>5.1. MUESTREO</b>	<b>68</b>
<b>5.2. TRABAJO DE LABORATORIO</b>	<b>69</b>
<b>5.2.1. DETERMINACIÓN DEL PH</b>	<b>69</b>
<b>5.2.2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO EN NITRATOS</b>	<b>70</b>
<b>5.3. TRABAJO DE GABINETE</b>	<b>74</b>
<b>5.3.1. ESTUDIO PREVIO A LA CAMPAÑA DE MUESTREO</b>	<b>74</b>
<b>5.3.2. ESTUDIO POSTERIOR AL MUESTREO</b>	<b>75</b>
<b>5.3.3. TRATAMIENTO DE DATOS</b>	<b>75</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>77</b>
<b>6.1. RESULTADOS CAMPAÑA DE MUESTREO</b>	<b>77</b>
<b>6.1.1. TEMPERATURA</b>	<b>77</b>
<b>6.1.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA</b>	<b>79</b>
<b>6.1.3. OXÍGENO DISUELTO</b>	<b>80</b>
<b>6.2. DATOS ANALÍTICOS DE LABORATORIO</b>	<b>81</b>
<b>6.2.1. VALORES DE PH</b>	<b>81</b>
<b>6.2.2. CONTENIDO EN ION NITRATO</b>	<b>83</b>
<b>6.3. COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS</b>	<b>91</b>
<b>6.4. BALANCE DE NITRATOS EN EL ACUÍFERO DE HUESCA</b>	<b>93</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>96</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO III</b>	<b>111</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico.	13
Figura 2. Tipos de acuíferos según las características litológicas.	16
Figura 3. Tipos de acuíferos según estructura y funcionamiento.	16
Figura 4. Tipos de acuíferos según sus características hidrodinámicas.	17
Figura 5. Dinámica del nitrógeno a escala global.	18
Figura 6. Ciclo del nitrógeno.	19
Figura 7. Impacto antropogénico en el ciclo del nitrógeno.	20
Figura 8. Tendencias en los aportes de nitrógeno por fertilización química y fijación de nitrógeno con relación al crecimiento de la población mundial desde 1860.	21
Figura 9. Distribución en el suelo del fertilizante Nitrógeno Amónico.	22
Figura 10. Zonas vulnerables a nitratos de España.	25
Figura 11. Determinación de las masas de aguas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario en la Demarcación del Ebro.	26
Figura 12. Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos agrarios en Aragón.	27
Figura 13. Situación y municipios de la comarca de la Hoya de Huesca.	37
Figura 14. Zona de estudio.	38
Figura 15. Gráfico Usos del suelo en la Hoya de Huesca	39
Figura 16. Gráfico Usos del suelo en la Comarca de Huesca.	40
Figura 17. Campo de cereal frente a la Escuela Politécnica Superior de Huesca.	40
Figura 18. Campo de almendros en las cercanías de Lierta	41
Figura 19. Distribución espacial de las precipitaciones anuales en el Alto Aragón.	43
Figura 20. Ombrotermogramas realizados a partir de los valores registrados en el observatorio de Huesca/Monflorite de los últimos años.	45
Figura 21. Esquema geológico regional del área de estudio.	46
Figura 22. Esquema geológico del área de estudio.	47
Figura 23. Cuenca del Ebro y sectores adyacentes. Sistemas fluviales de Luna y Huesca.	48
Figura 24. Pequeños abanicos aluviales en el margen de cuenca al pié de las Sierras Exteriores.	49
Figura 25. Vista panorámica de la zona de estudio desde Santa Eulalia de la Peña.	52
Figura 26. Vista norte del Cerro testigo de San Mitiel.	53
Figura 27. Terraza fluvial cultivada.	54
Figura 28. Esquema hidrogeológico regional de la zona de estudio.	56
Figura 29. Unidades hidrogeológicas del Somontano según Garrido y Azcón.	59
Figura 30. Localización masa de agua Terrazas del Gállego.	60
Figura 31. Vista de las terrazas del Gállego en cercanías de Fuendoro.	61
Figura 32. Masa de agua Ayerbe-Fontellas.	61
Figura 33. Contacto del Mioceno con el final del Glacis en las proximidades de Fontellas.	62
Figura 34. Pozo en huertos de Lupiñén.	63
Figura 35. Localización de la masa de agua definida por la CHE como Saso de Bolea-Ayerbe.	63
Figura 36. Vista de la población de Esquedas y de sus drenes para eliminación de agua subterránea que posteriormente se pueden utilizar para riego.	64
Figura 37. Localización de la unidad Hoya de Huesca definida por la CHE.	65
Figura 38. Delimitación del acuífero de Apiés.	66
Figura 39. Masas de agua subterránea en la zona de estudio delimitadas por CHE, 2013.	67
Figura 40. Vista de algunas muestras de agua en el laboratorio.	69
Figura 41. Modelo de pH-metro utilizado. Marca CRISON MM40	69
Figura 42. Vista del espectrofotómetro utilizado.	73
	73

Figura 43. Correlación entre los datos de concentración de NO <sub>3</sub> de las disoluciones patrón y las lecturas de la Absorbancia a 220nm. Ecuación de la regresión lineal y coeficiente de correlación.	
Figura 44. Valores de temperaturas obtenidas en campo en los puntos de agua superficiales.	78
Figura 45. Valores de temperaturas obtenidas en campo en los puntos de agua subterránea.	78
Figura 46. Representación gráfica de los valores de CE(microS) obtenidas en campo.	79
Figura 47. Representación gráfica de los valores de oxígeno disuelto (mg/L) obtenidos en campo.	80
Figura 48. Vista de la alberca de Fuendoro.	80
Figura 49. Representación gráfica de los valores de oxígeno disuelto (mg/L) de las aguas superficiales.	81
Figura 50. Representación gráfica de los valores obtenido de pH obtenidos en las aguas muestreadas.	82
Figura 51. Valores medios de pH de las muestras de agua superficial y subterránea.	82
Figura 52. Porcentaje de las muestras de agua en función del contenido en nitratos.	83
Figura 53. Gráfico de los niveles de ión nitrato determinado en las muestras.	84
Figura 54. Modificación del Plano 2 (Anexo II) incluyendo delimitación masas de agua estudiadas y muestras de referencia colindantes con las Sierras (sin cultivos).	86
Figura 55. Gráfico de concentración de nitratos en la masa de agua: Terrazas del Gállego.	87
Figura 56. Gráfico de concentración de nitratos en las masas de agua: Cuenca del Sotón y Ayerbe-Fontellas.	89
Figura 57. Gráfico de concentración de nitratos en las masas de agua: Cuenca del Isuela-Acuífero de Apiés.	89
Figura 58. Resultados obtenidos de NO <sub>3</sub> en el saso Bolea-Ayerbe	92
Figura 59. Resultados obtenidos de NO <sub>3</sub> de las redes de control en la Hoya de Huesca.	93
Figura 60. Diagrama de los flujos de nitratos en un acuífero libre.	93

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Temperatura media mensual/anual (°C) en estaciones de la Hoya de Huesca durante el periodo 1961-1991.	42
<b>Tabla 2.</b> Temperatura media mensual/anual (°C) en la estación meteorológica de Huesca Aeropuerto.	43
<b>Tabla 3.</b> Valores de precipitación normal (en mm), mensual y anual, en estaciones de la Hoya de Huesca durante el periodo 1981-2010.	43
<b>Tabla 4.</b> Valores de precipitación media mensual y anual (en mm) en la estación meteorológica de Huesca Aeropuerto.	44
<b>Tabla 5.</b> Valores de evapotranspiración de referencia (ET <sub>0</sub> ) mensuales calculadas, a partir de los datos de observatorio de Huesca en el año 2013.	46
<b>Tabla 6.</b> Volúmenes utilizados para la preparación de los estándares de calibración.	71
<b>Tabla 7.</b> Comparación de los resultados obtenidos por Larrea y Lasaosa (campaña de muestreo: octubre 1993) con los resultados obtenidos en el presente estudio (campaña de muestreo: octubre 2013).	91
<b>Tabla 8.</b> Toneladas de nitrógeno expresado como ión nitrato aportado por fertilización en el acuífero de Huesca.	94
<b>Tabla 9.</b> Toneladas de nitrógeno expresado como ión nitrato captado por los cultivos de cereal de invierno.	95
<b>Tabla 10.</b> Resumen del balance simplificado de nitratos en el acuífero de Huesca.	95

## 1. Introducción

El agua es un recurso natural renovable. En la Tierra hay una gran disponibilidad de agua, pero sólo un pequeño porcentaje es agua dulce y puede ser directamente aprovechada. La mayor parte de este volumen se encuentra en los glaciares y casquetes polares. El 0,68% del agua dulce de la Tierra se encuentra en forma de agua subterránea, mientras que el agua superficial, presente en ríos y lagos de agua dulce, conforma menos del 0,01% del total (Sikhilomanov, 1998). Sin embargo, la facilidad de explotación de sus aguas y la renovación de las mismas han hecho que históricamente los cursos fluviales hayan sido la fuente principal del abastecimiento humano. A lo largo de la historia se puede constatar su importancia, los asentamientos de las poblaciones se relacionan normalmente con la presencia de agua, las grandes civilizaciones se establecieron en zonas cercanas a ríos importantes; el agua es esencial tanto para la vida como para el desarrollo social y económico.

Debido a las necesidades crecientes de la población, durante el siglo XX, el agua subterránea, se ha constituido como una fuente de abastecimiento importante tanto para la población como para la agricultura.

La contaminación de las aguas causada, en determinadas circunstancias, por la producción agrícola intensiva es un fenómeno cada vez más acusado que se manifiesta especialmente en un aumento de la concentración de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas, así como en la eutrofización de embalses, estuarios y aguas litorales (CHE, 2012). Uno de los procesos más comunes de la degradación ambiental derivados de las malas prácticas agrícolas es la contaminación difusa de los recursos hídricos subterráneos (Martínez, 2009).

Los nitratos son contaminantes móviles en el agua subterránea que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como mineral. Estos dos factores permiten que el ion nitrato pueda permanecer en grandes cantidades disuelto en el agua (Pacheco, 2003).

Guiados por la legislación europea, se han definido en el área de este estudio, varias zonas afectadas por la contaminación de nitratos o en riesgo de estarlo. La Unión Europea define como *zona vulnerable* aquella superficie donde se dan procesos de escorrentía o filtración que pueden originar contaminación de las aguas por nitrato, fijando en 50 mg/L de nitrato el límite admisible.



## 2. Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo son:

- Estudiar la presencia del ion nitrato en una serie de puntos de aguas, superficiales y subterráneas, en el somontano altoaragonés y determinar si existe contaminación en base a la Directiva de la Unión Europea.
- Evaluar, dentro de lo posible, el origen de la presencia de nitratos en los puntos de agua.

Los objetivos específicos son:

- De forma preliminar, establecer puntos de agua de distintas procedencias dentro del área de trabajo en el somontano oscense de forma que se pueda realizar un estudio ecuánime de las principales masas de agua.
- Realizar un estudio de los aspectos hidrogeológicos del somontano del Alto Aragón más relevantes.
- Analizar los diferentes usos del territorio y las actividades agropecuarias que potencialmente pueden alterar la naturaleza de las aguas e interpretar la relación existente entre el contenido en ión nitrato y el uso del suelo.
- Tratar de observar la evolución en el tiempo de la presencia de ion nitrato en determinados acuíferos a partir de la comparación con otros estudios anteriores.

### 3. Conceptos generales

#### 3.1. 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 (Fraile *et al*, 2009).

Los principales componentes del ciclo hidrológico son la precipitación, evaporación/evapotranspiración y la escorrentía superficial y subterránea (Fraile *et al*, 2009). El agua de lluvia alimenta las escorrentías superficial y subterránea.

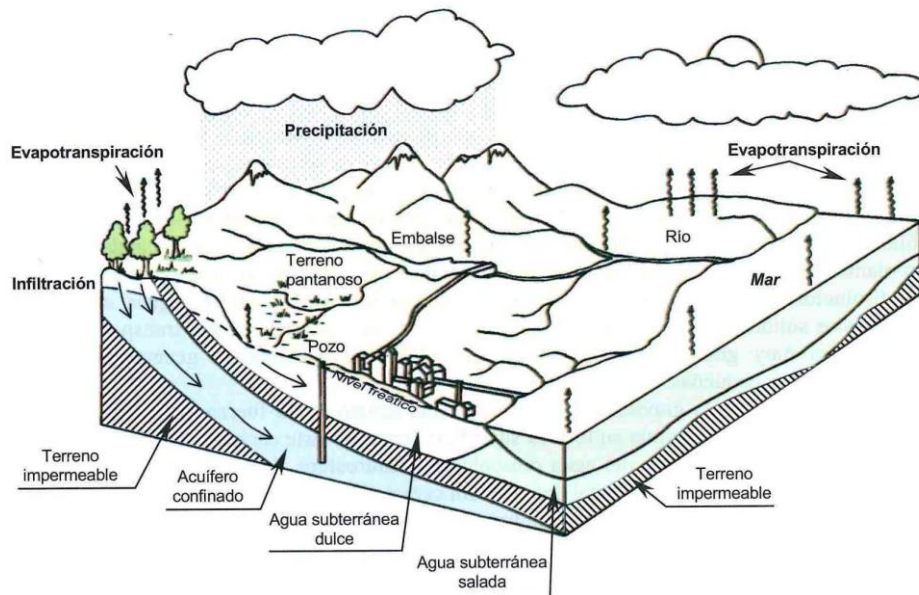


Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico. FCiHS, 2009.

## 3.2. El agua subterránea

### 3.2.1. Conceptos básicos

Las elementos básicos de las aguas subterráneas son 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 (Oliván, 2013).

Desde un punto de vista hidrogeológico, las formaciones geológicas bajo condiciones de saturación, se clasifican en acuíferos, acuitardos y acuícludos (Cuchí, 1998). Un acuífero es una unidad geológica saturada permeable que puede transmitir significantes cantidades de agua bajo gradientes hidráulicos normales (Cuchí, 1998) mientras que un acuitardo es también 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. (Cuchí, 1998). Un acuícludo 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 (Jordana et al, 2009).

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 (Ribera *et al*, 2009).

La conductividad hidráulica define la capacidad del medio poroso, para transmitir el agua a través de si mismo (Villón, 2007). Tiene magnitud de velocidad y en general, está ligado a la porosidad eficaz del terreno, a la interconexión y al tamaño de poros (Jordana et al, 2009). En sedimentos no consolidados la conductividad hidráulica es un parámetro muy variable debido a motivos tan diversos como la granulometría del materiales, las intercalaciones finas entre unidades más gruesas y a mayor escala a la propia variabilidad de depósitos de la cuenca sedimentaria (Villón, 2007).

### 3.2.2. 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.

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 (Cuchí, 1998).

Los acuíferos de tipo kárstico se desarrollan en rocas carbonatadas, calizas y dolomías (Cuchí, 1998), 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 (Ribera *et al*, 2009). 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 (Cuchí, 1998).

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 conforman estos acuíferos se pueden diferenciar entre consolidados, como las areniscas del Mioceno del valle del Ebro, y no consolidados como las morrenas glaciares, las terrazas fluviales, glaciares de tipo somontano o rellenos de vales (Cuchí, 1998).

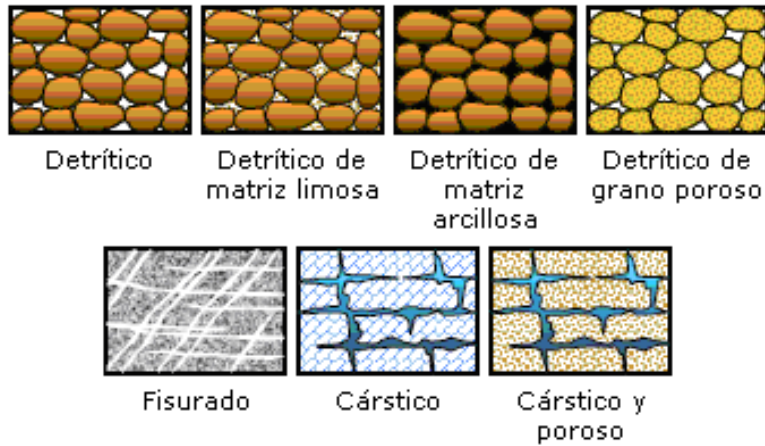


Figura 2. Tipos de acuíferos según las características litológicas. (SIA, 2004)

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 de agua a presión atmosférica constituye el límite superior del acuífero libre, que se denomina nivel freático, subirá o descenderá en altura en función de los aportes o extracciones de agua. Se recargan desde la superficie por precipitación y en menor medida por 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.

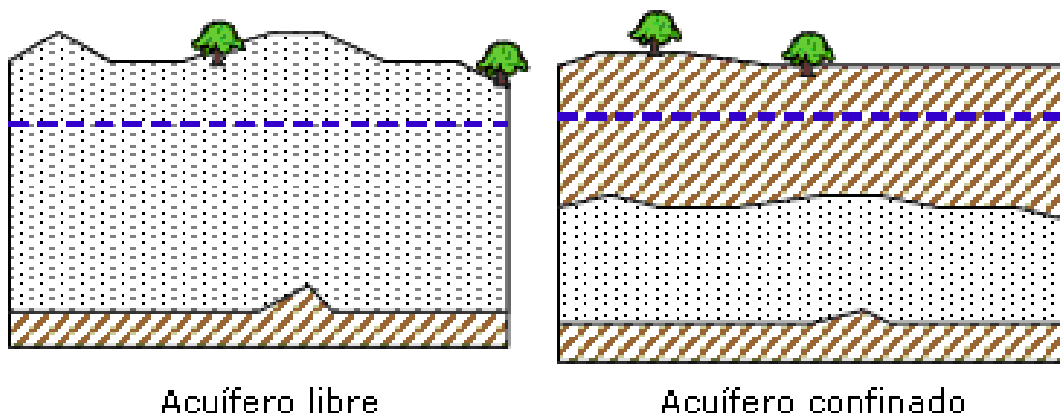


Figura 3. Tipos de acuíferos según estructura y funcionamiento. (SIA, 2004).

Los acuíferos semiconfinados pueden considerarse un caso particular de acuífero confinado, en los que el límite superior no es totalmente impermeable sino que permite la circulación vertical de agua (López *et al*, 2001).

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 (López *et al*, 2001).

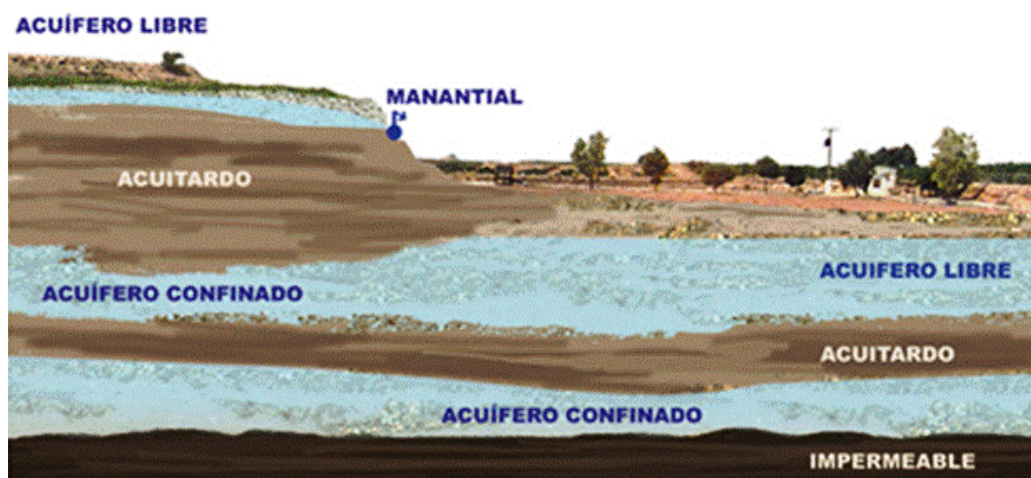


Figura 4. Tipos de acuíferos según sus características hidrodinámicas. SIA, 2004.

### 3.2.3. El agua subterránea, recurso natural estratégico

El agua subterránea, a través de surgencias en superficie ha sido históricamente relevante; con el avance tecnológico se empezó a explotar el agua subterránea y en la actualidad se utiliza este recurso de forma recurrente. Las especiales características y condiciones naturales de las aguas subterráneas las hacen idóneas para su utilización en muchos casos (Fernández, 2007).

Algunas ciudades de las más pobladas del mundo como México, Shanghái, Buenos Aires ó Nueva York se abastecen hoy parcialmente con agua subterránea . Se estima que actualmente el 50% del agua potable del mundo y el 20% del agua de riego provienen de fuentes subterráneas (Fernández-Jauregui *et al*, 2008).

### 3.3. El nitrógeno en el medio ambiente

#### 3.3.1. El ciclo del nitrógeno

La Tierra es un sistema que contiene una cantidad fija de cada elemento químico estable (Sierra y Gómez, 2007). Los ciclos biogeoquímicos representan el movimiento de estos elementos entre los diversos reservorios terrestres (tierra firme, océanos, atmósfera y organismos vivos).

Además del ciclo del agua, existen diversos ciclos biogeoquímicos como el del carbono, constituyente fundamental de todas las sustancias orgánicas; el del fósforo, elemento relativamente raro en la biosfera pero con un papel clave para la vida por formar parte de la estructura fundamental del ADN, ARN y ATP o el ciclo del nitrógeno, componente fundamental de las biomoléculas esenciales para la vida. En la naturaleza, el nitrógeno no es un elemento muy disponible, por ello es uno de los principales factores que controlan la dinámica, biodiversidad y funcionabilidad de muchos ecosistemas (Sierra y Gómez, 2007).

Los principales procesos que componen el ciclo del nitrógeno son cinco:

- Fijación de N.
- Incorporación del N de la cadena trófica y en distintos organismos.
- Mineralización del N.
- Nitrificación.
- Desnitrificación.

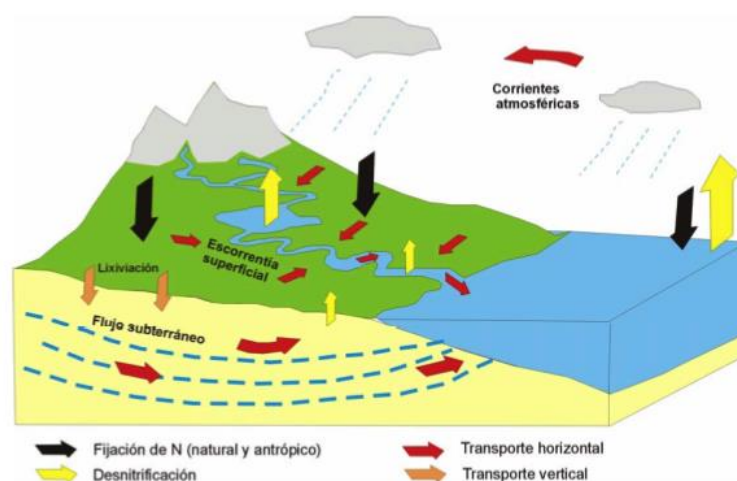


Figura 5. Dinámica del nitrógeno a escala global. (Martínez, 2009)



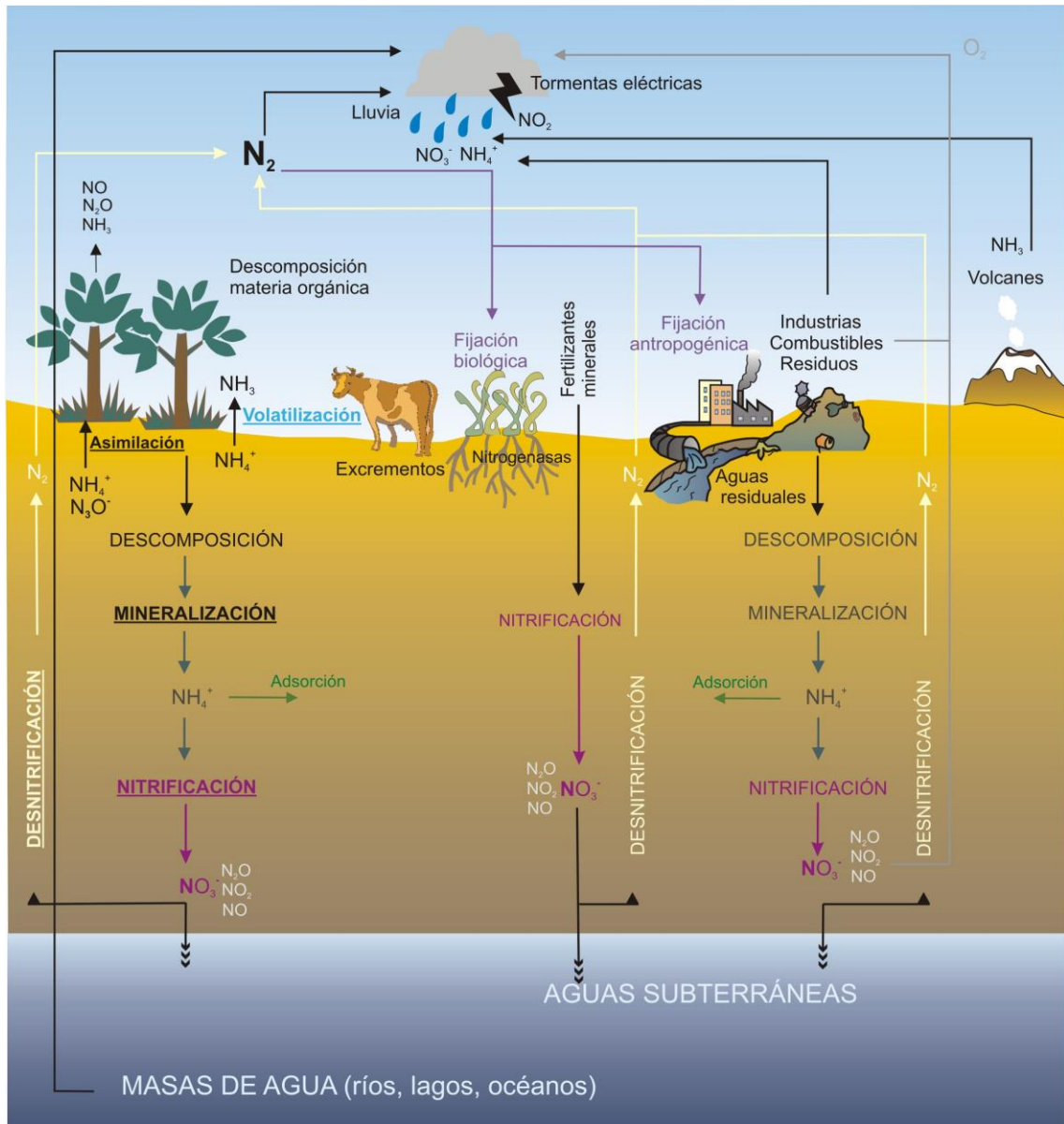


Figura 6. Ciclo del nitrógeno. (www.miliarium.com)

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 (Sierra y Gómez, 2007), introducen alteraciones en el ciclo natural que desencadenan una serie de procesos nocivos para el medio ambiente, como la eutrofización, la acidificación o la contaminación de los recursos hídricos (Martínez, 2009). En la actualidad, entre todas las actividades de origen antrópico, la aplicación de fertilizantes agrícolas constituye la mayor alteración del ciclo del nitrógeno a escala global (Townsend *et al*, 2003).



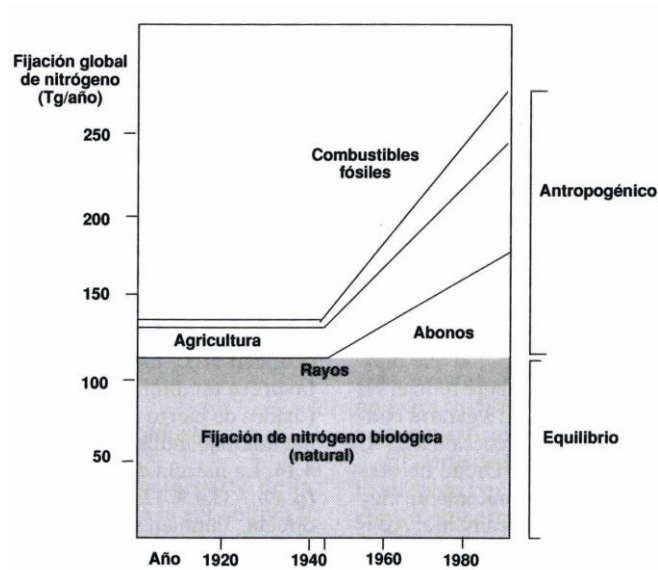


Figura 7. Impacto antropogénico en el ciclo del nitrógeno (Sierra y Gómez, 2007).

La incorporación de compuestos de nitrógeno al flujo subterráneo está condicionada por una serie de variables como son las superficie del terreno, la naturaleza o el espesor de la capa suprayacente no saturada, la climatología, etc. (Martínez, 2009).

### 3.3.2. Uso del Nitrógeno en el entorno agrícola

El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de los seres vivos, forma parte de los aminoácidos que a su vez forman las proteínas (Betrán, 2006).

El proceso de intensificación de las prácticas agrarias, como consecuencia de la necesidad de obtener mayores rendimientos en los cultivos, se ha basado fundamentalmente, en el riego y en el manejo de una fuente de nutrientes adicionales que los suelos no poseen (Galloway *et al*, 2004) donde el sector de los fertilizantes nitrogenados desempeña un papel absolutamente imprescindible (Hammond y Mathews, 1999). El aporte de nutrientes al suelo para obtener una repercusión productiva, y concretamente la adición de nitrógeno, es una práctica agrícola muy antigua (Betrán, 2006).

La necesidad de incrementar las producciones de alimentos, debido al crecimiento progresivo de la población mundial, justifica la utilización de fertilizantes, no obstante, los aportes incontrolados y el desconocimiento de los efectos nocivos que generan deben ser atajados

mediante nuevas prácticas agrarias con las que se consiga la máxima eficacia y control de los fertilizantes (Martínez, 2009).

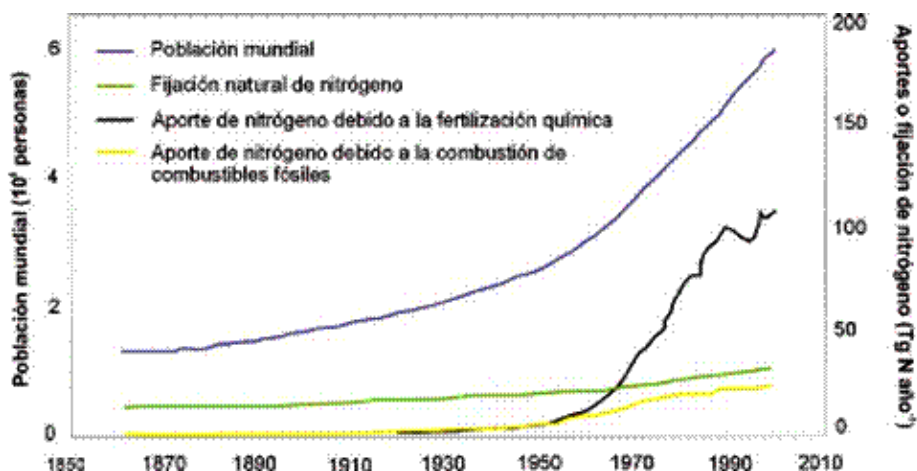


Figura 8. Tendencias en los aportes de nitrógeno por fertilización química y fijación de nitrógeno con relación al crecimiento de la población mundial desde 1860. (Martínez, 2009)

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 1ª Guerra Mundial, el descubrimiento de la síntesis artificial del amoníaco, 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 de amonio.

El máximo crecimiento del consumo anual de fertilizantes corresponde al periodo 1950-1975, en Europa occidental (Fernández, 2007). Posteriormente, se ha mantenido e incluso ha descendido como consecuencia de la mejora en las técnicas agrícolas y del uso más eficiente de los estiércoles y los restos orgánicos (Isherwood, 2005).

Actualmente, la tendencia es que el consumo de fertilizantes descienda, puesto que la agricultura evoluciona hacia el concepto de “bajos insumos y agricultura sostenible” (Ryuichi, 2005). Esta evolución es necesaria en todos los factores de producción pero en los fertilizantes particularmente (Betrán, 2006).

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 (Betrán, 2006). 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. 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 (Martínez, 2009); las formas amoniacales presentan una menor movilidad. A nivel mundial la urea es hoy el fertilizante nitrogenado más utilizado (Betrán, 2006).

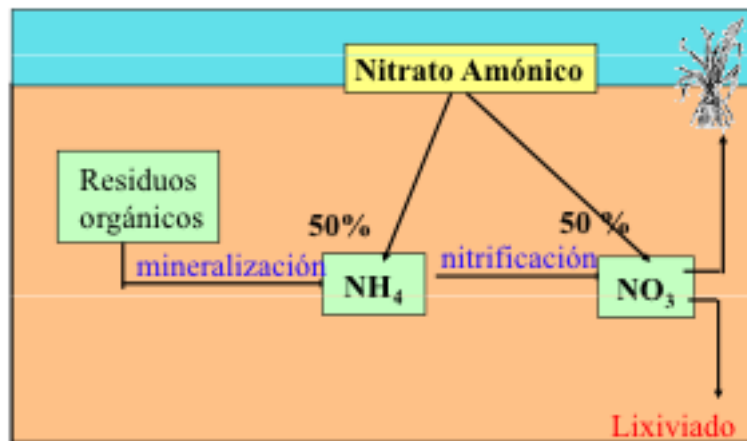


Figura 9. Distribución en el suelo del fertilizante Nitrógeno Amónico. (Irañeta, 2011).

En los cereales de invierno, las formas nitrogenadas más utilizadas acualmente son: Urea, Nitrato Amónico Cálcico, Abonos de liberación lenta,... (Irañeta, 2011).

El estudio del tipo de cultivo, de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, el estudio de los factores abióticos del entorno del cultivo (clima, geología, hidrología,...), la determinación del momento adecuado de la fertilización así como la elección del tipo y la cantidad de fertilizante parecen ser esenciales para disminuir el aporte en exceso de nitrógeno, que es lixiviado y que constituye el proceso fundamental de la contaminación de los recursos hídricos subterráneos.

### 3.3.3. *El problema de los nitratos y las aguas subterráneas*

En 1971 la publicación “Land Degradation” de la FAO aludía a la contaminación de las aguas por nitratos de origen agrario, si bien en aquella época no parece que se evaluase como una cuestión relevante (Porta *et al*, 1999).

Sin embargo, actualmente se considera la calidad del agua subterránea fundamental para el aprovechamiento de las mismas así como para el mantenimiento de los ecosistemas; el problema de contaminación por nitratos de las aguas y, en concreto, de las aguas subterráneas es un problema a nivel mundial que se ha agravado en los últimos siglos.

La contaminación del agua subterránea es la alteración de su calidad natural que inhabilita parcial o totalmente el recurso para el uso al que se destina (Fernández, 2007).

Las fuentes de nitrógeno de las que se deriva la concentración excesiva en el agua subterránea pueden ser puntuales o difusas. Las primeras están asociadas a actividades industriales y urbanas.

En la literatura científica, se considera de forma general que las prácticas agropecuarias son las principales responsables de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas (Fernández Ruiz *et al*, 2005). Esta corriente de opinión se sustenta en los numerosos estudios, en diversas zonas del planeta, donde la existencia de concentraciones excesivas de nitratos en el agua (superficial y subterránea) se relaciona directamente con el uso del suelo para desarrollo agrícola, el uso de fertilizantes y los cambios en los sistemas ganaderos.

En 2005 Fushiwaki y Magara realizaron un análisis de la relación existente entre diversos factores sociales, climáticos, agrícolas y ganaderos frente a la contaminación por nitratos siendo el uso de fertilizantes nitrogenados el único de los condicionantes que resultó estar directamente relacionado con los valores de contaminación.

Las prácticas agrarias principalmente abonado inorgánico, uso de residuos ganaderos y riego, se consideran las fuentes difusas esenciales de modificación de los valores de calidad óptima de las aguas. Localmente hay que considerar las fuentes puntuales de aportes de nitratos que en ocasiones pueden alterar, de forma significativa, masas de aguas en un momento dado.

Otro de los factores, que junto con las prácticas agrarias va a contribuir de forma significativa a la incorporación de nitratos al flujo subterráneo, es el hidrogeológico. La litología, permeabilidad y espesor de la zona no saturada del acuífero, va a condicionar las reacciones que se producen en el tránsito del ion nitrato desde la zona radicular de los cultivos hasta el nivel de agua y por tanto la cantidad de nitrato que se incorpore al flujo subterráneo. (Fernández, 2002).

Debido a sus propiedades físicas, los nitratos no pueden olerse ni sentirse, su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas normalmente es detectada cuando se manifiesta un problema de salud (Pacheco *et al*, 2003).

La contaminación por nitratos del agua subterránea es un problema ambiental muy importante a nivel mundial, tanto en la mayor parte de los países desarrollados, que pese a tener medios no acaban por subsanar esta cuestión, como en países en desarrollo donde satisfacer las necesidades básicas es por el momento prioritario.

Según varios estudios realizados en la India y en África, del 20-50% de los pozos contienen niveles de nitrato superiores a 50 mg/L y, en algunos casos, de hasta varios centenares de miligramos por litro (Convey y Pretty, 1988).

Desde la EPA (United States Environmental Protection Agency) también se señala la agricultura como la causa principal de contaminación de las aguas subterráneas en los Estados Unidos, en 1994 un estudio de la Agencia alertaba de contaminación en la mayor parte de los Estados. Al igual que en Europa numerosas agencias locales, estatales y federales así como investigadores universitarios investigan el impacto de los agroquímicos en el agua subterránea.

En Europa, la preocupación sobre este aspecto ambiental es compartido 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 último informe de la UE, correspondiente al periodo 2008-2011, acerca de la calidad de las aguas en relación con su contenido en nitratos, se indica que el 14,4% de las estaciones de aguas subterráneas alcanzaron el umbral máximo permitido de 50mg/L. Las concentraciones más bajas se localizan en Finlandia, Suecia, Letonia, Lituania e Irlanda, mientras que las concentraciones más altas se encuentran 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. Con la finalidad de controlar este problema ambiental se traspuso la Directiva europea al ordenamiento jurídico español en 1996.

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.

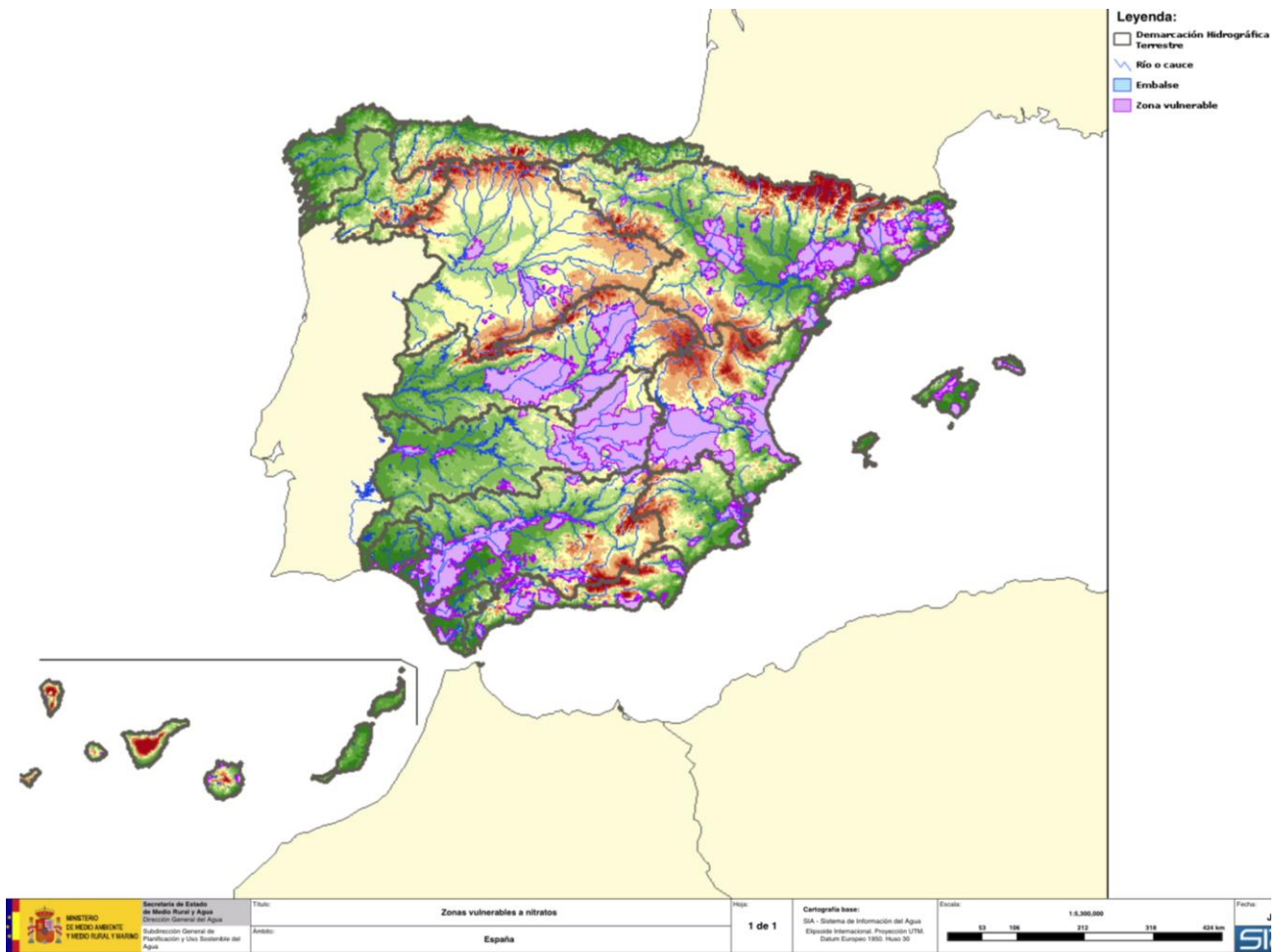


Figura 10. Zonas vulnerable a nitratos de España. Sistema integrado de información del Agua. Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y Marino. Junio2014.

Son muchas las organizaciones que tanto desde el ámbito privado como público contribuyen al estudio de esta preocupante cuestión ambiental.

La Red de Nitratos agrupa a instituciones que trabajan en proyectos o tienen competencias en la temática de nitratos. El objetivo de la red es compartir las directrices de trabajo del proyecto, poner en común toda la información y los resultados que se generen, y evaluar su eficacia. Algunas de estas entidades son la CHE, varias Direcciones Generales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España; IGME, CSIC-RUENA, así como diferentes departamentos de los Gobiernos de varias Comunidades Autónomas. Destacar en Aragón la labor de la comunidad universitaria así como del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón y Estación Experimental de Aula Dei – Zaragoza – CSIC.

En la Cuenca del Ebro, en el último informe de la CHE sobre la determinación de las aguas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario (2008-2011) 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.

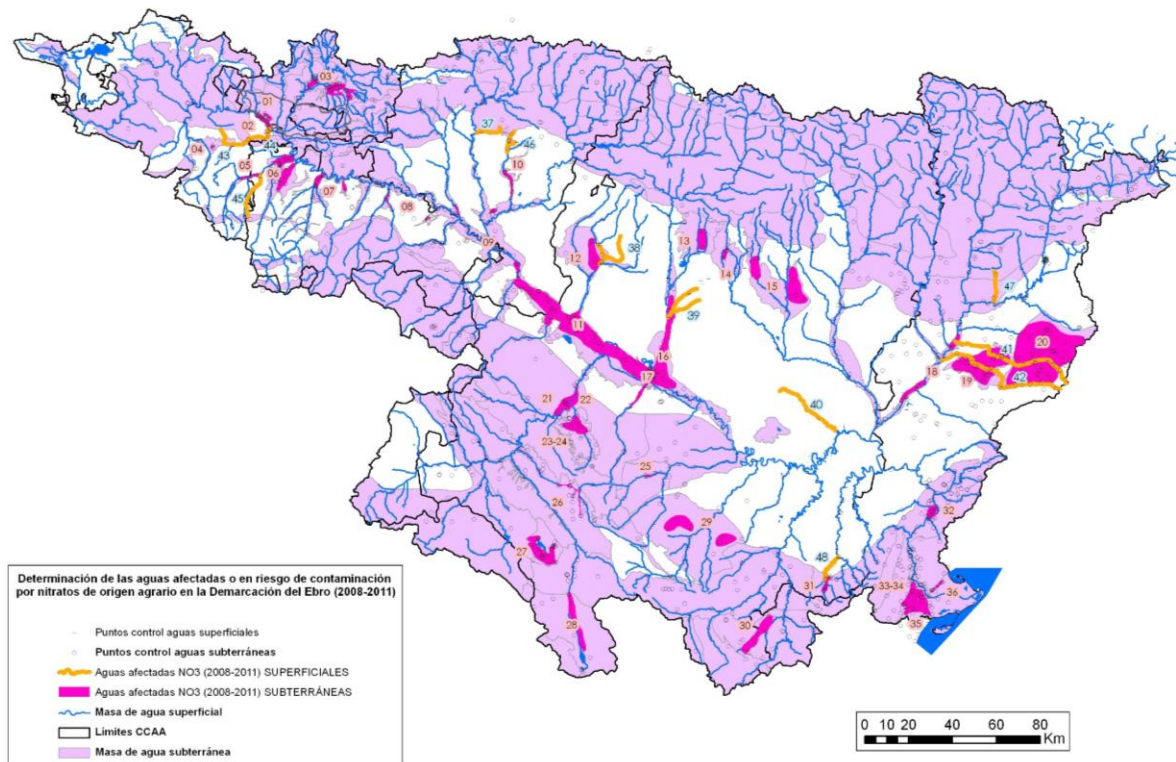


Figura 11. Determinación de las masas de aguas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario en la Demarcación del Ebro. (CHE, 2012).



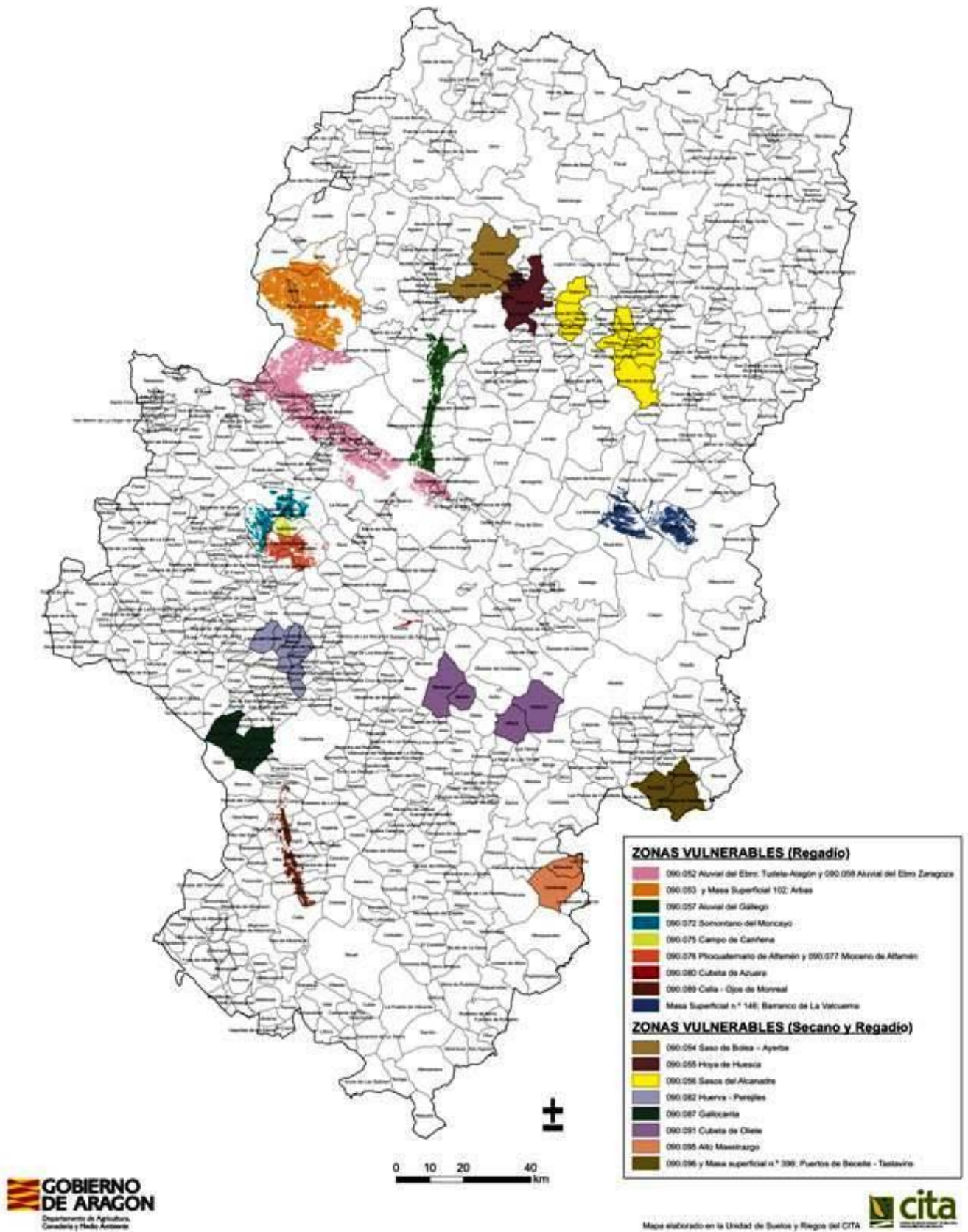


Figura 12. Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos agrarios en Aragón. CITA. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. 2013.



En Aragón se han 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.

La zona de Aragón, en la que se ubica el presente estudio, basa su economía, en buena medida, en actividades agropecuarias que potencialmente contaminan por nitratos las aguas subterráneas; la investigación y la búsqueda de posibles soluciones que minimicen el impacto sobre los acuíferos es interesante tanto en el aspecto ambiental como desde el punto de vista socioeconómico.

### **3.4. Riesgos sanitarios del exceso de nitrato**

La contaminación de agua por nitratos es un problema de salud pública por ello se convierte en una de las principales preocupaciones ambientales en nuestro tiempo.

El ion nitrato está presente de forma natural como componente de muchos alimentos en concentraciones muy bajas. 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.

El principal peligro de los nitritos es que propician el desarrollo de la metahemoglobinemia, patología que se define como un exceso de metahemoglobina en la sangre de bebés lactantes, se trata de una hemoglobina anómala que al no transportar oxígeno provoca un color azulado en la piel y las mucosas del bebé. 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 bebés 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 90mg/L, algunos estudios cuestionan la relación de una alta concentración en nitratos con la metahemoglobinemia (L'Hirondel y L'Hirondel, 1996; Avery, 1999; Fewtrell, 2004). 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), (Manahan, 1992; Knobeloch *et al*, 2000; Wolfe & Patz, 2002; Fewtrell, 2004; Grosse *et al*, 2006). 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.

Como ya se ha comentado anteriormente, el exceso de nitrato en las aguas causa problemas de eutrofización (crecimiento anormal de algas y plantas acuáticas) que también tienen efectos nocivos sobre la salud como es la ingestión de toxinas algales (generalmente algas cianofíceas) que causan intoxicación del organismo produciendo náuseas, vómitos, diarrea, neumonía,... pudiendo causar, en casos severos, la muerte.

Otra consecuencia de la eutrofización es que se favorece el desarrollo de organismos transmisores o causantes de enfermedades infecciosas. Varios estudios han mostrado una relación directa entre la concentración de nutrientes en las aguas superficiales y la abundancia de mosquitos que son vectores potenciales de agentes patógenos productores de enfermedades como la malaria o el cólera (Townsend *et al*, 2003).

### 3.5. 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 a 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.

#### 3.5.1. 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 escurrimiento 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.

### 3.5.2. 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.*

### 3.5.3. 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, Igríes, 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 periodos 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 cumplimenta 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, Lupiñen-Ortilla (excluyendo las parcelas pertenecientes al polígono 11), Novales, Ortilla, Peralta de Alcofea, Pertusa, Plasencia del Monte, Ponzano, Pueyo de Fañanás, Quinzano, Siétamo y Torres 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.

## 4. Zona de estudio

### 4.1. Situación geográfica y usos del territorio

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.

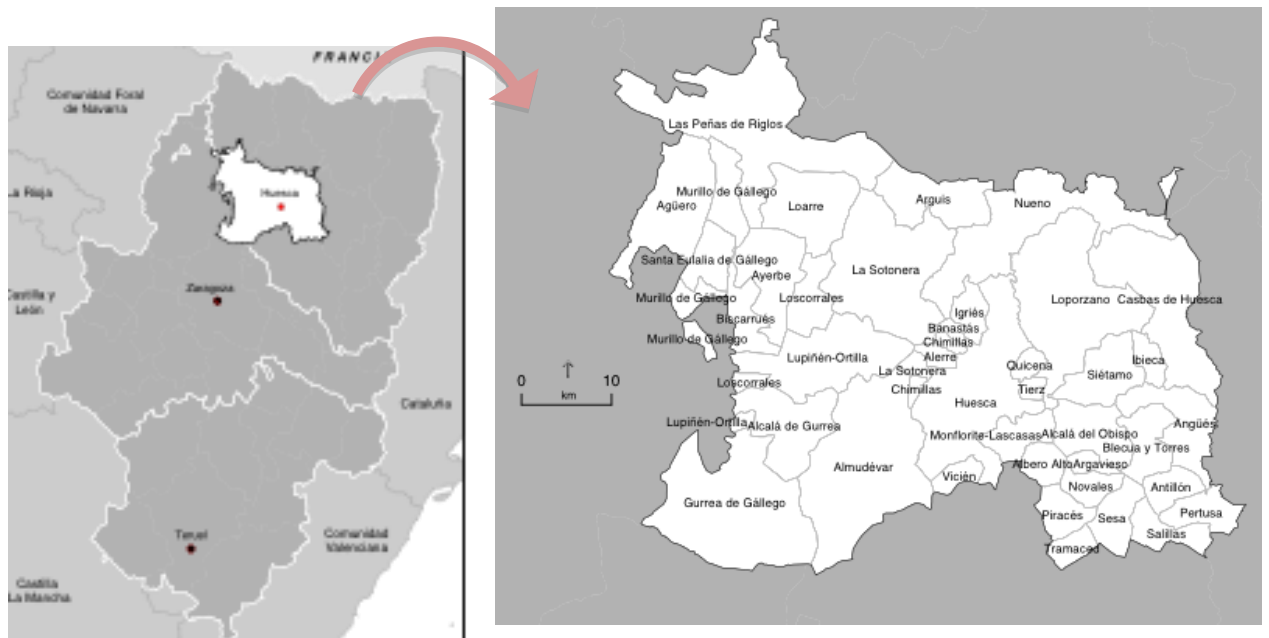


Figura 13. Situación y municipios de la comarca de la Hoya de Huesca. (Gobierno de Aragón, 2004)

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 (Sánchez, 1988).

El área de piedemonte oscense estudiada está comprendida entre los ríos Gállego y Flumen; las sierras exteriores pirenaicas (S<sup>a</sup> de Loarre, S<sup>a</sup> Caballera, S<sup>a</sup> Gratal y S<sup>a</sup> del Águila) constituyen el límite norte y meridionalmente queda limitada por una línea aproximada desde Alcalá de Gurrea, pasando por Almudébar hasta Monflorite (ver Anexo II: Plano de situación).



Figura 14. Zona de estudio, base IBERPIX (instituto Geográfico Nacional).

La Comarca de la Hoya de Huesca tiene una población total de 66793 habitantes y tiene una superficie de 2525,60 km<sup>2</sup>, 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. (Castelló , 2004).

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 agrícola y ganadero está en continua evolución en la comarca debido tanto a la existencia de la EPSH que aporta jóvenes técnicos

cuales, que hacen que el sector este inmerso en una mejora continua, como a las ayudas de las administraciones.

El sector secundario está representado principalmente por la industria del metal. 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. De este modo las actividades agropecuarias son fundamentales para el desarrollo de los núcleos con menor población.

En los últimos años el turismo ha experimentado un crecimiento notable basado en los deportes de aventura y en el abundante patrimonio monumental, la "industria" turística se consolida como una alternativa a las actividades económicas tradicionales de la comarca.

## Usos del suelo Comarca Hoya de Huesca

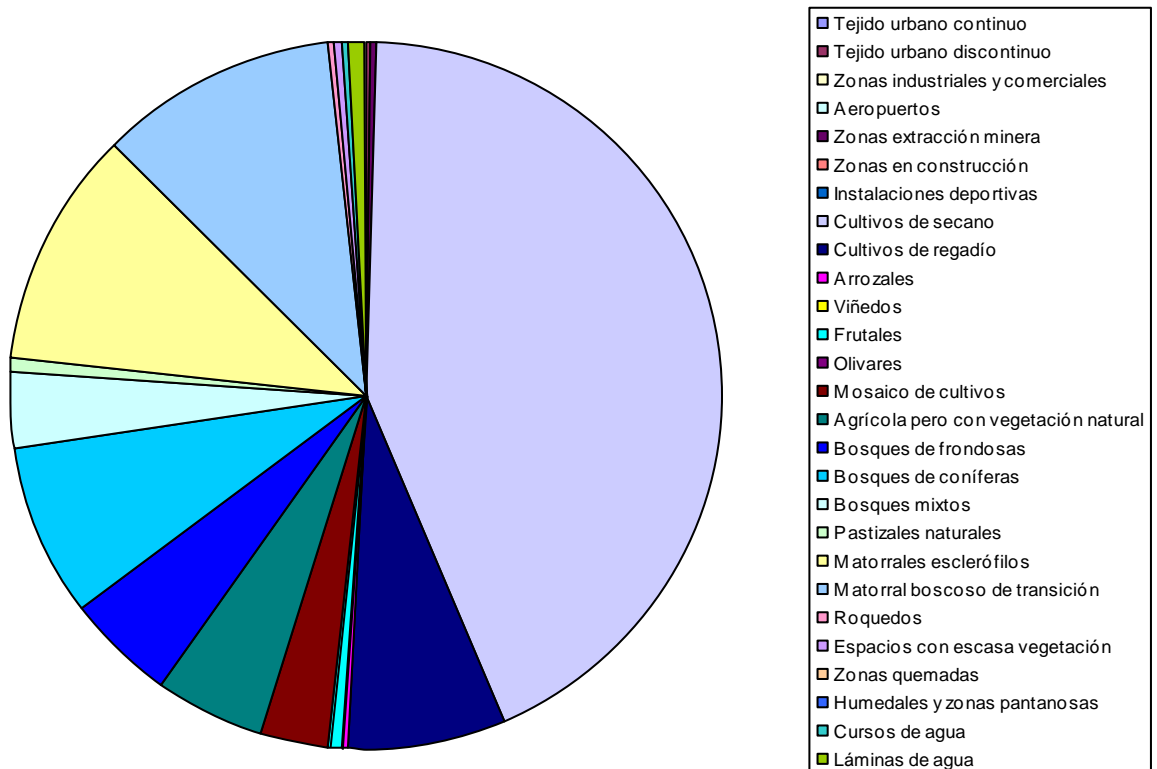


Figura 15. Gráfico Usos del suelo en la Comarca de Huesca (Elaboración propia a partir de datos IAEST,2006.)

## Usos del suelo

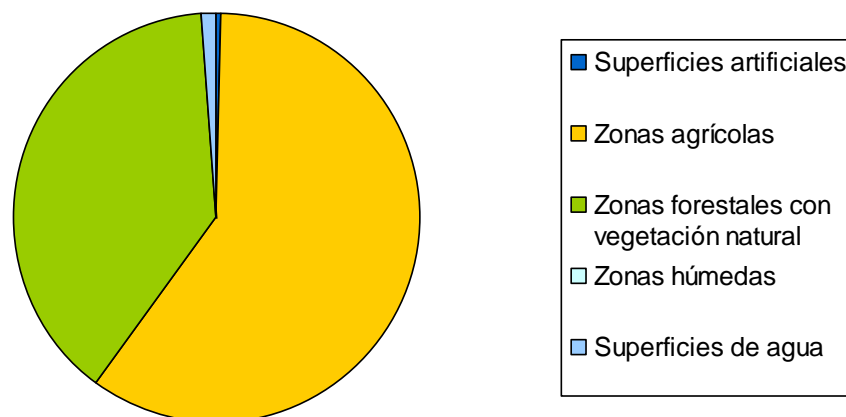


Figura 16. Gráfico Usos del suelo en la Hoya de Huesca  
(Elaboración propia a partir de datos del Instituto Geográfico Nacional. Corine Land Cover 2006).

Los dos gráficos anteriores (figuras 15 Y 16) indican la importancia de la agricultura, 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.



Figura 17. Campo de cereal frente a la Escuela Politécnica Superior de Huesca.

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 muy puntuales como en áreas cercanas al núcleo urbano de Lierta donde predomina el almendro.





Figura 18. Campo de almendros en las cercanías de Lierta ([www.pirineos3000.com](http://www.pirineos3000.com))

## 4.2. Climatología

El estudio de los valores de temperatura, precipitación y evapotranspiración son imprescindibles para el conocimiento de la hidrología del área de trabajo. Las precipitaciones y la evapotranspiración, condicionada esta última, por la temperatura, determinan el volumen de agua máxima disponible. La evapotranspiración es el proceso de transferencia más importante de agua de la superficie de la tierra (suelo, vegetación y cuerpos de agua) a la atmósfera, por lo tanto, su estimación es esencial para el balance hídrico de las cuencas.

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 (Cuchí, 2006).

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 un viento fuerte, fresco y seco denominado Cierzo que se origina en el valle del Ebro debido a la diferencia de presión entre el mar Cantábrico y el mar Mediterráneo.

#### 4.2.1. 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.

En la comarca de la Hoya de Huesca en las estaciones meteorológicas del entorno del área de estudio, los valores de temperaturas medias anuales y mensuales son muy similares, en las zonas con mayor altitud como Riglos o Loarre las temperaturas son menores que en las zonas más meridionales como Almudébar o la Sotonera.

**Tabla 1.** Temperatura media mensual/anual (°C) en estaciones de la Hoya de Huesca durante el periodo 1961-1991.  
Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (IAEST), según datos de "Valores normales de precipitación y temperatura de la red climatológica (1961-1990). Serie monografías. Año 2000" (Instituto Nacional de Meteorología).

Municipio Estación	Media anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Almudébar Granja CHE	12,9	4,6	6,3	8,6	11,2	14,9	19,3	22,5	21,9	18,9	13,8	8,4	5,1
Huesca Apiés	13,3	4,1	5,9	8,6	11,4	15,6	19,9	24,0	23,4	19,8	14,2	8,1	4,7
Loarre Loarre	12,4	5,1	5,7	7,8	10,0	13,5	17,8	21,8	21,5	18,2	13,5	8,5	5,7
Murillo de G <sup>o</sup> Murillo de G <sup>o</sup>	13,8	5,6	7,3	9,2	11,8	15,6	19,8	23,8	22,8	19,8	14,3	9,2	5,9
Nueno Nueno	13,0	5,4	6,4	8,2	10,2	14,3	18,7	22,9	22,2	19,1	14,2	8,8	5,9
Peñas de Riglos La Peña Embalse	11,8	3,7	5,1	7,3	9,9	13,6	17,7	21,2	20,1	17,6	12,6	7,3	4,1
La Sotonera Sotonera Embalse	13,2	4,5	6,1	8,7	11,3	15,3	19,8	23,2	22,6	19,3	14,2	8,4	4,9

En la Estación meteorológica de Huesca Aeropuerto (Monflorite), tabla 2, se han registrado las siguientes temperaturas medias mensuales a lo largo de los últimos años, no se observándose grandes variaciones.

**Tabla 2.** Temperatura media mensual/anual (°C) en Estación meteorológica Huesca Aeropuerto. Fuente: AEMET  
\* Temperatura media mensual/anual (°C) 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
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

#### 4.2.2. Precipitaciones

La pluviometría en el Alto Aragón sigue un modelo estacional, se dan dos periodos 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 precipitación anual oscila de más de 1500mm en el norte y los 400mm de la parte más al sur.

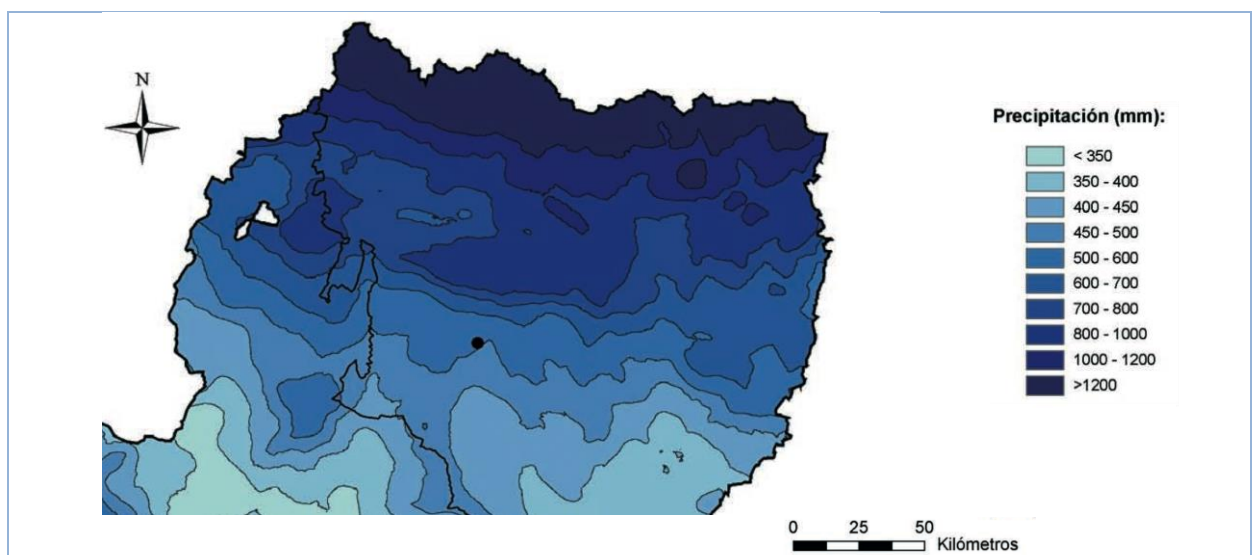


Figura 19. Distribución espacial de las precipitaciones anuales en el Alto Aragón.  
Fuente: Atlas Climático de Aragón.



La comarca de la Hoya de Huesca, en cuanto a pluviometría, también es una zona de transición entre las sierras prepirenaicas que reciben abundantes precipitaciones y la árida depresión del Ebro. El efecto de los frentes de borrascas atlánticas se ve afectado por las características del Pirineo, de modo que la mayor parte de las precipitaciones se quedan en su cara norte, debido al enfriamiento de las masas de aire húmedo al ascender para cruzar la cordillera. En la cara sur, en el descenso se produce un calentamiento adiabático, en un efecto tipo Foëhn. Este es responsable de la desaparición de las nubes que asoman por la cumbre de las sierras con viento norte así como de la sombra de lluvia causante de la aridez monegrina (Cuchí, 2006).

En los meses estivales, la mayor parte de la precipitación es en forma de tormentas mientras que en invierno las lluvias son suaves relacionadas con frentes y chubascos repartidos en el tiempo.

**Tabla 3.** Valores de precipitación normal (en mm) mensual y anual en estaciones de la Hoya de Huesca 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
Alcalá de Gurrea S. Pedro	457,4	26,1	28,9	26,8	51,4	51,6	35,3	18,6	24,7	46,4	58,8	49,4	39,4
Almudébar Granja CHE	443,0	27,2	25,2	25,6	47,3	52,2	40,4	22,5	21,3	45,4	52,4	45,6	37,8
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
Loarre Linas de Marcuello	682,6	41,2	34,8	39,5	79,4	73,3	54,1	31,9	46,0	61,0	89,5	72,2	59,8
Loarre Loarre	715,7	46,8	37,5	45,1	83,7	71,3	52,4	35,4	44,0	65,3	90,8	76,1	67,4
Loporzano San Julián de Balzo	592,1	36,2	32,9	36,6	67,9	64,5	49,1	28,2	35,1	61,7	68,4	58,3	53,2
Los Corrales Los Corrales Artasona	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
Lupiñen-Ortilla Lupiñen 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
Murillo de Gº Murillo de Gº	640,3	40,4	34,6	38,0	72,9	66,7	45,0	27,8	34,1	59,2	83,8	72,0	65,6
Nueno Nueno	660,2	41,6	34,7	39,0	74,7	68,8	57,5	36,7	37,8	62,5	76,7	71,4	58,8
Peñas de Riglos La Peña Embalse	685,6	42,3	38,9	40,1	78,3	70,7	45,4	30,8	42,8	63,7	91,4	73,6	67,8
La Sotonera Sotonera Embalse	454,8	27,7	26,1	25,5	51,2	51,4	35,9	19,4	26,5	46,3	59,6	48,1	37,2

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 4.** 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
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

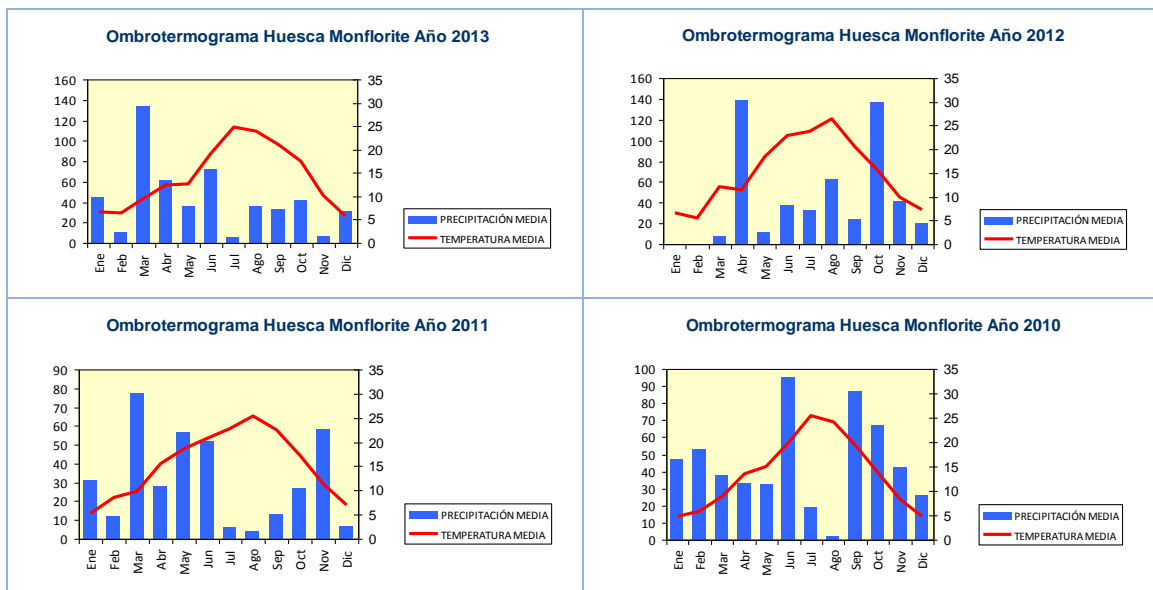


Figura 20. Ombrotermogramas realizados a partir de los valores registrados en el observatorio de Huesca/Monflorite. (Elaboración propia a partir de datos climáticos IAEST.)

Los años 2012 y 2013, los más relevantes de cara a este estudio, fueron muy similar a los anteriores con máximos pluviométricos en primavera y mínimos en julio. Las temperaturas fueron máximas entorno a 30°C, en el mes de julio y mínimas en febrero. Los ombrotermogramas son propios de un clima mediterráneo continental.

#### 4.2.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial anual en la zona, según Sánchez Navarro en 1988, por el método Thornthwaite correspondientes a los observatorios de la comarca es de 792mm en Almodébar, 773mm en Loarre y 809mm en Huesca (Monflorite).

A partir de los datos de las estaciones agroclimáticas se puede calcular la evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) por el método de FAO Blaney-Criddle. Para la estación de Huesca, en el año 2013, se obtuvieron los datos mensuales indicados en la tabla 5.

**Tabla 5.** Valores de evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) mensuales calculadas a partir de los datos del observatorio de Huesca en el año 2013. Fuente: Oficina del Regante. Gobierno de Aragón.

Año	Valor calculado	Media anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	ET <sub>0</sub> (mm)	80,43	24,0	39,6	61,1	85,0	110,3	138,7	168,3	142,5	95,0	55,2	31,5	13,9

### 4.3. Geología

La zona de estudio se sitúa, en el margen septentrional norte de la Cuenca del Ebro. Colindante a las sierras prepirenaicas, es una zona de transición también desde el punto de vista geológico. 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. A escala 1:200.000, la zona de trabajo se encuadra dentro de las hojas de Tudela y Huesca .

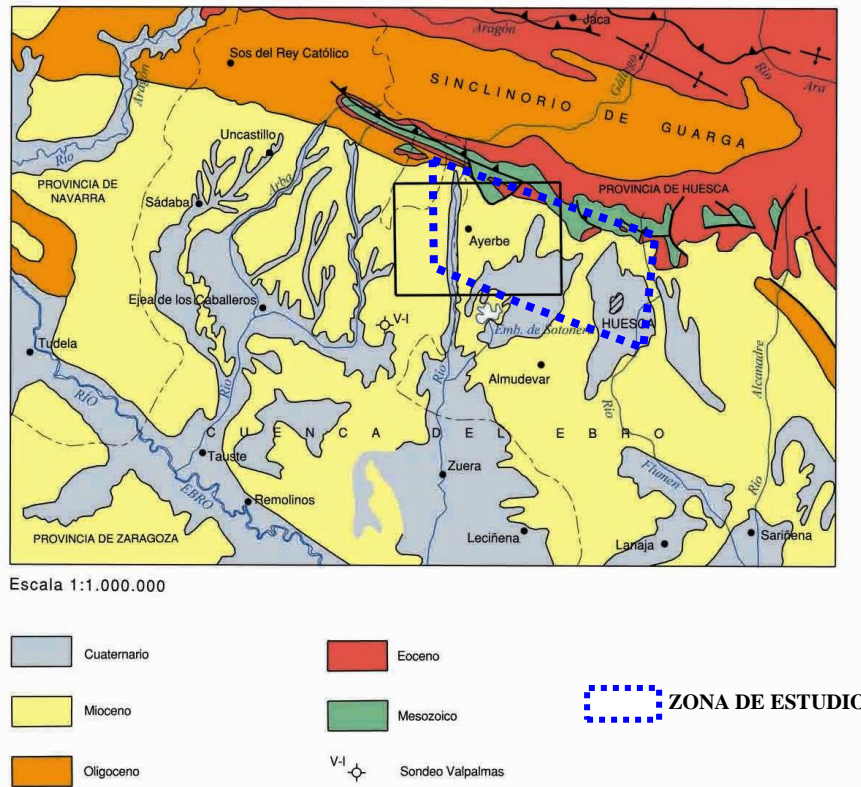
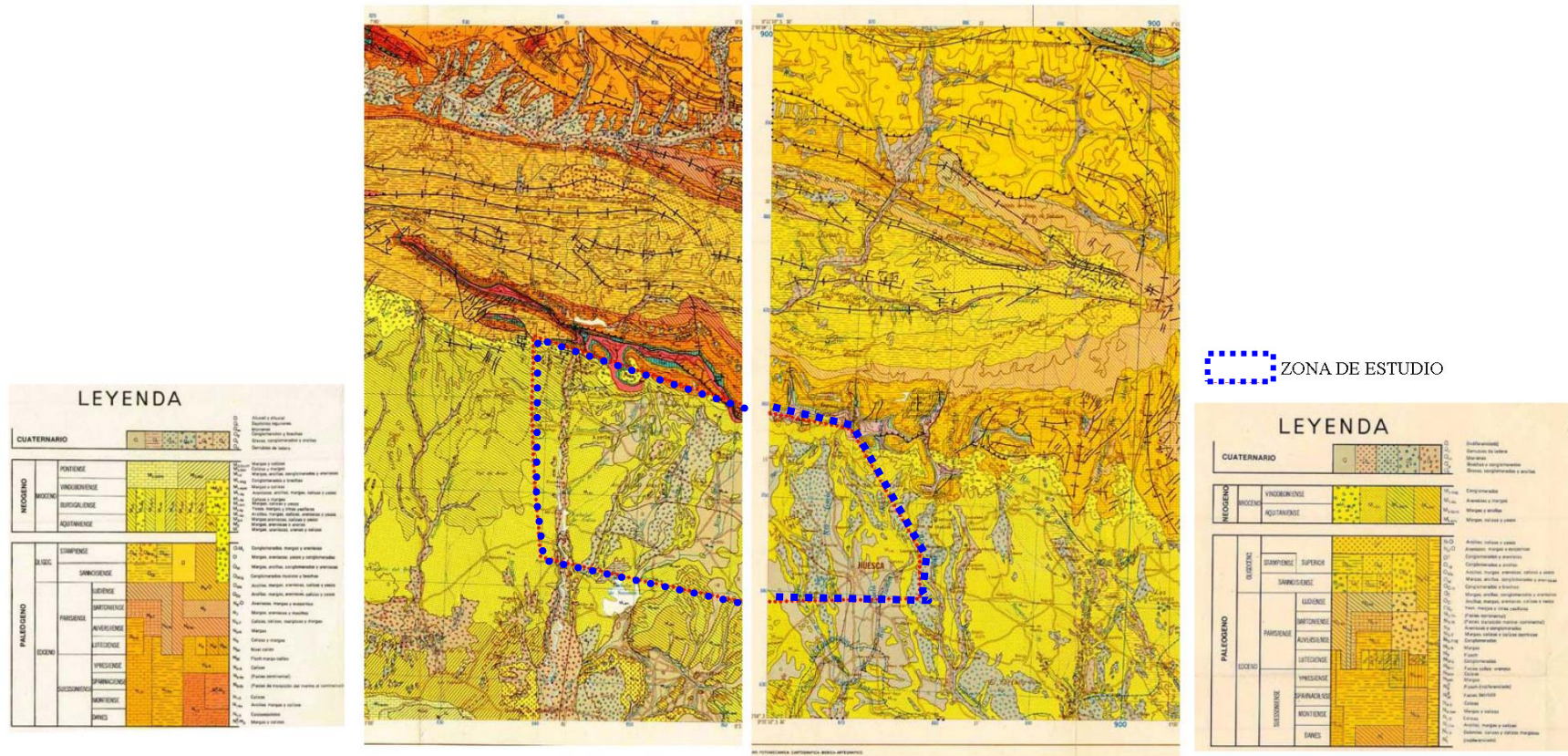


Figura 21. Esquema geológico regional del área de estudio. Hoja Ayerbe, 1:50000. IGME, 2009.

## MAPA GEOLÓGICO ZONA DE ESTUDIO



Hojas de Tudela y Huesca, escala 1:200.000. IGME (1971)

Figura 22. Esquema geológico del área de estudio. Hojas Tudela y Huesca, escala 1:200.000. IGME (1971)



#### 4.3.1. Historia Geológica

Hace unos 60 millones de años (principios del Eoceno) las placas ibérica y europea colisionaron y elevaron el Pirineo actual (orogenia alpina). Pliegues, mantos de corrimiento y cabalgamientos son testigos de la compresión originada. El Pirineo es un conjunto estructural complejo, reciente, desde un punto de vista de tiempo geológico, donde se diferencian básicamente tres subunidades de las cuales sólo las Sierras Exteriores son relevantes para este estudio.

En el mismo tiempo se formaron la Cordillera Ibérica y las Cadenas Costero Catalanas, creando entre las tres formaciones montañosas una depresión encajonada (actual Depresión del Ebro) que quedó aislada del mar durante el Oligoceno y primera mitad del Mioceno. Durante este periodo, en esta cuenca sedimentaria continental endorreica, se acumularon potentes espesores de sedimentos procedentes de la intensa erosión de las montañas. La meteorización de tipo fluvial, principalmente pirenaica, originó sedimentación con secuencias clásicas granodecrecientes de conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas.

Los mallos, estructuras monolíticas que destacan al borde las sierras, se originaron por esta fuerte erosión fluvial. Al disminuir las pendientes, en la parte baja de las sierras, la capacidad de transporte de las corrientes disminuye y se forman abanicos torrenciales (Sánchez, 1988). Cada avenida supuso la acumulación de nuevos sedimentos. La erosión diferencial desde el Mioceno modeló estas estructuras tan características de la comarca. En las zonas centrales más áridas de la depresión se produjo evaporación de agua dando lugar a importantes depósitos de evaporitas.

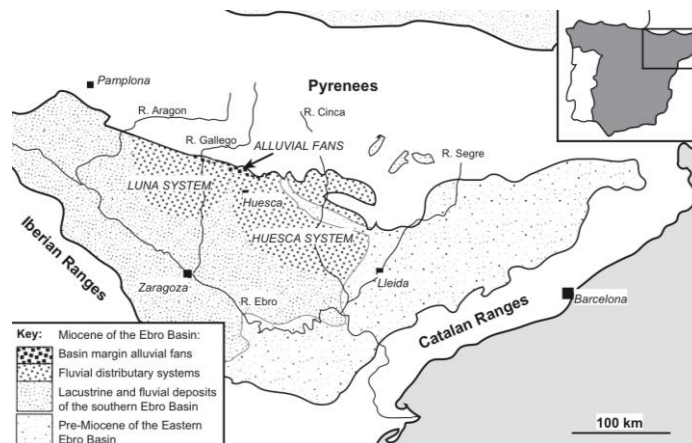


Figura 23. Cuenca del Ebro y sectores adyacentes. Sistemas fluviales de Luna y Huesca. (Nichols, G.J. 2004).

La formación a finales del Oligoceno hasta el Mioceno inferior de los abanicos fluviales de Huesca y Luna es importante para interpretar las litoestratigrafía y la geomorfología existente en la zona de estudio de este trabajo. Como fuente la zona axial pirenaica suministró materiales sedimentarios al sistema fluvial de Huesca, construyéndose un gran abanico fluvial de grandes dimensiones (60 km de radio aproximadamente) bajo las capas plegadas de las Sierras Exteriores. El sistema de Luna más pequeño y situado más hacia el oeste drenaba al igual que el sistema de Huesca un lago somero endorreico situado entre ambos más al sur (Nichols, 2004).

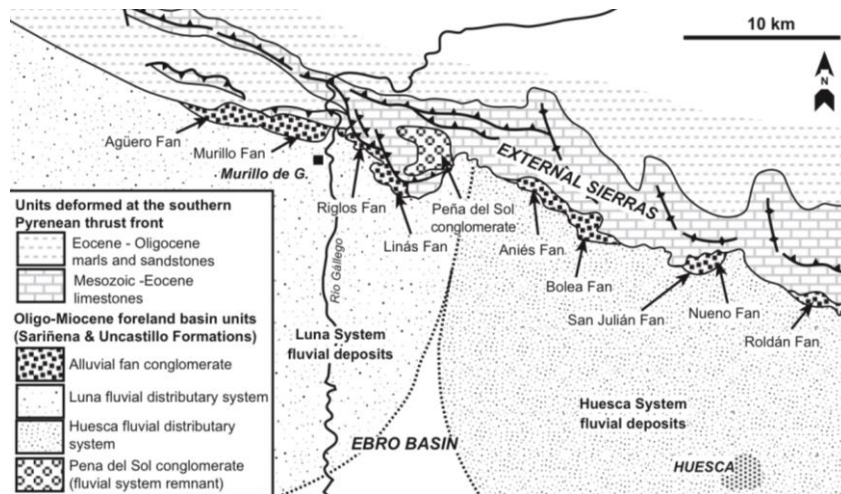


Figura 24. Pequeños abanicos aluviales en el margen de cuenca al pie de las Sierras Exteriores. (Nichols, G.J. 2004).

Durante el Mioceno medio, la cuenca se abrió al mar (actual Mediterráneo), desencadenando un importante proceso erosivo en sinergia con el ya existente. Estas etapas erosivas diferenciales dejaron una importante huella en el aspecto geomorfológico, muy característica del área de estudio, en forma de rampas suaves escalonadas que se elevan en el fondo plano y que se denominan localmente *sasos* (Sánchez, 1988). En las sierras prepirenaicas, el agua erosionó los materiales carbonatados construyendo sistemas de cavidades subterráneas.

Durante el Cuaternario (hace 1,8 millones de años) los periodos glaciares provocaron la formación de canchales en las sierras exteriores como resultado del enfriamiento del clima. Se encajó progresivamente la red fluvial; la sedimentología de los glaciares y las terrazas que recubrieron los materiales terciarios de los fondos de los valles permiten reconstruir la evolución de la red fluvial hasta la actualidad (Rodríguez, 1986). Los depósitos derivados de la dinámica fluvial así como los depósitos aluviales que recubren parte de los materiales del Terciario dan lugar al aspecto actual del territorio.

#### 4.3.2. 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 (Soler y Puigdefábregas, 1970) que es equivalente a la Formación Sariñena (Quirantes, 1969). 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).

Esta unidad se dispone en discordancia sobre las Sierras Exteriores, fosilizando sus estructuras y ocultando el frente de cabalgamiento de las mismas (Sánchez, 1988).

La 2ª edición del mapa geológico de España de escala 1:50.000 en la hoja de Ayerbe diferencia seis unidades cartográficas dentro de la Formación Uncastillo atendiendo a sus características litológicas. Las unidades 10 a 14 son las que afloran en el terreno estudiado y corresponden a la megasecuencia inferior de la unidad tectosedimentaria U3 de Arenas (1993), de edad Mioceno inferior. La correlación lateral de las litologías expresa la secuencia sedimentaria natural aguas debajo de un sistema aluvial.

En el área de trabajo afloran principalmente las unidades 12 y 13 formadas por areniscas en paleocanales con lutitas y lutitas versicolores con nódulos de yeso y capas delgadas de arenisca. La unidad 13 corresponde a la “zona lacustre” de Hirst y Nichols (1986), llanura aluvial lutítica que ocupa una posición marginal respecto a los abanicos fluviales de Luna y Huesca.

Las lutitas con paleocanales de arena (unidad 14) afloran en la zona de Bolea-Esquedas, las capas delgadas de areniscas se van haciendo cada vez más potentes hacia el sureste. Los sedimentos que dieron lugar a esta unidad pertenecen al Sistema aluvial de Huesca de Hirst 1983.

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 Pliocuatnarios que corresponden a los materiales depositados al pié 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 (Sánchez, 1988).

- 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 (Sánchez, 1988).

Otras litologías importantes de señalar aunque no afloran de forma estricta en el área que ocupó el muestreo de este trabajo son las que componen las Sierras Exteriores Pirenaicas. Su interés se debe a la procedencia de algunas de las aguas muestreadas.

- Los materiales Triásicos que afloran en las Sierras Prepirenaicas de la zona de estudio son las facies Keuper constituidas por margas y arcillas versicolores con niveles de yesos. Con carácter plástico constituyen la base de despegue de las estructuras suprayacentes, favoreciendo los deslizamientos. La otra facies triásica presente está compuesta por materiales carbonatados (Muschelkalk).

- La Formación Calizas de Guara constituye el armazón de las sierras exteriores. Son materiales del Eoceno (Terciario medio) compuestos por una potente serie caliza producen los mayores resaltes topográficos del territorio. En esta formación carbonatada los ríos han excavado imponentes cañones y galerías.

#### *4.3.3. 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 (Sánchez, 1988).

Las sierras exteriores constituyen la parte frontal emergente del frente de cabalgamiento surpirenaico y se encuentran desplazadas hacia el sur sobre los sedimentos de edad terciaria



de la cuenca de antepaís del Ebro (Vidal-Royo, 2010). En su mayor parte, estas sierras están formadas por una serie de láminas de cabalgamiento imbricadas, despegadas sobre las facies evaporíticas, calcáreas y dolomíticas del Triásico medio y superior (facies Muschelkalk y Keuper) (Soler y Puidefábregas, 1970; ITGE, 1992; Millán *et al*, 1994; Millán, 1996; Pueyo *et al*, 2002).

#### 4.3.4. 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.

En las sierras colindantes hay que destacar como geformas características, los mallos, los cañones y el modelado kárstico, además de los canchales periglaciales y los relieves estructurales (Cuchí, 2009).

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.



Figura 25. Vista panorámica de la zona de estudio desde Santa Eulalia de la Peña.

Los rasgos geomorfológicos más característicos del llano son:

- Relieves estructurales: son aquellos en las 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. Los cerros testigos resaltan en el llano, San Mitiel, San Miguel en Ayerbe o el cerro de Huesca son el resultado de la intensa erosión diferencial a la que ha sido expuesta esta zona.



Figura 26. Vista norte del Cerro testigo de San Mitiel. ([www.romanicoaragones.com](http://www.romanicoaragones.com)).

- 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 (Badía *et al*, 2009). Habitualmente, sobre los materiales terciarios se disponen gravas fluviales de procedencia local recubiertas de costras carbonatadas (mallacán), de potencias de hasta 10 metros, 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). Los glacis se escalonan en varios niveles (Rodríguez, 1986), los más altos son los más antiguos, siendo el del cerro de Huesca el más alto del somontano altoaragonés.

- Fondos de valle: son las zonas más bajas de fondo plano rellenas 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 (Badía *et al*, 2009). En las zonas más bajas de los cauces medios y bajos de los ríos es donde se desarrollan potencias mayores de estos depósitos fluviales.



Figura 27. Terraza fluvial cultivada. (Cuchí, 2004)

- 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 (Cuchí, 2009), en la zona de trabajo se distinguen al sur de Lupiñén.
- Formas antrópicas: en gran parte del área de estudio, el relieve ha sido modificado para el desarrollo de las actividades agrícolas, el arado del campo remueve las formaciones superficiales, también el pequeño embalse de las Navas, la presa de Ardisa y el canal hasta La Sotonera modifican el paisaje y los procesos fluviales.

## 4.4. Hidrogeología de la zona de estudio

### 4.4.1. Antecedentes

A pesar de su trascendencia, hasta 1970 los estudios hidrológicos son exigüos 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 (Cuchí, 2004).

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.

#### 4.4.2. 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.

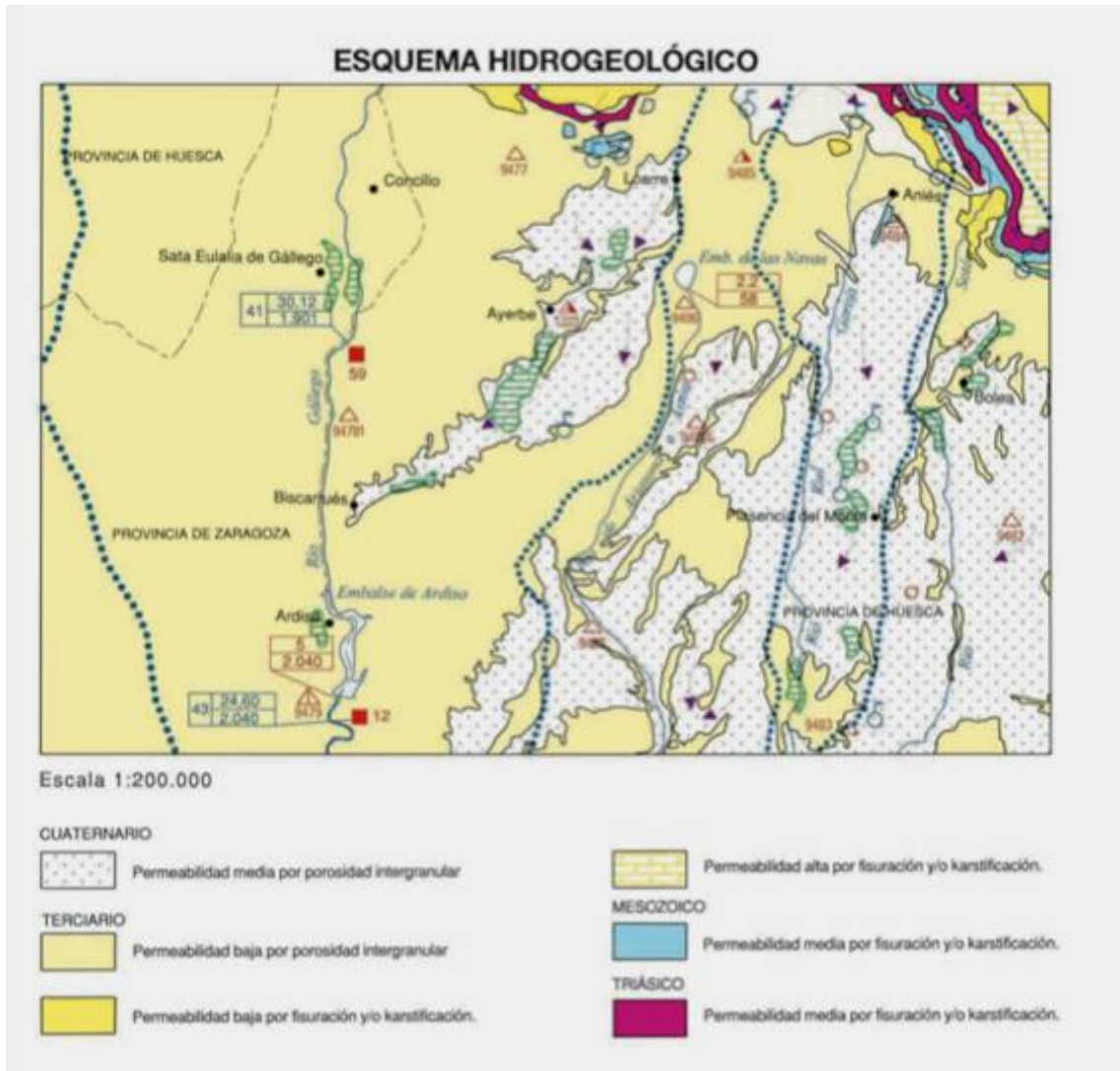


Figura 28. Esquema hidrogeológico regional de la zona de estudio. Ayerbe. 1:50000, IGME, 2009.

Como ya se ha descrito anteriormente, básicamente el territorio estudiado está conformado por materiales detríticos miocenos (terciarios), constituidos por una alternancia de limos y arcillas margosas con niveles de areniscas que en profundidad se encuentran sueltas. Se trata de materiales de elevada porosidad pero con baja permeabilidad. En los niveles de arenisca, en forma de paleocanales, originados en la formación de los abanicos aluviales hay almacenamiento y flujo de agua que queda impermeabilizada por los materiales lutíticos.



Los materiales cuaternarios, que recubren parcialmente los materiales terciarios, son materiales detríticos no consolidados. Desde el punto de vista 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 (Cuchí, 2004).

Históricamente las pequeñas poblaciones de la zona captaban el agua subterránea en fuentes naturales (fuentes del lugar), también en las localidades de mayor entidad como Ayerbe o la capital, Huesca, que hasta 1960 se abastecía de agua subterránea procedente del manantial kárstico de Fuenmayor en San Julián de Banzo (Oliván, 2013).

Las masas de aguas subterráneas, del Somontano de Huesca, albergadas en unidades muy diversas, que se recargan directamente de las precipitaciones, alimentan numerosos manantiales, sostienen los cursos superficiales durante el estiaje y abastecen a poblaciones, granjas y regadíos (Cuchí, 1998).

La génesis de áreas húmedas naturales se debe también a la existencia de flujos de agua subterránea, un ejemplo de ello son las *paules* nombre local para suelos hidromorfos (Sánchez, 1988), zonas de rezume que se identifican fácilmente por la presencia de freatofitas, o en los ibones (surgencias de agua) como los de Plasencia del Monte.

La gestión del agua subterránea ha quedado eclipsada por la gestión de los recursos hídricos superficiales, la regulación del agua de los ríos del somontano debida a sus caudales modestos ha sido determinante para su utilización.

Las obras de regulación de caudales más importantes son las correspondientes al embalse de Ardisa y al de Las Navas, con 5 y 2,3 hm<sup>3</sup> de capacidad respectivamente. Son utilizados para el regadío, en la Comarca de Monegros el primero, y en la cuenca del Sotón y Gállego Medio el segundo (Sanz et al, 2009). Otros sistemas de regulación de agua de origen árabe son las albercas que constituyen humedales esenciales para la existencia de numerosas aves acuáticas, como la alberca de Cortés, en Chimillas o la de Alboré en Lupiñén.

Las formaciones geológicas que albergan los acuíferos estudiados son:

- *Depósitos fluviales (Terrazas)*. Son formaciones de material no consolidado. Las gravas fluviales constituyen el ejemplo clásico de acuífero detrítico con materiales bien clasificados, buena porosidad intergranular y alta conductividad hidráulica. (Cuchí, 1994).

En estas unidades se forman acuíferos libres que se recargan fundamentalmente por precipitación directa y por las pérdidas de los cauces tanto naturales (ríos) como artificiales (riego). Existe una relación directa sobre la recarga de estos acuíferos y las avenidas del río que los sustenta, del mismo modo en periodos de estiaje la descarga del acuífero está causada por la cesión de agua al cauce fluvial. La captación de las aguas en estos acuíferos se ha realizado tradicionalmente mediante pozos y galerías de tipo manual ya que el nivel freático está a poca profundidad, son acuíferos someros también denominados freáticos (Cuchí, 2004).

Las aguas, de tipo bicarbonatado cálcico, de estos acuíferos son muy vulnerables de encontrarse contaminadas debido a las actividades agrícolas y urbanas que soportan y a la alta transmisividad vertical del material que los alberga (gravas).

- *Glacis*: Son formaciones de material no consolidado. Estos depósitos de origen fluvial están formados por gravas aluviales de origen cercano, mal clasificado con abundante matriz terrígena (Cuchí, 1994).

Los acuíferos que acogen estos materiales son pequeños y se recargan por precipitación superficial principalmente. En el somontano oscense son numerosos los acuíferos de este tipo. El método habitual de extracción del agua es mediante pozos realizados con maquinaria que llegan hasta el techo de la formación impermeable del mioceno. Al igual que sucede en el caso de las gravas fluviales, el agua de estos acuíferos es también muy susceptible de encontrarse contaminada debido a las actividades antrópicas.

En el entorno de la zona de estudio, en las sierras prepirenas, cabe destacar la existencia de acuíferos de tipo kárstico en las calizas de la Formación Guara.

#### 4.4.3. Unidades hidrogeológicas

Azcón y Garrido en 1994 diferenciaron 25 modestos acuíferos en el somontano altoaragonés detallando la hidrogeología subterránea de este territorio.

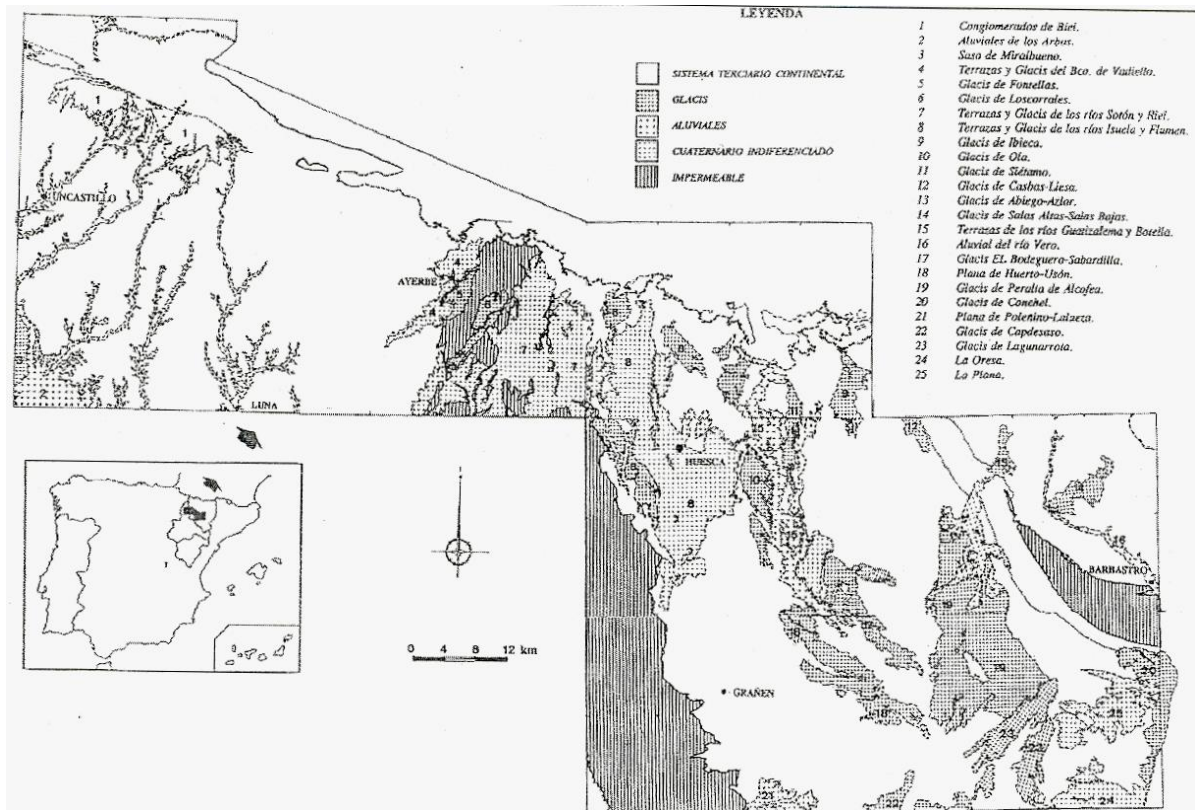


Figura 29 Unidades hidrogeológicas del Somontano según Garrido y Azcón (1994).

Dentro de la zona de influencia de este proyecto y en base a la caracterización de masas de agua subterránea que realiza Cuchí en 2004, se pueden diferenciar:

- Masa de agua subterránea de las terrazas del Gállego.

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.



Surgencias de estas masas de agua son por ejemplo Fuendoro, Fuente Andrea en Santolaria de G<sup>o</sup> o la Fuente de Biscarrués. Es significativo que en poblaciones como Santolaria de G<sup>o</sup> se utiliza este agua como abastecimiento debido a la contaminación de las aguas del río Gállego.

Además de estos acuíferos superiores, hay suficientes indicios para pensar que el agua fluye por fracturas subverticales entre los paleocanales de areniscas del terciario (Formación Sariñena) y otros más ocasionales donde las surgencias aparecen a nivel del río (Cuchí, 2004).

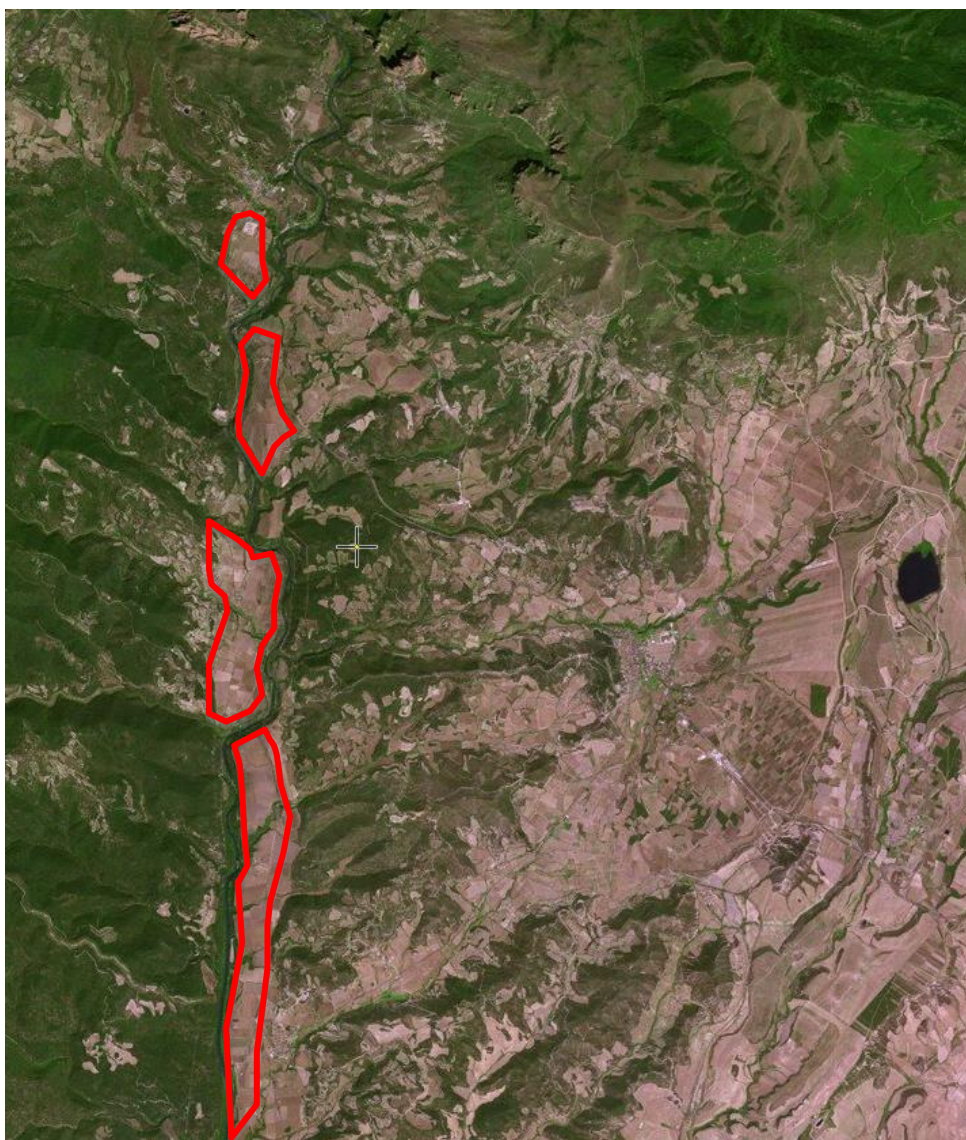


Figura 30. Localización de masas de agua pertenecientes a la unidad denominada Terrazas del Gállego. Base visor IBERPIX.





Figura 31. Vista de las terrazas del Gállego en cercanías de Fuendoro.

- Masa de agua subterránea de Ayerbe-Fontellas.

Zona de la depresión de Ayerbe, protegida por el cerro de San Miguel y el cerro Monzorrobal y queda limitada al este por el saso de Fontellas.

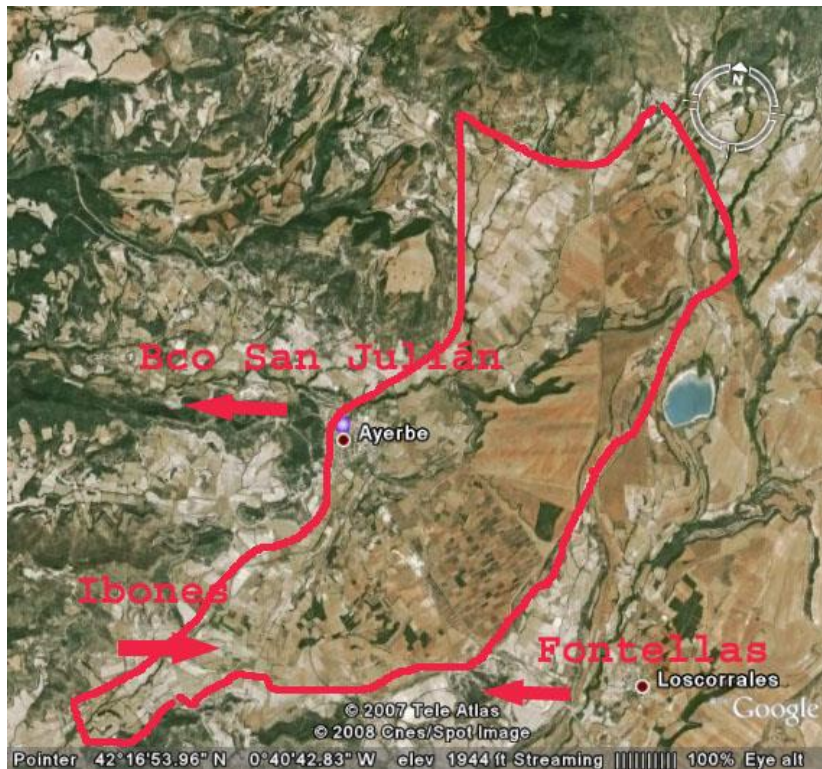


Figura 32. Masa de agua Ayerbe-Fontellas (Cuchí, 2004).

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 (Cuchí, 2004).



Figura 33. Contacto del Mioceno con el final del Glacis en las proximidades de Fontellas.

- 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). (Cuchí, 2004).
- Astón o Barranco de Artasona. Debido al intenso uso para el regadío es una zona compleja hidrológicamente.
- Cuenca del Riel. Desde Aniés albergados en un glacis hasta Lupiñén existen varios acuíferos pequeños, relacionados con este modesto río. Limitados al oeste por la base impermeable miocena del saso de OsCorrales, 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 Lupiñén. Se capta en pozos en el entorno de Plasencia del Monte y sobre todo en los pozos de los Viveros de la DGA (Cuchí, 2004).





Figura 34. Pozo en huertos de Lupiñén (Cuchí, 2004).

- 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 (Cuchí, 2004).

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 hm<sup>3</sup>, utilizada básicamente para el abastecimiento y riego de localidades como Loscorrales, Lierta y Esquedas (CHE, 2011).

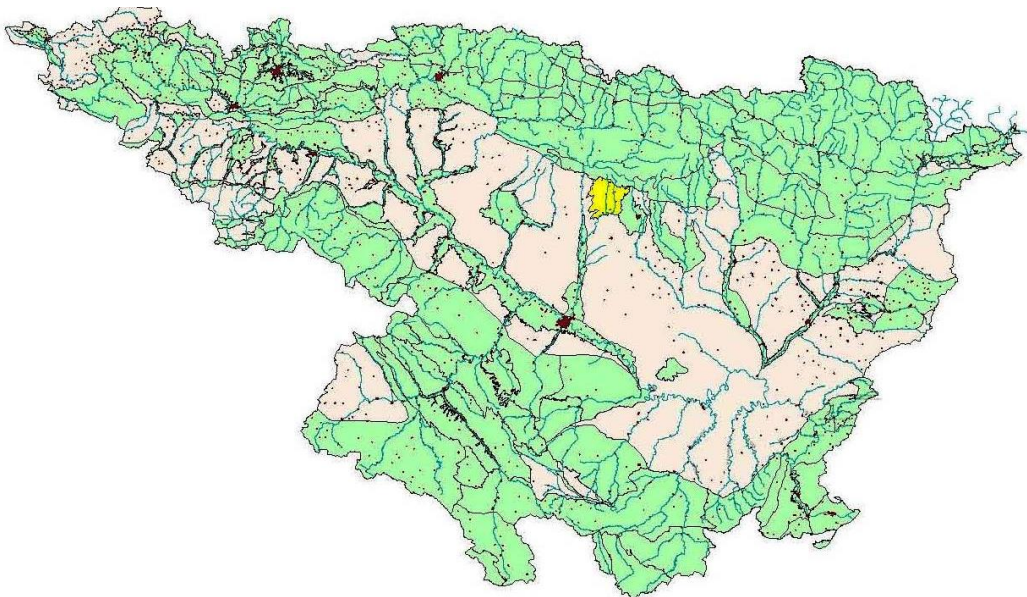


Figura 35. Localización de la masa de agua definida por la CHE como Saso de Bolea-Ayerbe (CHE, 2011).



Figura 36. Vista de la población de Esquedas y de sus drenes para eliminación de agua subterránea que posteriormente se pueden utilizar para riego. Base IBERPIX

Los drenes son sistemas subterráneos de captación de agua de sección mucho más pequeña que su longitud y que conducen el agua por presión en lugar de hacerlo por gravedad (Sánchez-Vila y Batista, 2009). En la figura anterior se observa un sistema de drenes en las cercanías de la localidad de Esquedas para la eliminación del agua subterránea que se reutiliza para riego de los campos adyacentes.

- Masa de agua subterránea cuenca de la cuenca del Isuela

Esta masa de agua queda separada de la cuenca del Sotón por cerros de material Terciario. Dentro de esta unidad se diferencian:

- 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.

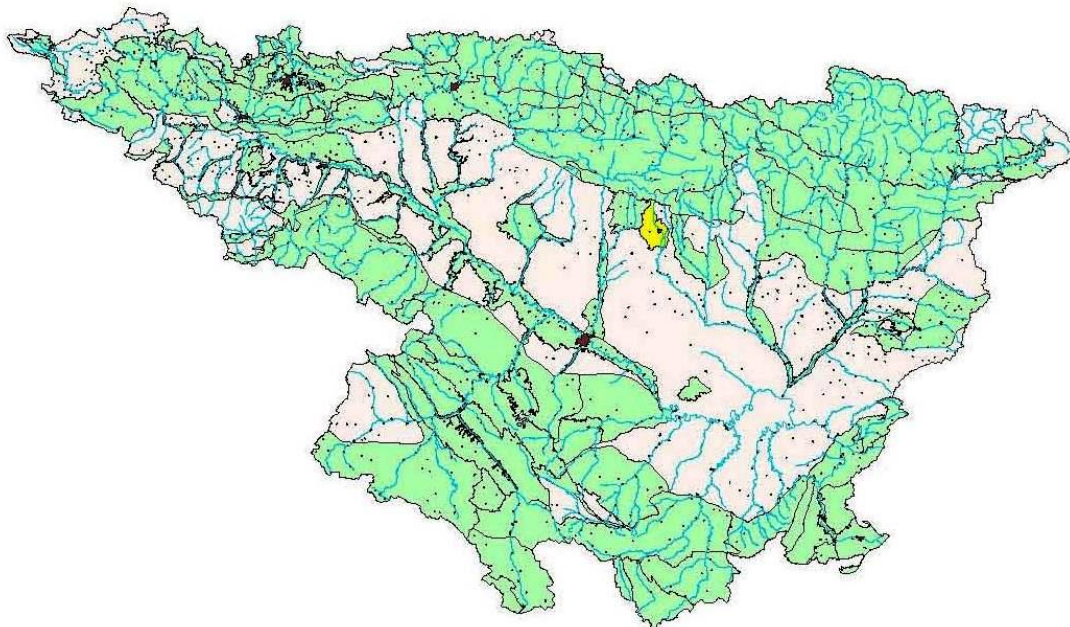


Figura 37. Localización de la unidad Hoya de Huesca definida por la CHE, 2011.

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 (Cuchí, 2004); 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  $16\text{Hm}^3$  y una descarga de  $1,38\text{ hm}^3$ .



- Acuífero de Apiés. Se trata de un acuífero local, libre y aislado de las masas de agua subterráneas anteriores. Queda alojado en un glacis colgado entre el pie de las sierras y el escarpe de Fornillos-Montearagón (Cuchí, 2004). Alimentado básicamente por la lluvia, el flujo de agua parece tener dirección general hacia el sureste de la cuenca (Gimeno, 1995).

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 (Cuchí, 2004).

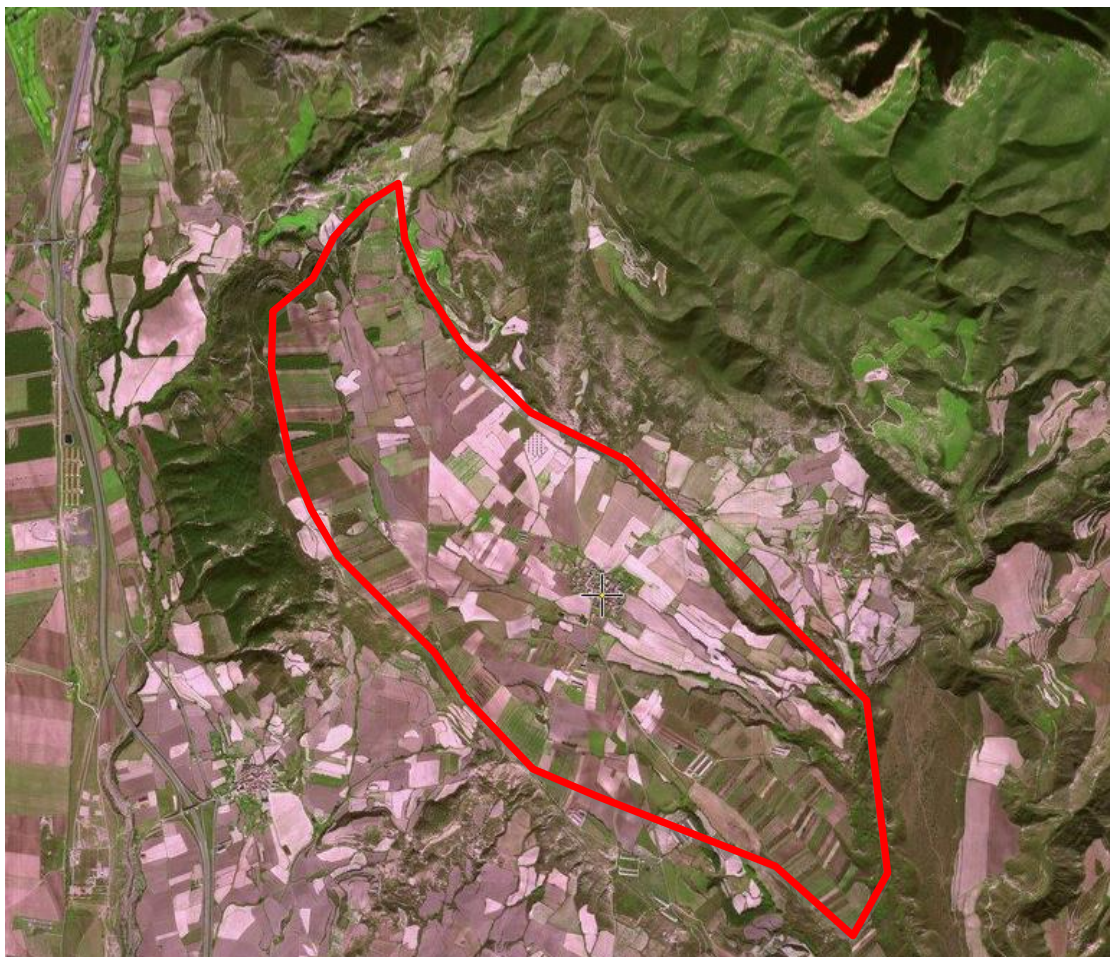


Figura 38. Delimitación del acuífero de Apiés. Base visor IBERPIX.





## 5. Material y Métodos

### 5.1. Muestreo

Del 7 al 11 de octubre de 2013 se realizó una campaña de muestreo, con recogida en 72 puntos de agua. La elección de estos puntos responde a la necesidad de determinar los efectos del abonado de la agricultura sobre la calidad de los acuíferos del área de estudio. Las estaciones de muestreo se ubican en manantiales, ríos, fuentes naturales y fuentes públicas de abastecimiento, obteniendo de este modo un conjunto representativo del sistema hidrológico de la zona de trabajo.

En todas las estaciones de muestreo se realizaron determinaciones *in situ* de temperatura, porcentaje de saturación de oxígeno y conductividad eléctrica. Se utilizó para estas mediciones un conductímetro portátil de la marca WTC 2C10 y un medidor portátil de oxígeno disuelto de la marca YSI 55. En los pozos se midió, además, la profundidad del nivel freático mediante una sonda manual.

Tanto el conductímetro como el medidor de oxígeno disuelto tienen una sonda que se introduce en el agua, una vez estabilizada la lectura, se anotan en el cuaderno de campo los valores obtenidos. En los casos en los que fue posible se determinó directamente sobre el agua natural, cuando por accesibilidad o caudal no fue factible se utilizó un recipiente de plástico previamente enjuagado con el mismo agua de la muestra para introducir los electrodos y efectuar la medición.

Para cada muestra se cumplimentó una ficha en el cuaderno de campo con la fecha y hora del muestreo, el nombre y la naturaleza del cuerpo de agua muestreado así como anotaciones sobre el uso del suelo y la litología.

Se tomaron muestras de agua de tipo simple en todos los puntos, el agua se recogió de forma manual y se almacenó en botellas de polietileno de 2L previamente enjuagadas varias veces. Los envases fueron identificados con el número de muestra y la toponimia del lugar y fueron conservadas en refrigerador hasta la realización de los análisis.



Figura 40. Vista de las algunas muestras de agua en el laboratorio.

## 5.2. Trabajo de Laboratorio

### 5.2.1. Determinación del pH

La determinación del pH se fundamenta en un procedimiento potenciométrico, se empleó un pH-metro digital de la marca CRISON MM40, con una resolución de 0,01.



Figura 41. Modelo de pH-metro utilizado. Marca CRISON MM40 (<http://www.directindustry.es>)

Previamente a la medición en las muestras de agua, se efectuó la calibración del equipo mediante dos disoluciones tampón patrones de pH 7 y pH 4, siguiendo las indicaciones del manual de instrucciones. Como la determinación del pH de las muestras se realizó en varios días, al comenzar cada serie de ensayos se calibró el equipo.

En vasos de precipitados se vertió un volumen aproximado de 80mL, de cada una de las botellas de agua recogidas; las muestras para la determinación del pH deben estar a

temperatura ambiente (entorno 25°C ). Se esperó unos 30 minutos antes de comenzar las lecturas.

Una vez calibrado el equipo y con las muestras a temperatura ambiente, se inició el ensayo de determinación del pH. Se introdujo el electrodo en el vaso de precipitados, previamente lavado con agua desionizada, evitando tocar las paredes del mismo. Se dejó unos minutos hasta alcanzar la condición de equilibrio identificada por la estabilidad en la lectura en el equipo y se anotó el valor de cada pH registrado.

### 5.2.2. *Determinación de contenido en nitratos*

La determinación del contenido en nitratos de las muestras de agua se realizó por espectrofotometría VIS-UV, se eligió esta técnica dado que las aguas objeto de análisis son *a priori* aguas naturales con bajo contenido en materia orgánica.

Tanto la materia orgánica como el ión nitrato absorben energía radiante a una longitud de onda de 220nm, a 275nm sólo la materia orgánica absorbe la energía radiante, es por ello que en esta técnica se realizan las lecturas a estas dos longitudes de onda, se corrige la interferencia de la absorción a 220nm debido a la presencia de materia orgánica en las muestras. Si las absorbancias medidas a 275nm exceden el 10% de la lectura a 220nm, no se recomienda utilizar esta técnica de análisis (Standard Methods for the Examination of water and Wastewater).

El método espectrofotométrico se fundamenta en la ley de Beer, de acuerdo a esta ley la medida de la absorción de la radiación electromagnética por parte de una muestra, es decir la Absorbancia, está relacionada linealmente con la concentración de la especie absorbente. Cualquier especie molecular absorbe ciertas longitudes de onda de la radiación electromagnética de forma que la intensidad de la radiación incidente en la muestra disminuye debido a la absorción, esta disminución se puede expresar con diversas magnitudes, siendo la Absorbancia una de las más empleadas, ésta se define por la expresión:

$$A = \log \frac{P_0}{P}$$

donde A es absorbancia, P<sub>0</sub> es potencia del haz de radiación incidente y P es potencia de dicho haz tras atravesar la muestra.

- Equipos y materiales.

- Espectrofotómetro UNICAM UV/Vis y Cubetas de cuarzo 10mm.
- Centrifugadora ORTOALRESA DIGICEN 21-R.
- Balanza analítica, estufa, tubos de ensayo, matraz 1L, pipetas diversos volúmenes, etc.

- Reactivos.

- $\text{KNO}_3$  (conc.).
- Agua desionizada.
- HCl 1N.
- Agua muestras de ensayo.

- Procedimiento experimentalPreparación de la disolución madre de  $\text{KNO}_3$ , de concentración 1000mg/L (1000ppm).

Se secaron 3-4 g de  $\text{KNO}_3$  en una estufa a 100°C durante 48 horas, pasado este tiempo se pesó 1,6306 g de  $\text{KNO}_3$  en balanza analítica, con ayuda de un embudo se vertió en un matraz de 1L y se enrasó a este volúmen con agua desionizada. La disolución se homogeneizó manualmente.

Preparación de las disoluciones estándares.

Se prepararon las disoluciones para la curva estándar a partir de la disolución anterior de concentración 1000 ppm de  $\text{KNO}_3$  según los volúmenes que se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 6.** Volúmenes utilizados para la preparación de los estándares.

[NO <sup>3</sup> ] (ppm)	mL Disolución 1000ppm $\text{KNO}_3$	mL Agua desionizada	V total (mL)	mg NO <sub>3</sub>
1	1	999	1000	1
2	2	998	1000	2
5	5	995	1000	5
10	10	990	1000	10
15	15	985	1000	15
20	20	980	1000	20
25	25	975	1000	25
30	30	970	1000	30
40	40	960	1000	40
50	50	950	1000	50

Tratamiento de las muestras de agua a analizar

Las muestras de agua recogidas son en su mayoría, de aspecto limpio y claro por lo que no es necesario realizar ningún tratamiento previo.

En las muestras nº 6 (Rio Gállego en Pte. Santolaria), nº 13 (acequia Biscarrues), nº 21 (Paul Arbea) y nº 71 (Riel en Pte. Ortila) se apreció cierta turbidez en el agua por lo que se decidió filtrar las muestras. Se tomó un volúmen sobre 80 mL de cada una de ellas y se pasó por un fintro de textura media, recogiendo el filtrado en un vaso de 100 mL.

Salvo la muestra de agua del Rio Gállego que aún evidenciaba cierta turbidez el filtrado del resto de las muestras presentó un aspecto limpio. La alicuota de la muestra nº 6 (Río Gállego) filtrada, se centrifugó durante 10 minutos, con el equipo anteriormente mencionado y se obtuvo una muestra de agua algo más clara que se consideró, en principio, apta para el análisis fotométrico.

Una vez que todas las muestras de agua recogidas presentaron un aspecto claro, de cada una se tomó 10 mL con ayuda de una pipeta, se vertieron en un tubo de ensayo y se les añadió mediante dispensador automático 1 mL de ácido clorhídrico de concentración 1N a cada una de ellas. A continuación se ordenaron en las gradillas por número de muestra.

Las disoluciones estándar se trataron de forma similar, se tomó 10 mL de cada una en un tubo de ensayo y se les añadió 1 mL de ácido clorhídrico 1N.

#### Lectura espectrofotométrica

Se conectó el espectrofotómetro Unicam 5625 UV/VIS con lámpara de deuterio y tras esperar del orden de 30 minutos para que el equipo estuviese preparado, se comenzó la lectura de las disoluciones estándares para el cálculo de la curva de calibrado. Se realizaron primero las lecturas de la absorbancia de cada disolución a 220 nm, la lectura inicial se realizó utilizando como muestra agua desionizada para fijar el cero inicial; posteriormente se procedió de forma análoga a 275nm.

Una vez obtenidas las lecturas a 220 nm y a 275 nm de las disoluciones estándares y calculada la curva de calibración, se comenzó a leer las absorbancias de las muestras de agua, primero a 220 nm y posteriormente a 275 nm.



Figura 42. Vista del espectrofotómetro empleado en la determinación.

Previamente a la medición espectrofotométrica de las muestras, se elaboró una curva de estándar con los valores de absorbancia obtenidos en los patrones de concentración conocida para calcular posteriormente los nitratos de cada punto a partir de la ecuación de regresión lineal obtenida.

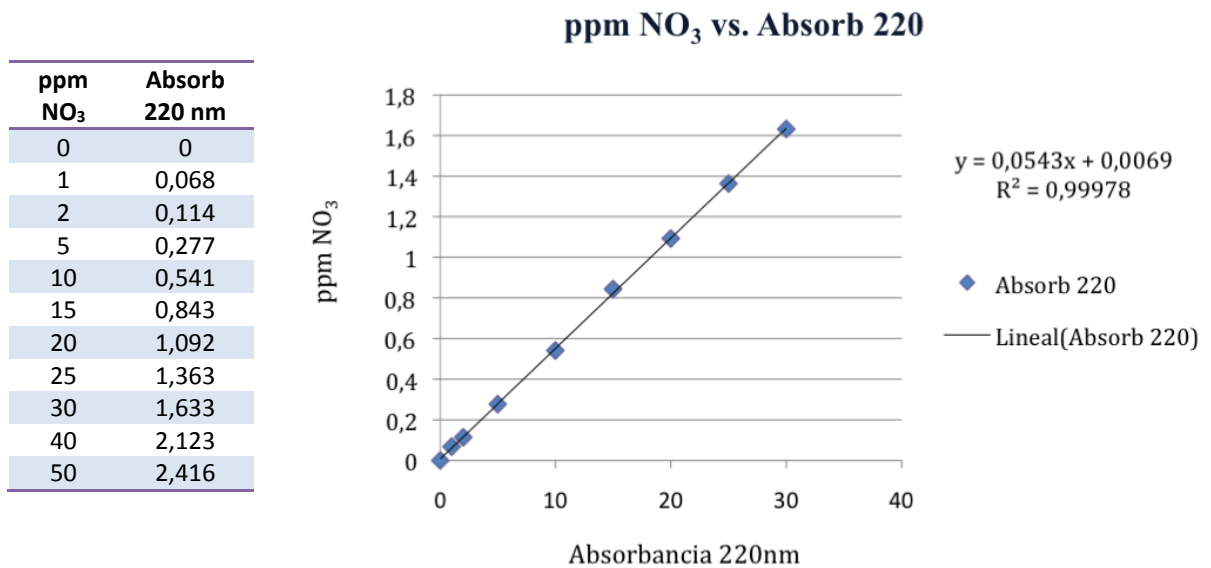


Figura 43. Correlación entre los datos de concentración de NO<sub>3</sub> de las disoluciones patrón y las lecturas de la Absorbancia a 220nm. Ecuación de la regresión lineal y coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación de la línea de regresión, disminuye considerablemente si se consideran los resultados de absorbancia obtenidos en los estándares de 40 y 50ppm. Se representa la curva estandar y se determina que la curva de calibración cumple la Ley de Beer hasta una concentración entorno a 30ppm que corresponde a un valor de absorbancia del orden de 1,6.

De forma que las muestras cuya Absorbancia a 220 nm fué superior a 1,6 fueron diluidas en relación 1:10, para ello se tomo 1 mL de la muestra de agua a analizar y con un dosificador automático se añadieron 9 mL de agua desionizada, posteriormente fueron acidificadas tal y como se ha descrito en el paso anterior.

### Cálculos

Tanto en las muestras como en los estándares se restó dos veces la absorbancia leída a 275nm de la lectura a 220nm para corregir la influencia de la presencia de materia orgánica y obtener la absorbancia debida únicamente al contenido en nitratos.

Se calcula el contenido en mg/L de ión nitrato a partir del valor de absorbancia resultante y de la dilución de las muestras mediante la ecuación de la línea de regresión obtenida (ver gráfico figura 41).

## **5.3. Trabajo de Gabinete**

### *5.3.1. Estudio previo a la campaña de muestreo*

Para el diseño del muestreo se recopilaron datos en estudios anteriores relacionados con los recursos hídricos del somontano de Huesca y se consultó a profesores de la Universidad de Zaragoza dada su larga experiencia sobre la hidrogeología en Aragón.

Una vez definidos los puntos potenciales de muestreo, se localizaron aproximadamente sobre un mapa base obtenido mediante la aplicación del Sistema de Información Geográfica de España (SIGNA) y se organizaron las rutas con el objetivo de realizar un muestreo eficaz.

Los días previos a la salida de campo se realizó una ficha tipo scrip donde se especifican los datos mínimos necesarios para cada punto de muestreo con el fin de facilitar el orden en el cuaderno de campo. Se estudió el medio físico del área de trabajo a partir de la cartografía de la zona y de la lectura y análisis de diversas publicaciones relacionadas con el medio natural del área de trabajo.



### 5.3.2. Estudio posterior al muestreo

Se localizaron los puntos de agua muestreados, y las coordenadas UTM mediante el visor IBERPIX (Instituto Nacional Geográfico).

Con el fin de conocer el tipo de agricultura de la zona de trabajo se consulta a agricultores de la zona sobre el tipo y el modo de uso de la fertilización nitrogenada. Mediante el visor SigPAC (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) se obtuvieron datos, de forma aproximada, sobre las superficies de cultivo aguas arriba de las zonas donde se realizó la toma de muestras y con el visor SIOSE sobre los usos del suelo.

### 5.3.3. Tratamiento de datos

#### - Elaboración fichas de las muestras

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos químicos, con los datos obtenidos en campo y gabinete, las fotografías realizadas y las observaciones recogidas durante el muestreo se cumplimentan las fichas de muestra.

En estos documentos se recogen todos los datos de cada uno de los puntos de agua muestreados.

#### - Realización de planos

Mediante la aplicación ArcGIS se han realizado 3 planos donde se plasma la distribución geográfica de los puntos de muestreo, así como la concentración en ion nitrato del agua, representada mediante la simbología y codificación de colores que utiliza la Confederación Hidrográfica del Ebro (RNIT).

En el primer plano se indica la situación geográfica de la zona de estudio y la distribución espacial de los puntos de muestreo, en los planos 2 y 3 se relacionan las concentraciones en nitratos con los tipos de depósitos cuaternarios existentes (plano 2) y con la delimitación de las dos zonas vulnerables declaradas por el Gobierno de Aragón en 2008 (plano 3).

#### - Análisis de resultados

La estadística descriptiva de Excel permite realizar un análisis sencillo de los resultados obtenidos, se elaboran gráficos de sectores circulares que muestran los porcentajes en

intervalos para la concentración en nitratos en la zona estudiada así como gráficos de barras para el análisis de los parámetros pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto ,temperatura y contenido en ion nitrato.

Se analizan por comparación las concentraciones de nitratos obtenidas en este proyecto, con las de los estudios de Larrey (1994) y Gimeno (1995) así como con los valores registrados por la Red de Nitratos (RNIT) de la Confederación Hidrográfica del Ebro documentados para el año 2011.

- Balance de nitratos

Se ha realizado un balance preliminar de nitratos, en el acuífero de Huesca, a partir de la consulta a agricultores de la zona de estudio, los datos sobre fertilización nitrogenada obtenidos en la bibliografía sobre la extracción de nitrógeno en función de la producción de cereal de invierno y los valores indicados por la Confederación Hidrográfica del Ebro en cuanto a superficie y recarga de esta unidad.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1. Resultados campaña de muestreo

La distribución de los puntos de muestreo se recoge en el Plano 1 del Anexo II, se ubican entre el río Gállego y el río Flumen. Limitan al norte con las sierras exteriores siendo las muestras recogidas en la EPSH las más meridionales.

Se ha obtenido una representación bastante homogénea de los recursos hidrogeológicos de la zona de estudio. Sin embargo, existieron incidencias que no permitieron realizar algunas tomas de muestras como en la fuente del lavadero de Santolaria que se encontraba seca. En Piedramorrera por encontrarse el pozo enrejado o en las instalaciones de ATADES, donde no se pudo muestrear por cuestiones administrativas.

Se han recogido muestras en todas las unidades de agua subterránea descritas en el capítulo anterior así como en los principales ríos y en los abastecimientos públicos de algunas poblaciones.

Los valores de  $T^{\text{a}}$ , conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, medidos *in situ* se recogen en el Anexo 1. *Tabla de resumen de resultados*, junto con los parámetros de localización de los puntos de muestreo, otras características del medio y los resultados analíticos.

#### 6.1.1. Temperatura

Los valores de temperatura obtenidos en los puntos de agua superficial tienen un rango de 12 a 17°C, siendo la media de 14,4°C y la desviación estándar de 1,6. La temperatura máxima corresponde a la muestra tomada en la Alberca de Loreto y la mínima al río Sotón en el aforo de Ortilla. Los valores son muy similares, la radiación solar incidente en la localización así como la hora del muestreo junto con la dinámica de estas masas de agua superficiales son las causas principales de la variación de temperatura.

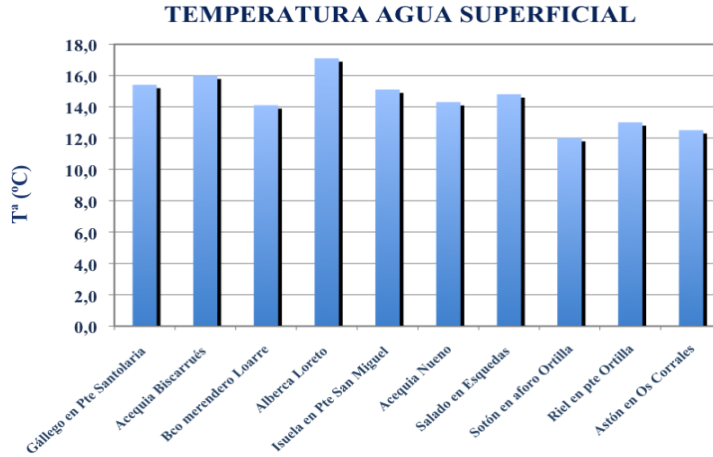


Figura 44. Valores de temperaturas obtenidas en campo en los puntos de agua superficiales.

En los puntos de agua correspondientes a fuentes públicas de abastecimiento el parámetro temperatura no es importante ya que el agua procede de depósitos y el valor no corresponde al del agua subterránea, por ello no se han tenido en cuenta en la elaboración de la siguiente gráfica (figura 45).

Los valores de temperatura obtenidos en aguas subterráneas son relativamente constantes en la mayoría de los puntos y cercanos a la media de la temperatura ambiental. Están en un intervalo de 12,2 a 19,5°C, con una temperatura media de 15,7°C y desviación estandar de 1,8.

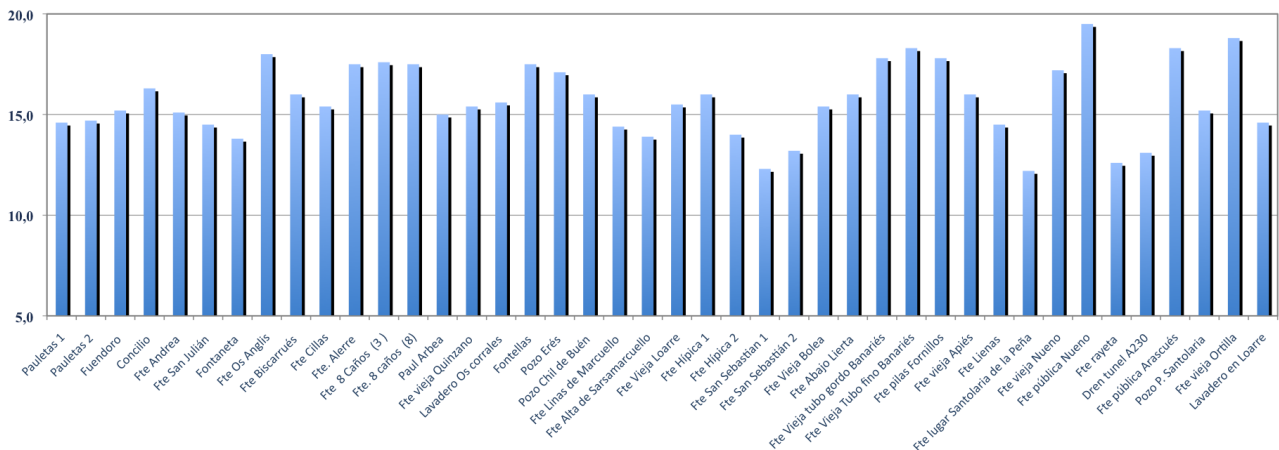


Figura 45. Valores de temperaturas obtenidas en campo en los puntos de agua subterránea.

La temperatura más alta corresponde a la muestra de la fuente pública de Nueno, procede del pozo del golf entre Nueno y Arguís, son ligeramente termales. En la fuente del lugar de Santolaria de la Peña se obtiene el valor más bajo de temperatura debido al efecto de la altitud (cota: 1085m).

### 6.1.2. Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad eléctrica vienen a indicar la cantidad de sales disueltas en el agua, los más elevados corresponden a las muestras con mayor concentración. La procedencia de esta salinidad proviene de los materiales que atraviesa, su valor nos orienta en campo si dos surgencias de agua cercanas geográficamente proceden del mismo acuífero, es por ello que se han tomado varias muestras en fuentes con más de una surgencia como en el caso de la fuente vieja de Banariés o el manantial de San Sebastián en Aniés.

El valor mínimo de conductividad (105,8 microS/cm) se obtiene lógicamente en la muestra tomada en el grifo de una vivienda de Lierta, con sistema de osmosis inversa, el resto de valores mínimos corresponden a las muestras tomadas en fuentes de abastecimiento cuyo agua ha sido tratada previamente como las de abastecimiento de Apiés, Loarre o el grifo de la EPSH.

Los valores máximos se alcanzan en las muestras entorno a la localidad de Esquedas, en concreto en el río Sotón en la muestra denominada como salado en Esquedas (2210 microS/cm) lo que sugiere que el agua ha atravesado materiales que han modificado su composición química notablemente. En la fuente Pilas en Fornillos, el paso del agua por los materiales miocenos que aportan sales, reportan también valores altos de conductividad eléctrica (1627 microS/cm). Lo mismo ocurre en las muestras de Sabayés o de la fuente vieja de Nueno (859microS/cm) donde se observaron precipitados carbonatados en la salida de la fuente durante el muestreo.

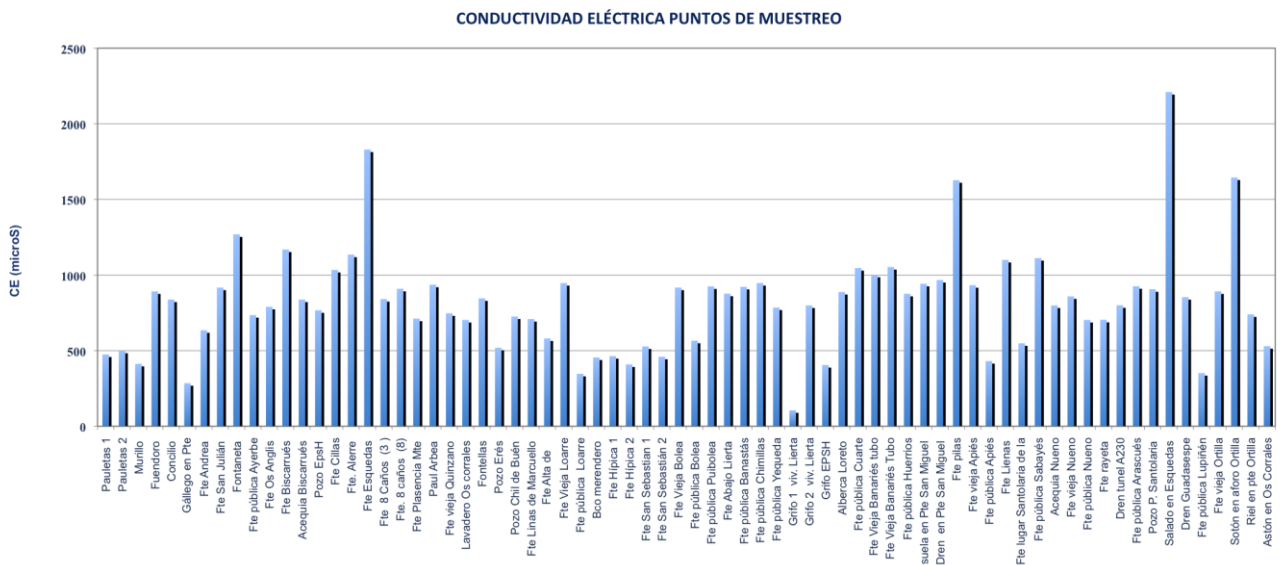


Figura 46. Representación gráfica de los valores de CE(microS/cm) obtenidas en campo.

### 6.1.3. Oxígeno disuelto

El dato de oxígeno disuelto (OD) es un indicador de la calidad del agua, normalmente un valor alto indica agua de mejor calidad. Otros factores que contribuyen a aumentar este parámetro son las turbulencias de la masa de agua o la existencia de plantas acuáticas.

En algunos puntos, la lectura del equipo es inestable, esto es debido porque la oxigenación del agua está variando debido a la propia surgencia del agua que aumenta el nivel del oxígeno.

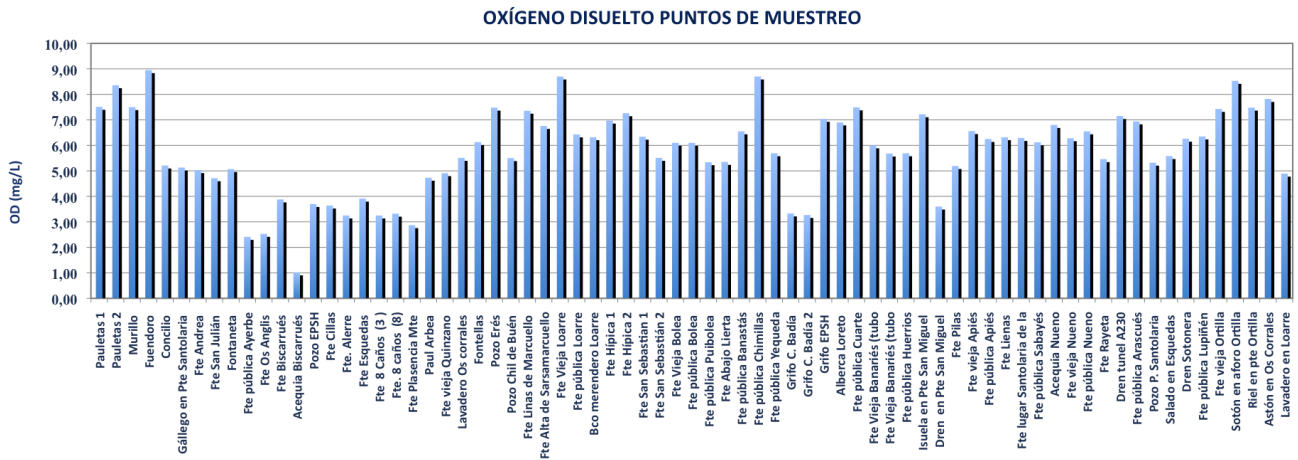


Figura 47. Representación gráfica de los valores de oxígeno disuelto (mg/L) obtenidos en campo.

El valor medio de oxígeno disuelto del conjunto de todas las muestras de agua es 5,79mg/L. El nivel máximo de 8,95mg/L pertenece a la muestra de Fuendoro debido fundamentalmente a las numerosas algas existentes en la alberca, de donde se toma la muestra, que aportan oxígeno como producto de la fotosíntesis.



Figura 48. Vista de la alberca de Fuendoro, con alga

En la fuente de abastecimiento pública de Chimillas también se midieron valores de OD elevados (8,70mg/L) para ser agua procedente del acuífero de Huesca. Esto puede ser debido a la oxigenación del agua por efecto de la presión del sistema de la propia fuente.

El valor mínimo corresponde a la acequia en Biscarrués (1,02mg/L). En cursos de agua superficiales sin velocidad, el oxígeno disuelto tiende a descender aunque en este caso concreto los niveles tan bajos de OD se deben, seguramente, al material orgánico (vertidos de granjas cercanas), a juzgar por el olor del agua en el momento del muestreo. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua.

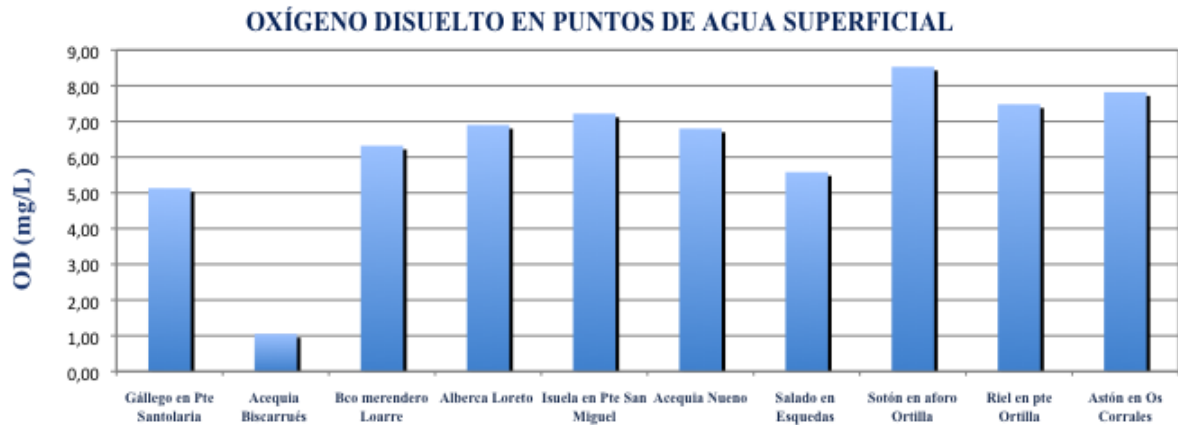


Figura 49. Representación gráfica de los valores de oxígeno disuelto (mg/L) de las aguas superficiales.

En las muestras tomadas en aguas superficiales la media de los niveles de OD es de 8,28mg/l, un poco mayor a la del conjunto. Las aguas superficiales tienen una mayor oxigenación lo que se manifiesta en un contenido mayor en oxígeno disuelto.

## 6.2. Datos analíticos de laboratorio

### 6.2.1. Valores de pH

El pH se midió en laboratorio inmediatamente después de realizar el muestreo tal y como se indica en el capítulo anterior.



Los valores de pH de las aguas muestreadas, oscila entre 6,84 y 8,22. El pH medio es de 7,40 y aunque 5 muestras presentan valores ligeramente inferiores a 7, el rango en las muestras es de pH neutro (desviación estandar: 0,35).

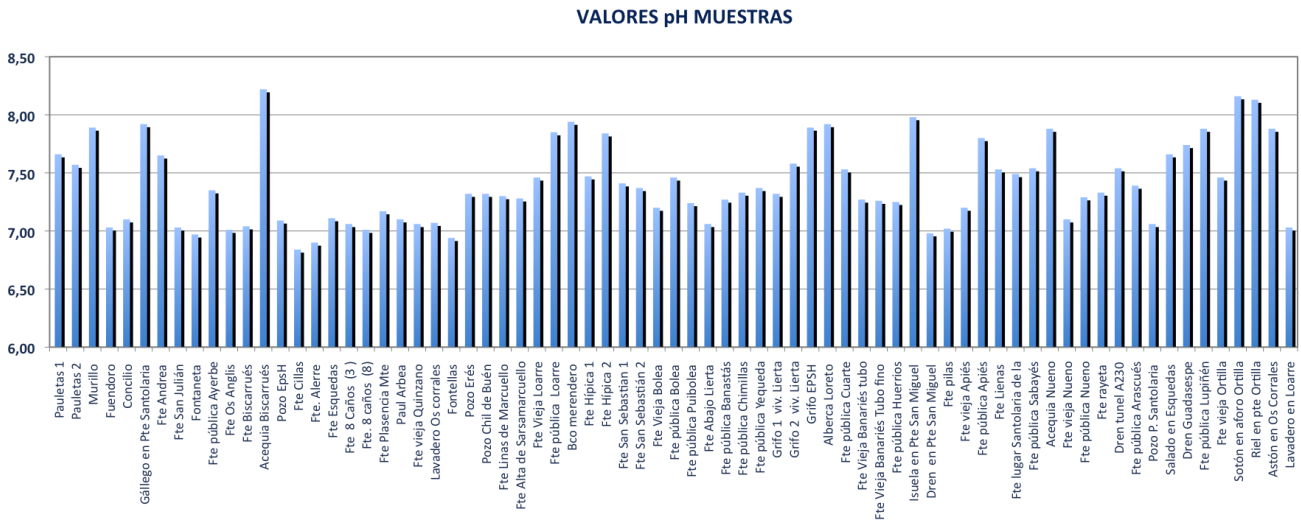


Figura 50. Representación gráfica de los valores obtenidos de pH obtenidos en las aguas muestreadas.

En las muestras procedentes de las fuentes de Cillas y Alerre así como en la de Fontellas que presentan un pH levemente ácido, se han obtenido niveles elevados de ión nitrato lo que sugiere que la causa de esta ligera acidez se deba a la contaminación de las mismas.

El pH máximo corresponde a la muestra de la Acequia de Biscarrués (pH de 8,22) y puede estar relacionado, dadas las características de la acequia, con los probables vertidos de las granjas cercanas.

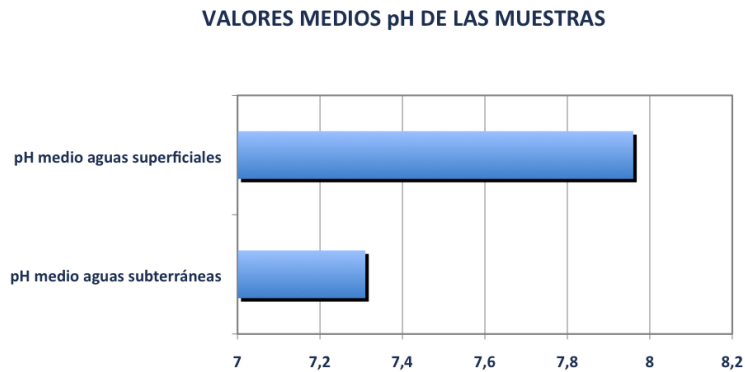


Figura 51. Valores medios de pH de las muestras superficiales y subterráneas.

De forma general se ha detectado un incremento de pH en las aguas superficiales ( $\text{pH}_{\text{medio}}$  7,97), con respecto al resto de las aguas muestreadas ( $\text{pH}_{\text{medio}}$  7,31) el cual puede estar relacionado con la actividad biológica de las masas de agua superficial.

### 6.2.2. Contenido en ion nitrato

Se han calculado las concentraciones en nitratos de las muestras de agua recogidas a partir de la lectura de absorbancia de las alícuotas tal y como se describe en el capítulo anterior, por interpolación en la ecuación de la línea de calibrado. Los resultados de concentración en nitratos se recogen en la Tabla resumen del Anexo I.

La muestra de agua del río Gállego, en el puente de Santolaria (M-6), se ha considerado no adecuada para el análisis del contenido en nitratos, por espectrofotometría, al obtener registros de absorbancia a 275 que superan el 10% de los obtenidos a 220nm, presumiblemente, por exceso de turbidez inorgánica.

Las concentraciones obtenidas son diversas, sin embargo concordantes con los estudios e investigaciones anteriores que se han consultado, así como con los datos registrados de la Red de Nitratos de la CHE.

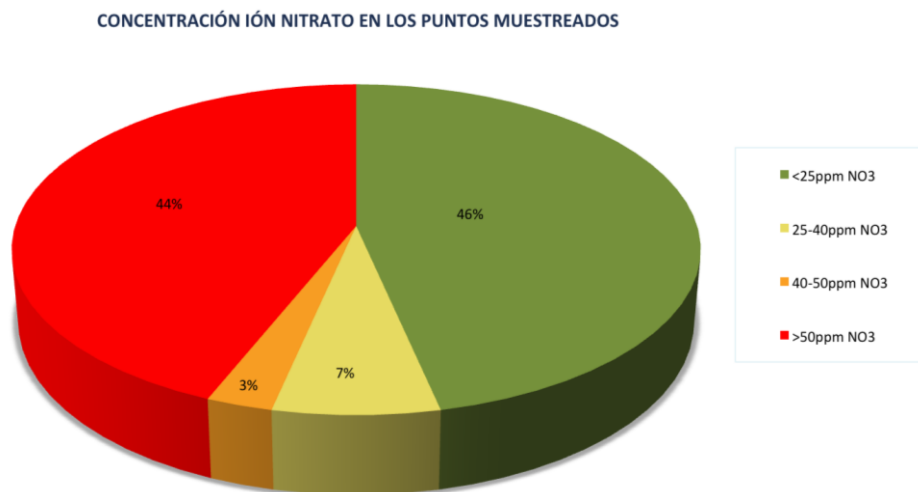


Figura 52. Porcentaje de las muestras de agua en función del contenido en nitratos.

En el gráfico anterior se observa que casi el 45% de los puntos agua muestreados superan el umbral máximo que recomienda la legislación actual y la Organización Mundial de Salud situado en 50 miligramos por litro (ppm) de ion nitrato.

Para establecer una clasificación de las concentraciones en nitratos de las aguas muestreadas a partir de los resultados obtenidos, se ha tomado como referencia la utilizada en la Red de Control de Nitratos de la Confederación Hidrográfica del Ebro que sigue las directrices de la Unión Europea en cuanto a la presentación de resultados para la elaboración de informes.

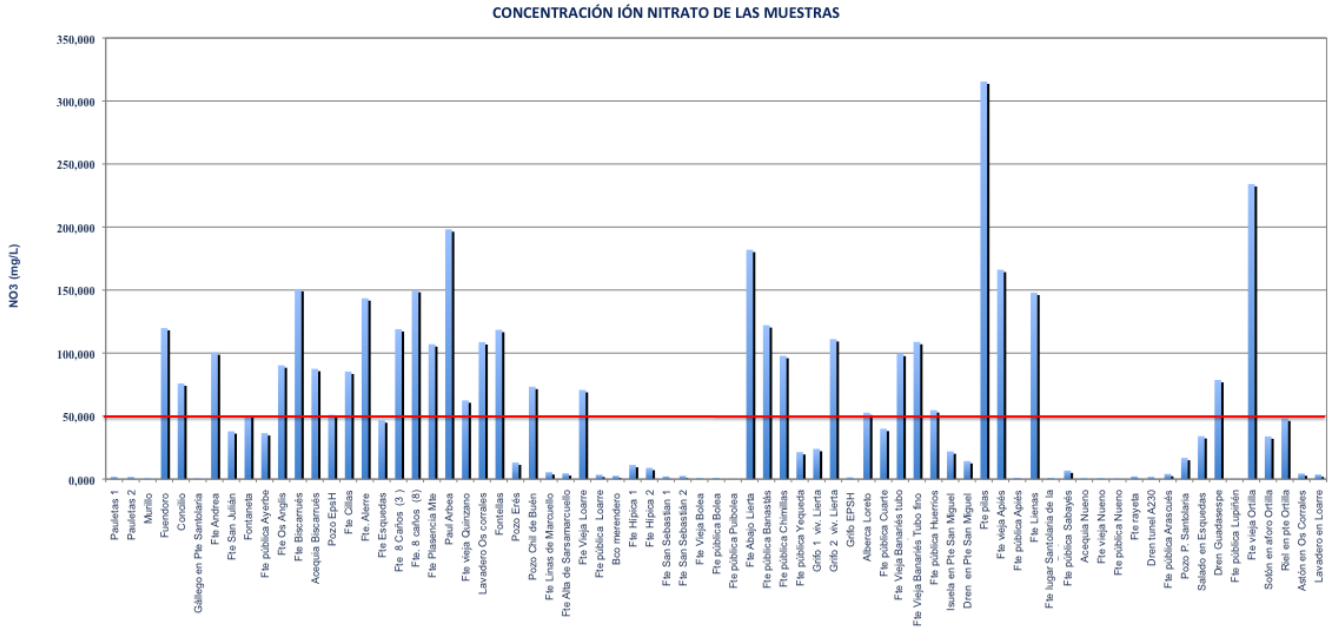


Figura 53. Gráfico de los niveles de ion nitrato determinado en las muestras.

Son muchos los puntos de agua referenciados en los cuales se ha determinado una concentración en nitrato superior a 50mg/L. Tanto en investigaciones anteriores como en estudios recientes solicitados por la Administración, se han detectado numerosos puntos de agua con altos niveles de nitratos en áreas concretas del Somontano de Huesca por lo que se han delimitado dos grandes zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Dado que gran parte del área de este trabajo coincide con las zonas declaradas como vulnerables no es de extrañar el alto porcentaje de puntos de agua con valores por encima del umbral sanitario (ver plano 3, Anexo II).

La distribución del territorio destinado a la agricultura de secano en especial al cultivo de cereal presenta un solapamiento más que apreciable con las masas de agua subterránea muestreadas descritas en el capítulo anterior.

Los resultados obtenidos del análisis de nitratos en las muestras de agua recogidas y su representación espacial (ver plano 2, Anexo II), evidencia que existe una relación directa entre

las zonas cultivadas y los puntos de máxima concentración en ión nitrato que se localizan en las zonas más planas del área estudiada. Las zonas superiores a estas masas de agua son zonas cultivadas en las cuales existe una fertilización nitrogenada que considerando los resultados analíticos obtenidos parece ser excesiva para las necesidades del cultivo.

La escasa profundidad del nivel freático y la elevada permeabilidad y porosidad de los materiales cuaternarios, dominantes en la zona de estudio, confieren una alta vulnerabilidad a los acuíferos aluviales cuando se localizan bajo superficie cultivadas.

En la introducción de este trabajo ya se ha comentado que la contaminación por nitratos derivados de las actividades agropecuarias es una cuestión ambiental importante bien documentada en numerosas publicaciones.

Los resultados de los puntos más próximos a las Sierras sirven como valores de referencia ya que en todos ellos se han obtenido concentraciones menores de 25 miligramos por litro. Las aguas muestreadas en estos puntos se captan de manantiales normalmente procedentes de acuíferos calizos en zonas libres de cultivos.

En el área de Nueno, todos los valores en nitratos obtenidos son bajos porque el agua muestreada procede de las calizas del Muchelkalk que albergan acuíferos de tipo kárstico con surgencias tan populares como la fuente de La Rayeta.



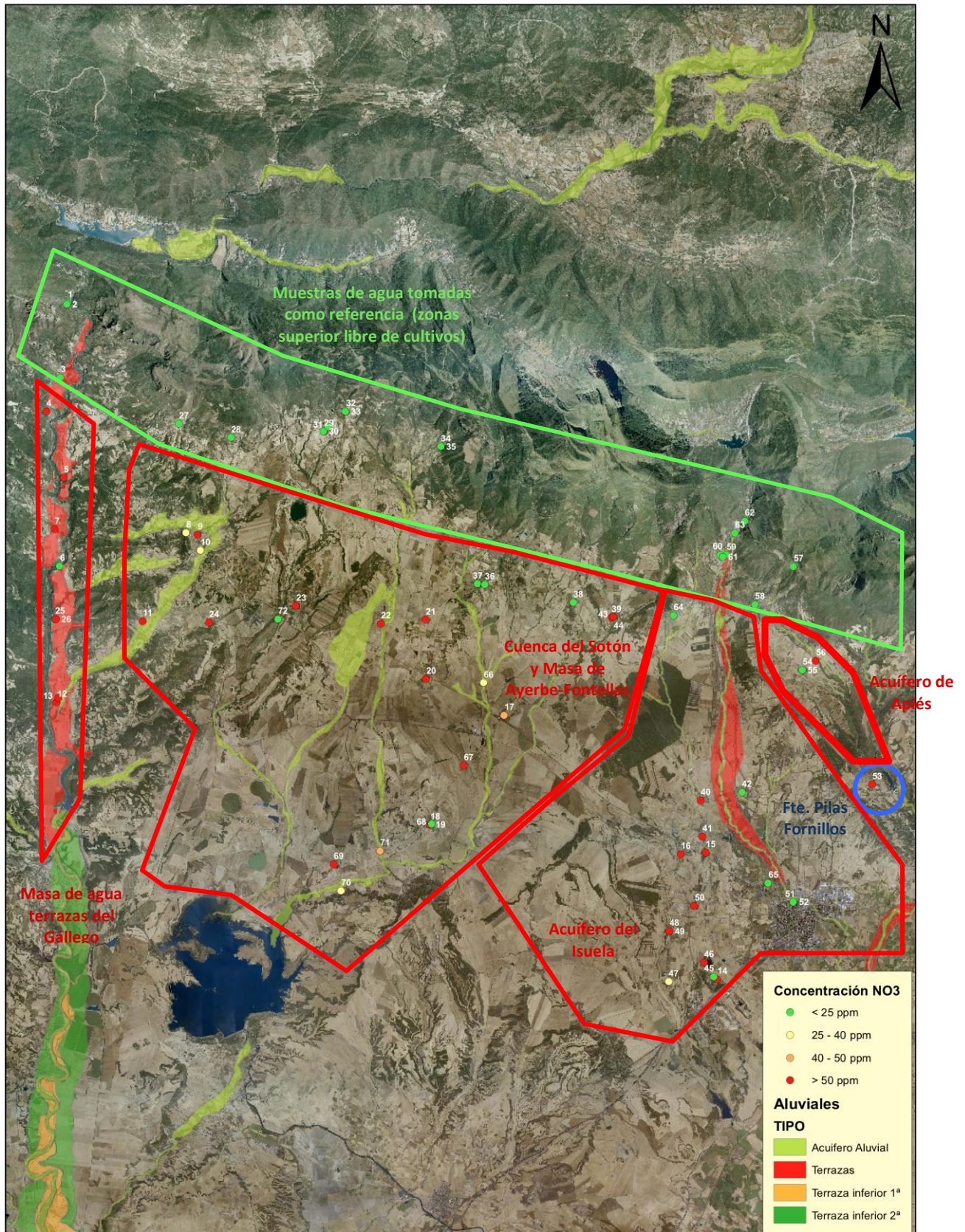


Figura 54. Modificación del Plano 2 (Anexo II) incluyendo delimitación masas de agua estudiadas y muestras de referencia colindantes con las Sierras (sin cultivos).

- Masa de agua Terrazas del Gállego.

De los datos obtenidos en las muestras tomadas de los pequeños acuíferos inconexos que se han definido conjuntamente como masa de agua Terrazas del Gállego se desprende que, en el momento del muestreo, la concentración en nitratos es elevada, superando el nivel permitido en todos ellos, salvo en el pozo de Erés.

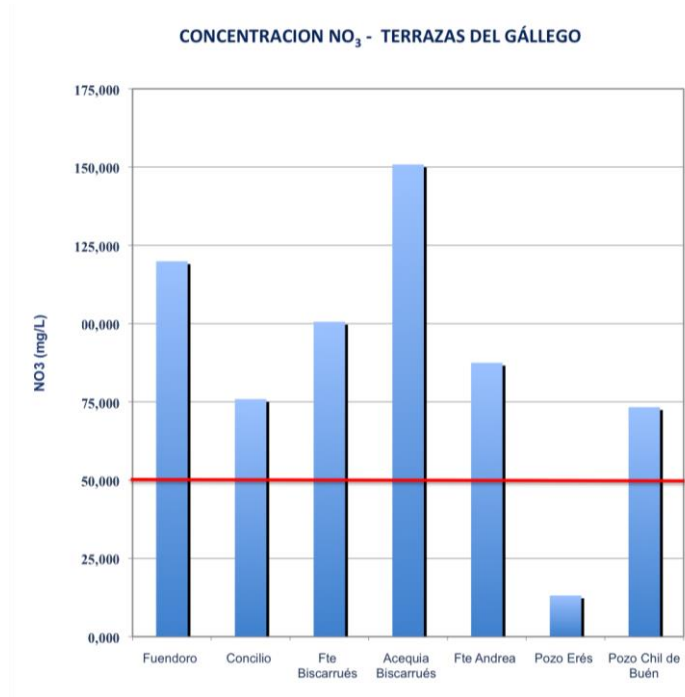


Figura 55. Gráfico de concentración de nitratos en la masa de agua: Terrazas del Gállego.

Durante el muestreo, en la Acequia en Biscarrués se detectó mal olor; se han obtenido altos niveles de ión nitrato, así como una mala oxigenación y un pH elevado, del agua muestreada, lo que sugiere que existe un problema de contaminación de origen agropecuario. En este trabajo no se ha evaluado el posible origen pecuario de los nitratos en las aguas, debido a que el número de explotaciones ganaderas, en la actualidad, no es relevante en el área estudiada, no obstante en determinados puntos de agua podría ser significativo.

Salvo en el pozo de Erés, en el resto de los puntos referenciados se han detectado niveles de nitratos por encima del nivel legislado. En el pozo de la casa Chil de Buén en Erés y pese a la proximidad al pozo de la plaza, el nivel de nitrato es elevado debido probablemente a la extracción mecánica del pozo y a la estratificación de nitratos en aguas subterráneas.

Hasta el momento y pese a los datos obtenidos en este proyecto, a partir de los cuales es evidente que existe un problema de contaminación de las aguas por nitratos en estos acuíferos, no se ha designado como vulnerable a la contaminación por nitratos por la Administración.



- Cuenca del Sotón y Masa de Ayerbe-Fontellas.

El conjunto de estas dos masas de agua son practicamente coincidentes con la definida por la Confederación Hidrográfica del Ebro como Saso de Bolea-Ayerbe.

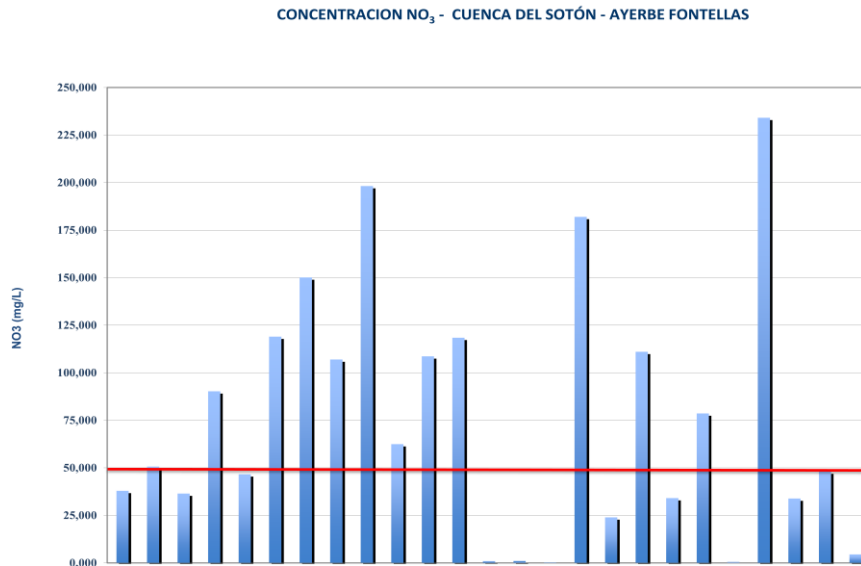


Figura 56. Gráfico de concentración de nitratos en las masas de agua: Cuenca del Sotón y Ayerbe-Fontellas.

Las muestras recogidas en las Fuentes públicas de Ayerbe y Lupiñen proceden de la red de abastecimiento (agua tratada químicamente) por lo cual el resultado obtenido no corresponde al de aguas naturales. Lo mismo ocurre con la muestra tomada del grifo 1 de la vivienda de Lierta con sistema de osmosis inversa. En el caso de la fuente pública de Lupiñén la concentración resultante de 0,517mg/L en nitratos contrasta con los niveles elevados de las muestras procedentes de la Fuente de los 8 caños (118,987mg/L y 150,110mg/L) localizados en la misma población debido a que se bombea agua del embalse de la Sotonera.

En las fuentes de Bolea (fuente vieja y fuente de abastecimiento a la entrada del pueblo) y Puibolea se obtienen resultados muy por debajo de 25 miligramos litro.

La explicación de estos niveles tan bajos en esa zona obedece a que en Bolea se trata de agua traída de Alicastro y en la fuente de Puibolea procede de la Fuente del Cuervo.

En las aguas superficiales de esta zona, el contenido en nitratos no alcanza el umbral permitido, sin embargo se sitúa en un rango cercano al límite entre 34, y 48mg/L, salvo en el río Astón en Os Corrales donde la concentración de nitratos es muy inferior (4mg/L).



En las muestras de la fuente Vieja en Ortila, fuente de Abajo en Lierta y la Paul Arbea se obtienen resultados muy elevados, por encima de los 175mg/L lo que indica que los acuíferos de los que proceden están altamente contaminados en nitratos.

El resto de los puntos, presentan niveles entre 45-150mg/L lo que indica que en términos generales existe un problema global de contaminación por nitratos en estas masas de aguas.

En el Plano 3 del Anexo II, se han incorporado a los símbolos que representan las concentraciones en nitratos y los puntos de muestreo las dos zonas declaradas como vulnerables por el Gobierno de Aragón en la Orden de 11 de diciembre de 2008, aunque existe una Orden de 10 de septiembre de 2013 que modifica estas zonas mínimamente, se han utilizado los datos de 2008 por ser los vigentes en el momento de la campaña de muestreo.

La superposición de los datos obtenidos y las capas de zonas vulnerables indica que la zona vulnerable definida como Saso Bolea-Ayerbe engloba la mayor parte de los puntos de agua muestreados. No obstante, ni Fontellas ni la fuente en Os Anglis (entorno de Ayerbe) están incluidos en esta delimitación pese a arrojar en este estudio valores muy por encima de 50 mg/L.

- Cuenca del Isuela: Acuífero del Isuela y Acuífero de Apiés.

De los resultados obtenidos en estas masas de agua se extrae que existe una contaminación por nitratos en alguno de los acuíferos que las conforman.

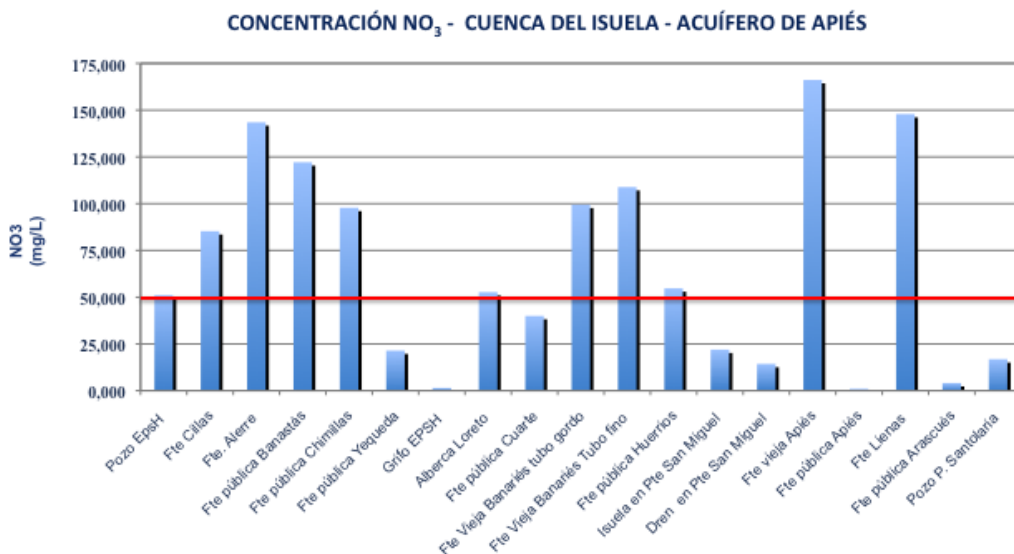


Figura 57. Gráfico de concentración de nitratos en las masas de agua: Cuenca del Isuela-Acuífero de Apiés.

En el acuífero del Isuela, destaca el nivel elevado en la fuente de Alerre por encima de los 125mg/L. En la fuente de Cillas, que realmente no es una fuente natural ya que el agua procede del drenaje de los campos, en las fuentes públicas de Banastás y Chimillas así como en la fuente vieja de Banariés, se obtienen resultados por encima de los 75mg/L.

El agua de las muestras tomadas en el grifo de la EPS de Huesca y en la fuente de abastecimiento público de Yéqueda, está tratada químicamente, de ahí que el nivel de nitratos es muy inferior al resto de las muestras.

La muestra de la fuente de Arascués presenta también niveles muy bajos de concentración de nitratos. El agua procede del modesto acuífero que abastece al pueblo situado en un saso antiguo, en una zona libre de cultivos.

La muestra del pozo de la casa particular Santolaria, situado en las cercanías de la capital oscense, aunque no alcanza el umbral sanitario, contiene nitratos (17mg/L), la altura del pozo se midió a 6,40 m.

En el acuífero de Apiés, modesto e independiente de las masas de agua subterráneas colindantes, en la fuente vieja de Apiés y la fuente de Lienas, se ha obtenido una elevada concentración de nitratos. El agua de la fuente pública de Apiés, procedente del Río Flumen, tiene valores muy bajos de nitratos, propios de un curso fluvial sin contaminar.

Mención aparte requiere la Fuente Pilas en Fornillos de Huesca, no obstante de forma muy breve por ser una particularidad de la zona. Está situada bajo la localidad de Fornillos y bajo un campo de cultivo (ver. ficha muestra 53 del Anexo III); la surgencia se produce en el contacto de los materiales miocenos. Desde la zona de recarga, el agua atraviesa la zona de cultivos y descarga en la fuente.

En la muestra correspondiente a esta fuente se ha obtenido el nivel más elevado de ión nitrato (315mg/L), con mucha diferencia con respecto al segundo valor máximo perteneciente a la fuente vieja en Ortilla (234mg/L).

### 6.3. Comparación con otros estudios

En la literatura científica se encuentra referencia de muchas investigaciones acerca de la hidroquímica de las aguas subterráneas y superficiales en el Somontano altoaragonés. Sin embargo, no son muchos los trabajos dedicados, exclusivamente, a la contaminación de acuíferos por nitratos de origen agrícola en la zona de estudio.

Se han seleccionado los estudios de Larrey y Lasaosa de 1994 y de Gimeno de 1995 por su afinidad con los objetivos de este trabajo. En ambos casos la técnica analítica empleada para determinar el contenido en nitratos de las aguas (electrodo selectivo de nitratos) es diferente a la empleada en este trabajo, por tanto la comparación de los resultados es orientativa.

El proyecto de Larrey y Lasaosa abarca una zona de estudio mucho más amplia que la de este trabajo. Atribuyen al agua de la fuente de Esquedas una naturaleza sulfatada y/o clorurada cálcica que justificaría la alta conductividad que se ha obtenido.

**Tabla 7.** Comparación aproximada de los resultados obtenidos por Larrey y Lasaosa (campana de muestreo octubre 1993) y los resultados obtenidos en este estudio (campana de muestreo octubre 2013).

Larrey y Lasaosa (octubre 1993)		Resultados obtenidos (octubre 2013)	
Toponimia puntos	[NO <sup>3</sup> ] (mg/L)	Toponimia puntos	[NO <sup>3</sup> ] (mg/L)
Pozo Yéqueda	27,20	Fte. Pública Yequeda	21,438
Antiguo abastecimiento Arascués	7,65	Fte. Abastecimiento Arascués	4,109
Fte. Los Hornos. Santolaria de la Peña	11,20	Fte. Lugar Santolaria de la Peña	1,052
Fte. El Mariscal. Apiés	129	Fte. Vieja de Apiés	166,133
Fornillos – pozo 13	74,70	Fte. Pilas. Fornillos	315,488
Pozo 5. Alerre	27,20	Fte. Alerre	143,481
Pozo 3. Chimillas	49,60	Fte. Pública Chimillas	97,808
Pozo 4. Banastás	62,80	Fte pública Banastás	122,118
Fte abrevadero de Lierta	130	Fte. Abajo Lierta	181,971
Fte. Del Cuervo. Puibolea	9,98	Fte pública Puibolea	0,315
Fte. Bolea (Alicastro)	13,80	Fte vieja Bolea	1,033
Fte izquierdo Loarre	14,10	Fte vieja Loarre	70,737
Fte merendero Loarre	11,10	Lavadero en Loarre	3,648
Fte c/ Alta Esquedas	21,10	Salado en Esquedas	34,088

De la comparación de los resultados obtenidos en puntos de agua de localización aproximada, se desprende que las zonas que en 1993 sobrepasaban el umbral sanitario de 50mg/L continúan actualmente dándose contenidos en nitratos por encima de este valor. Destacar el incremento de ión nitrato en la zona de Fornillos y en Alerre que en 1993 no presentaba contaminación y actualmente sobrepasa con creces el nivel legislado de nitratos.

Únicamente se han comparado los datos referentes a las muestras del estudio de Larrey y Lasasa recogidas en la campaña del día 5 de octubre de 1993.

La investigación de Gimeno se centra en el acuífero de Apiés. Este estudio está más orientado al estudio de la evolución temporal de la concentración de nitratos en la masa de agua. Los valores de concentración de nitratos en el agua también son ligeramente más bajos en este estudio, aunque en ambos casos los valores son muy superiores a 50 miligramos por litro, lo cual demuestra que en el acuífero existe un problema de contaminación por nitratos desde hace más de 25 años.

En el ámbito público, se han analizado dentro del informe cuatrienal (2008-2011) de las aguas afectadas o en riesgo por nitratos de origen agrario que se elabora de acuerdo a la Directiva de nitratos de la Unión Europea, los resultados presentados para las masas de agua subterránea designadas como vulnerables: Saso de Bolea-Ayerbe y Hoya de Huesca.

- Saso de Bolea-Ayerbe. Se ha determinado que 6 de los 11 puntos controlados durante el periodo 2008-2011 presentan resultados mayores de 50mg/L.

IPA	TOPONIMIA	MUNICIPIO	VALORACIÓN	TENDENCIA	CONCENTRACIÓN PROMEDIO NO <sub>3</sub> (mg/l)				
					2008	2009	2010	2011	2008-2011
281130021	Barranco de Fontobal (Po. 1; Pa. 167)	AYERBE	no afectado			36,0		35,9	36,0
281130028	FUENTE CEROLLERO. PEZUELO	LOARRE	no afectado					5,9	5,9
281130053	Ayerbe	AYERBE	en riesgo			42,3	27,3		34,8
281180003	ANTIGUO ABASTECIMIENTO DE LUPINÉN	LUPINEN-ORTILLA	afectado		39,0		94,7		66,9
281180044	Sotón (PO: 4 PA: 13)	SOTONERA (LA)	no afectado		22,7		19,8	19,0	20,5
281180057	ARBEA (POLÍGONO 6 PARCELA 200)	SOTONERA (LA)	afectado		131,0				131,0
281180062	PAUL BAJA (PO2: PA:34)	SOTONERA (LA)	afectado		65,6	94,2			79,9
281180073	ANTIGUO CAMPO DE FÚTBOL	LUPINEN-ORTILLA	afectado			76,4	85,1	91,0	84,2
281180074	ARBEA (Po. 6; Pa. 9004)	SOTONERA (LA)	afectado			141,0			141,0
281230032	VEGA DEL SOTÓN (Po. 402; Pa. 9006)	LUPINEN-ORTILLA	no afectado			2,3	3,8	4,7	3,6
291150036	LAS DEMBAS	SOTONERA (LA)	afectado		61,2	75,4			68,3

Figura 58. Resultados obtenidos de NO<sub>3</sub> en el saso Bolea-Ayerbe  
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (CHE, 2012)

El sector más contaminado dentro de esta área se localiza entre las cuencas del Sotón y el Riel que corresponden a la zona de Lupiñén y Arbea. Los resultados de este informe por zonas son concordantes a los obtenidos en el presente estudio.

- Hoya de Huesca. En el caso de esta masa de agua, 3 de los 11 puntos de control arrojan valores por encima de los 50mg/L. Con respecto a los resultados obtenidos en este proyecto para esta misma zona, los valores del informe de CHE son ligeramente inferiores, no obstante hay que señalar que los puntos no son los mismos y que el muestreo de este trabajo fin de grado para este aluvial es mucho más exhaustivo.

IPA	TOPONIMIA	MUNICIPIO	VALORACIÓN	TENDENCIA	CONCENTRACIÓN PROMEDIO NO <sub>3</sub> (mg/l)				
					2008	2009	2010	2011	2008-2011
291150023	IBONES DE BANASTÁS Y YEQUEDA	IGRIES	no afectado	-5,6		13,4		18,0	15,7
291150050	CAMINO A LA ALBERCA (Po. 2; Pa. 9014)	CHIMILLAS	afectado			38,2	64,1	57,7	53,3
291210008	ATADES	HUESCA	no afectado			12,6			12,6
291210034	ATADES POZO 2	HUESCA	no afectado	-19,9		28,1			28,1
291210065	CAMINO CUARTE, PO. 2, PA. 25	HUESCA	no afectado	-56,4	32,0				32,0
291210132	Cuarte	HUESCA	afectado				88,9	69,7	79,3
291210134	SONDEO ATADES 1 (Po. 1; Pa. 359)	HUESCA	no afectado			11,8	6,7	14,0	10,8
291210135	SONDEO ATADES 2 (Po. 1; Pa. 359)	HUESCA	no afectado			7,7			7,7
291210136	BANARIÉS (Po. 2; Pa. 9020)	HUESCA	afectado			70,4	68,8	70,8	70,0
291220110	ALGUARDIA (PO: 11 PA: 55)	HUESCA	no afectado	-8,0		24,5	24,0	21,1	23,2
291260001	MONFLORITE-LAS CASAS	MONFLORITE-LASCASAS	no afectado	-3,3		2,8		2,6	2,7

Figura 59. Resultados obtenidos de NO<sub>3</sub> de las redes de control en la Hoya de Huesca. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (CHE, 2012).

### 6.4. Balance de nitratos en el acuífero de Huesca

Se ha realizado un balance preliminar de nitratos para el acuífero de Huesca con el fin de demostrar que el origen de la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas está relacionado con las actividades agropecuarias que se llevan a cabo.

Los valores de los flujos se han estimado para un periodo anual, no obstante, algunos datos son extrapolaciones de otros estudios.

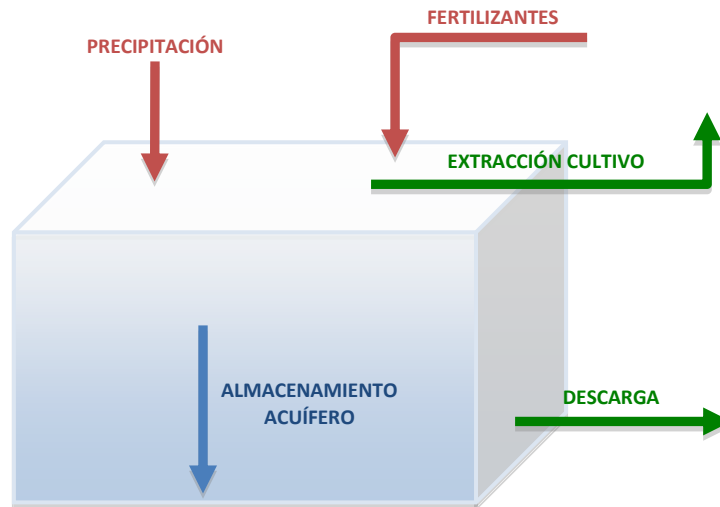


Figura 60. Diagrama de los flujos de nitratos en un acuífero libre.

- *Aportaciones:* únicamente se han considerado las aportaciones a través del agua de lluvia y la fertilización agrícola estimada.

Extrapolando datos de la literatura, puede estimarse una concentración de 2mg/L de nitratos en el agua de lluvia. Considerando 14Hm<sup>3</sup> de recarga (CHE, 2005), debidos únicamente a precipitación, se obtienen 28Tm de nitratos.

Los aportes de nitrógeno, en forma de fertilizantes inorgánicos, proceden de las actividades agropecuarias que se desarrollan sobre el acuífero. A partir de los porcentajes de usos de suelo, en la superficie de la cuenca, se estima para simplificar el balance y debido al dominio de los cereales de invierno, los datos aportados por los agricultores de la zona respecto a los fertilizantes destinados a cebada y trigo.

En las consultas a agricultores del entorno de Huesca, éstos manifiestan que como abonado de fondo suelen utilizar 300kg /ha de complejo 15:15:15. En cobertera, como más habitual, emplean urea del 46% a razón de 180kg/ha. mediante abonadora.

Aunque sin relevancia para este balance, se mencionó que en la zona de Lierta donde predomina el almendro se utiliza complejo 15:15:15, únicamente en cantidades del orden de 400-600kg/ha. Igualmente se mencionó que en la zona de Lupiñén en los últimos años, sólo se está abonando previamente a la siembra y que en la zona de Apiés se utilizan abonos orgánicos como el estiércol de gallina. También se señaló que la elección del tipo de fertilizante y la cantidad, se realiza, en muchas ocasiones, en función del su precio de mercado.

Considerando una extensión de 3000ha, ocupada por cultivo de cereal de invierno, los aportes totales de nitrógeno debidos a la fertilización, son los siguientes:

**Tabla 8.** Toneladas de nitrógeno expresado como ión nitrato aportado por fertilización.

Fertilización nitrogenada	Cantidad (Kg. N/ha)	Superficie (ha)	Total de (Tm de NO <sub>3</sub> )
Fondo (antes siembra)	45	3000	598,1
Cobertera ( febrero-marzo)	82,8	3000	1100,4

No se han considerado ni los aportes consecuencia de la actividad ganadera ni los debidos a las aguas residuales urbanas.

- *Extracciones:* la salida de nitratos se realiza fundamentalmente, por la captación de los cultivos y a través de la descarga natural del acuífero, en disolución.

Las extracciones debidas a los cultivos se han calculado a partir de los valores de extracción para cebada y trigo de la Guía de Fertilización Nitrogenada de 2006 (Gobierno de Aragón) y de los rendimientos medios indicados, para la comarca de la Hoya de Huesca, en el informe Análisis de producción de cereales de invierno del Gobierno de Aragón del año 2013.



**Tabla 9.** Toneladas de nitrógeno expresado como ión nitrato captado por los cultivos de cereal de invierno.

Extracción media N para cebada/trigo	Producción media (periodo 2000-2013)	Superficie (ha)	Total de (Tm de NO <sub>3</sub> )
25kg N/1000kg grano	3014kg/ha	3000	1001,4

A partir de los datos de descarga del acuífero y utilizando la concentración media de ión nitrato obtenida en los análisis realizados en este estudio para esta masa de agua, se puede estimar la extracción de nitrato por descarga del acuífero. Suponiendo una descarga anual de 1,4 hm<sup>3</sup> y una concentración media de nitratos de 75mg/L se calcula una extracción natural de 105 Tm de nitrato.

Es necesario reseñar que el balance de nitratos se ha realizado de forma aproximada. La intención es, simplemente, constatar la existencia de una relación directa entre las prácticas de fertilización nitrogenada en y las elevadas concentraciones de nitratos, muy por encima del umbral permitido, en el agua subterránea.

**Tabla 10.** Resumen del balance simplificado de nitratos en el acuífero de Huesca.

Aportes	Tm NO <sub>3</sub>	Extracción	Tm NO <sub>3</sub>
Fertilizantes	1698,5	Cultivo	1001,4
Precipitación	28,0	Natural	105,0

El resultado del balance es que del orden de 620 Tm de nitratos se acumulan, aproximadamente, cada año, en esta masa de agua.

## 7. Conclusiones

En este trabajo fin de grado, de acuerdo a los objetivos iniciales, se ha realizado un análisis de los niveles de ion nitrato en parte de los acuíferos y los ríos de la zona del somontano de Huesca. De la campaña de muestreo realizada en octubre de 2013, los datos analíticos y el trabajo de gabinete se puede concluir lo siguiente:

- Las concentraciones de nitratos obtenidas en los puntos de muestreo, con más del 45% de las muestras con valores superiores a 50 miligramos por litro (máximo permitido para aguas potables según la Comunidad Europea y la OMS) indican que las masas de agua subterráneas de la zona de estudio están mayoritariamente contaminadas por nitratos.
- La hidrogeología de los materiales cuaternarios de la zona de estudio contribuye a la vulnerabilidad de los acuíferos por su elevada porosidad y permeabilidad. Del mismo modo el que se trate de acuíferos someros favorece la rapidez de la contaminación.
- A partir de los resultados obtenidos parece lógico relacionar, para la zona de estudio, las elevadas concentraciones en nitratos con las actividades agrícolas en concreto con la fertilización nitrogenada
- Para las zonas declaradas vulnerables a la contaminación por nitratos o en riesgo de estarlo existen en España planes de actuación. En este trabajo, dentro de una zona muy reducida de estudio, la masa de agua correspondiente a las terrazas del Gállego no está dentro de la envolvente de zona vulnerable y sin embargo presenta altas concentraciones en nitratos superiores a los 50 miligramo por litro en varios puntos, lo que indica que en esta zona no existe ninguna protección administrativa al respecto.
- Existe muy poca información relevante sobre la contaminación por nitratos de los acuíferos del somontano oscense, de modo que es importante realizar más estudios a escala de comarca para estudiar la influencia de la fertilización nitrogenada en los recursos hídricos, tanto dimensionales como temporales. A diferencia de otros puntos del país, los casos de contaminación de los acuíferos en la Hoya de Huesca se origina en condiciones de agricultura de secano por lo que estas investigaciones son aún más necesarias, si cabe, al ser una situación excepcional.

## 8. Bibliografía

- Aso, E; Aso, J.L. (1991). *Historia Geológica del Alto Aragón*. Cuadernos Altoaragoneses de Trabajo, nº 18. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.
- Badía *et al* (2009). *Itinerarios edáficos por el Alto Aragón*. Cuadernos Altoaragoneses de Trabajo, nº 28. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.
- Belmonte, A. (2005). *El paisaje altoaragonés. Una aproximación desde la geología*. Cuadernos Altoaragoneses de Trabajo, nº 26. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.
- Betrán, J. (2006). *Revisión de la fertilización nitrogenada. Fertilización nitrogenada-Guía de actualización*. Gobierno de Aragón.
- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2012). Informe sobre la determinación de las aguas afectadas o en riesgo de estarlo por nitratos de origen agrarios en la demarcación del Ebro. (Periodo 2008-2011). Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Conway and Pretty. (1988). *Fertilizar risk in the developing countries*. Nature, vol 334. 207-209. London.
- Cuchí, J.A. (1998). *Esquema general de las unidades hidrogeológicas del Alto Aragón*. Lucas Mallada 10. 87-105. Huesca.
- Cuchí, J.A. (2004). *Caracterización de las masas de agua subterráneas de la provincia de Huesca: Somontanos*. (documento sin publicar).
- Cuchí J.A. (2006). *Geología y geomorfología. Comarca de la Hoya de Huesca*. Colección territorio, 22. 27-30. Gobierno de Aragón.
- Del Valle, J. (1996). *El Clima del Prepirineo Central y Occidental Aragonés y sus Somontanos*. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza.

- 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.
- Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2006 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
- 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
- Escuder, R.; Fraile, J.; Jordana, S.; Ribera, F.; Sánchez-Vila, X. y Vázquez, E. (2009). *Hidrogeología. Conceptos básicos de hidrología subterránea*. Comisión docente. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. FCIHS. Barcelona.
- FAO/WHO (1996). Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Nitrate. Safety evaluation of certain food additives. Food Additives Series 35.
- Fernández –Jauregui, C. y Crespo, A. (2008). *El agua, recurso único. El derecho humano a AGUA. Situación actual y retos de futuro*. UNESCO ETXEA.
- Fernández Ruiz, L. (2002). *La incidencia de la directiva europea de nitratos en España*. Régimen jurídico de las aguas subterráneas. 133-155. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Fernández Ruiz, L. (2007). *Los nitratos y las aguas subterráneas en España*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2007. (15.3) 257-265.
- Galloway *et al* (2004). *Nitrogen cycles: past, present and future*. Biogeochemistry, 70. 153-226. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Garcia Rodriguez, M; Fernández Escalante, A.E. (2006). Hidrogeología básica. *Las aguas subterráneas y su flujo*. Colección Medio Ambiente, nº 1. Ed. FIEC. Unión Europea.
- Garcia Ruiz, J.M; Puigdefábregas, J; Creus, J. (1985). *Los recursos hídricos superficiales de Alto Aragón*. Colección de Estudios Altoaragoneses, nº 2. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.

- Garrido, E.A. y Azcón, A. (1994). *Naturaleza y características de los aprovechamientos con aguas subterráneas al sur de las Sierras Exteriores pirenaicas*. Congreso Nacional de Agua y Medio Ambiente. (pág 15-25).
- Gimeno, Y. y Cuchí, J.A. (1994). *Contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés (Huesca)*. Congreso Nacional de Agua y Medio Ambiente. (pág 75-82).
- Gimeno, Y. (1995). *Impacto del uso de agroquímicos (nitratos y fitosanitarios) en agricultura de secano. Aplicación al acuífero detrítico de Apiés (Huesca)*. Trabajo fin de carrera. Escuela Universitaria Politécnica de Huesca.
- Gobierno de Aragón. (2013). Análisis de la producción de cereales de invierno en Aragón. Departamento de agricultura, Ganadería y Medio Ambiente.
- Grosse Y.R et al (2006). Carcinogenicity of nitrate, nitrite, and cyanobacterial peptide toxins. *Lancet oncology*, 7: 628-629. USA.
- Instituto Geológico y Minero de España (1971). Mapa geológico de España. Hoja de Huesca. Escala 1:200.000.
- Instituto Geológico y Minero de España (1971). Mapa geológico de España. Hoja de Tudela. Escala 1:200.000.
- Instituto Geológico y Minero de España (2009). Mapa geológico de España. Hoja de Ayerbe. Escala 1:50.000. Madrid.
- Irañeta, J (2011). Racionalización de la fertilización del cereal de invierno. XXII Jornadas de ciencia y tecnología. Retos del abonado. Huesca.
- Larrey, O ; Lasaosa, J. (1994). *Estudio de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el somontano de Huesca*. Proyecto fin de carrera. Escuela Universitaria Politécnica de Huesca.
- L'Hirondel, J. y L'Hirondel, J.L. (1996). *Les nitrates et l'homme, le mythe de leur toxicité*. Editions de l'Institut de l'Environnement. Liffre. France.

- López, J.A. *et al* (2001). *Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo*. Fundación Marcelino Botín. IGME, Madrid.
  
- Martínez Bastida, J. J. (2009). *El nitrógeno de las aguas subterráneas de la Comunidad de Madrid: Descripción de los procesos de contaminación y desarrollo de herramientas para la designación de zonas vulnerables*. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Madrid.
  
- Nichols, G. J. (2004). *Sedimentation and base level in an endorheic basin: the early Miocene of the Ebro Basin, Spain*. Boletín Geológico y Minero 115 (3), 427-430. Madrid.
  
- Olivan, C. (2013). *Delimitación, evaluación y funcionamiento del acuífero drenado por el manantial kárstico de Fuenmayor*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza.
  
- Orus, F y Sin, E. (2006). *El balance del nitrógeno en la agricultura. Fertilización nitrogenada-Guía de actualización*. Gobierno de Aragón.
  
- Pacheco J, *et al* (2002). *Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos*. Ingeniería, 6: 73-81. Mexico.
  
- Porta, J. *et al* (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. España.
  
- Pueyo, E.L. *et al* (2002). *Rotation velocity of a thrust: a paleomagnetic study in the External Sierras (Southern Pyrenees)*. *Sedimentary Geology*, 146, 191-208.
  
- Puyal, M.A. , Cuchí, J.A. y Manso J.A. (1998). *Hidroquímica de aguas naturales del Pirineo Altoaragonés*. Lucas Mallada, 10. 173-187. Huesca.
  
- Rodríguez Vidal, J. (1986). *Geomorfología de las Sierras exteriores oscenses y su piedemonte*. Colección de Estudios Altoaragones, nº 4. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.
  
- Sánchez, J.A. (1988). *Los recursos hídricos de las Sierras de Guara y sus Somontanos*. Colección de Estudios Altoaragones, nº 27. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.



- Sánchez, J.A. *et al* (1988). *Manifestaciones hidrológicas e hidroquímicas de flujos subterráneos procedentes de formaciones poco permeables del terciario en el somontano de Huesca*. Estudios geológicos, 44. 445-452. Zaragoza.
  
- Sánchez, J.A. *et al* (2000). *Las aguas subterráneas y los humedales de la Hoya de Huesca y el Somontano de Barbastro*. Congreso de botánica en homenaje a Francisco Loscos: 371-384. Huesca.
  
- Sierra, M.A. y Gómez, M. (2007). *Principios de química medioambiental*. Ed. Síntesis. Madrid.
  
- Shiklomanov, I.A. (1998). *World Freshwater Resources In Global Water Data*. París. UNESCO.
  
- *Standard Methods for the Examination of water and Wastewater*, Editor: M. Franson, American Public Health Association, Sixteenth Edition, 1985.
  
- Townsend A.R. *et al*. (2003). *Human health effects of a changing global nitrogen cycle*. Front Ecol Environ, 240-246.
  
- Villón, M. (2007). *Drenaje*. Ed. Tecnológica de Costa Rica.
  
- World Health Organization (2004). *Guidelines for Drinking Water Quality*. Geneva, Volume 1. Recommendations.

