

APÉNDICE 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR NITRATOS MEDIANTE TÉCNICAS MULTISOTÓPICAS, ESTUDIO DE 10 ZONAS.

ARENALES

Dentro de la denominada como Región de Los Arenales, se han definido varias zonas vulnerables (“Zona Vulnerable de Los Arenales y Medina del Campo”, “Chatún”, “Navas de Oro” y “Zarzuela del Pinar, Fuentepelayo y Navalmanzano”). Este conjunto de zonas vulnerables se sitúan dentro del sector noroccidental de la provincia de Segovia, penetrando en la provincia de Valladolid y en la zona central-meridional de la Demarcación Hidrográfica del Duero.

Este territorio muestra un clima predominantemente mediterráneo templado, a causa del aislamiento orográfico que presenta la cuenca del Duero. Dentro de este ámbito climático, los inviernos son medianamente rigurosos y los veranos cálidos. Las precipitaciones presentan un régimen irregular tanto anual, centrándose en otoño y primavera y siendo muy reducidas en la época estival, como interanual con valores medios entre 350 y 800 mm de un año a otro.

En cuanto a los usos del suelo, el estudio agronómico muestra que en la masa de agua subterránea de Los Arenales predominan las tierras de cultivo en secano y los bosques de coníferas, siguiéndoles como tercer uso predominante, el regadío, que en esta zona está compuesto generalmente por cultivos herbáceos (hortalizas y cereales).

La densidad de población dentro del área de la MASub es relativamente baja, no existiendo grandes presiones urbanísticas sobre el terreno. El uso principal que se da al suelo es el agrícola, que junto con la ganadería, tienen importancia en el desarrollo económico de la población. Una extensión muy importante de la masa de agua, está ocupada por superficies boscosas de coníferas, empleadas a su vez para el aprovechamiento de resina y recolección de piñones, que suponen una industria de cierta relevancia en la zona.

En cuanto a la evolución de los usos del suelo cabe mencionar que, con respecto a la década de los 80-90, se sigue manteniendo una importante superficie tanto de agricultura en secano, la cual disminuye ligeramente, como de masas forestales, que incluso se ven ligeramente aumentadas. El regadío continúa ocupando una superficie menor, inferior al 12 % del total, aunque se ha producido, al contrario que en el secano, un ligero aumento de la misma. Este aumento es especialmente importante en la margen izquierda del Cega al sur de Cuéllar (municipios de Chañe, Fresneda de Cuéllar, Gomezserracín, Sanchonuño,...), una zona fuera de los límites de las zonas vulnerables, donde se cultivan principalmente hortícolas con el agua de un acuífero superficial que se recarga artificialmente durante el invierno, (Comarca del Carracillo). Pero dicho aumento se compensa en parte con la disminución de regadíos tradicionales en otras zonas, debida a la poca disponibilidad de agua, al envejecimiento de la población o a la disminución de las cuotas de la remolacha, entre otras razones.

La distribución de las explotaciones ganaderas de porcino, vacuno y rumiantes dentro de la MASub Los Arenales es más o menos regular, distribuyéndose por toda la masa de agua, tanto dentro como fuera de los límites de las zonas vulnerables que se superponen a ella. En general la carga ganadera es bastante alta, especialmente la de porcino. Hay que destacar que en la zona mencionada en el párrafo anterior, en la que ha aumentado el regadío, existe una carga ganadera importante, especialmente compuesta por ganado porcino y en donde también se localizan numerosas explotaciones avícolas. Se tratan de los municipios de Chañe, Fresneda de Cuéllar, Cuéllar y Gomezserracín.

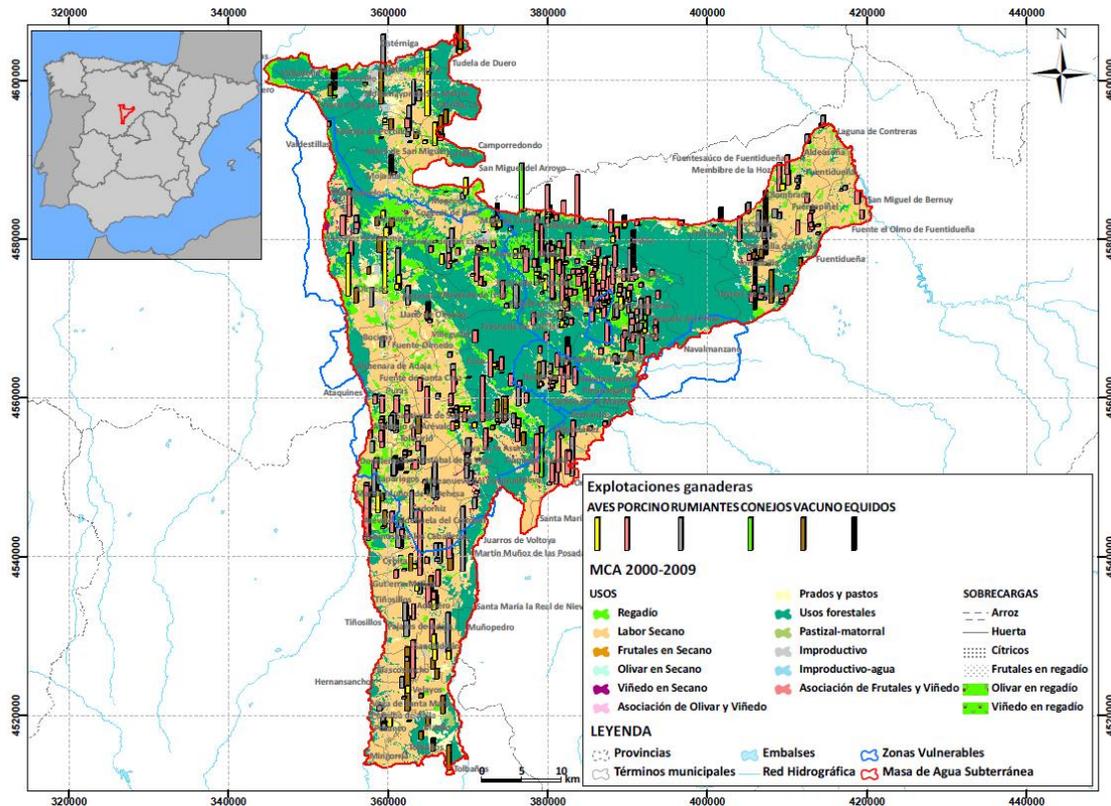


Figura 7.1. Usos del Suelo en la MASub Los Arenales y principales explotaciones ganaderas. Fuente: MAGRAMA "Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España 2000-2009" y REGA

Las encuestas realizadas para comprobar la adaptación de los agricultores de la zona al Programa de Actuación reflejan que existe un alto grado de incumplimiento de las dosis máximas de N total aportado (kg/ha). Esta dosis se sobrepasa generalmente debido al exceso de abonado orgánico respecto a los límites establecidos. Por el contrario, se cumplen mayoritariamente las indicaciones relativas a la época de realización del abonado tanto orgánico como mineral, respetando por lo general los periodos de prohibición por tipo de cultivo detallados en el Programa.

Según la caracterización geológica e hidrogeológica realizada para la MASub Los Arenales, la formación acuífera de mayor importancia regional es, sin duda, el acuífero detrítico multicapa del Terciario de la Cuenca del Duero. Se trata de un acuífero con alternancias de sedimentos más y menos permeables que en muchas ocasiones tienen morfología lenticular. Tradicionalmente en este acuífero Terciario se han distinguido dos grandes niveles acuíferos, uno superficial de comportamiento libre y uno más profundo semiconfinado o confinado (en ocasiones se localizan sondeos surgentes). También se han considerado las dos formaciones detríticas del Cuaternario, la de Arenas Eólicas (facies Coca-Arévalo) y los materiales de terraza y aluviales de los principales ríos, con cierta importancia hidrogeológica, así como el acuífero colgado de las Calizas del Páramo.

La recarga natural de la zona se puede decir que se produce por infiltración de las precipitaciones, transferencias subterráneas de las masas de agua contiguas y retornos de riego. Los niveles superficiales recargan mediante goteo el detrítico terciario semiconfinado a gran profundidad a través de capas de limos y arcillas, constituyendo así su principal entrada.

Las descargas se realizan hacia la red fluvial. Los acuíferos superficiales más influenciados por la topografía descargan hacia los ríos Cega, Eresma y Voltoya y los niveles más profundos hacia el río Duero. También son importantes las descargas por extracciones de bombeo que afectan sobre todo a los niveles más superficiales. A escala regional, el conjunto funciona como un acuífero heterogéneo de flujo tridimensional. Los flujos transversales son de dirección S-N, desde la cabecera de los ríos hacia el interior de la cuenca. En las zonas de cabecera (Cerca del Sistema Central) el flujo tiene una componente vertical descendente y constituye una importante zona de recarga de los acuíferos profundos. En contraposición, la zona del Duero, al norte de la masa de agua, la componente vertical se vuelve ascendente, constituyendo así su principal zona de descarga del sistema a la red de drenaje.

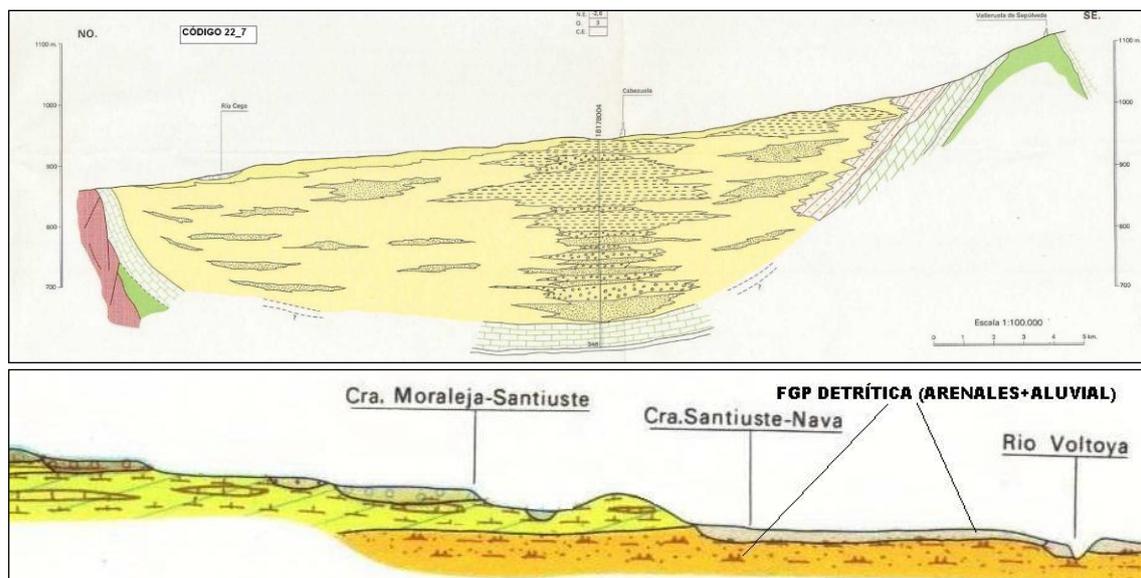


Figura 7.2. Cortes geológicos esquemáticos del detrítico terciario de la Cuenca del Duero y acuíferos superficiales (MASub Los Arenales). Fte. IGME

La intensa actividad agrícola y ganadera desarrollada históricamente en la zona, así como la sobreexplotación de los acuíferos existentes en la región de Los Arenales hacen que existan problemas importantes tanto con la cantidad como con la calidad química de las aguas subterráneas, especialmente en cuanto al contenido en nitratos, afectando incluso a las aguas de consumo a la población.

El estudio de evolución piezométrica refleja la existencia de grandes diferencias en la cota de nivel piezométrico, que varían en función de la posición de los piezómetros dentro de la MASub. Así, los puntos situados en la zona de cabecera presentan las cotas de nivel más altas, mientras que los piezómetros del centro de MASub poseen los niveles más someros.

Otra de las diferencias de nivel está provocada por los distintos horizontes acuíferos, ya sea por niveles colgados (páramo calcáreo), niveles superficiales (Cuaternario y plio-Cuaternario) o los niveles del Detrítico Terciario (niveles inferior y superior).

Como se ha podido comprobar en los piezómetros con mayor serie de datos, sobre todo en el nivel inferior del acuífero detrítico de la Cuenca del Duero, se ha producido un descenso histórico muy importante desde los años 70 y 80 hasta finales del siglo XX, si bien la modernización de regadíos y el abandono del campo han hecho invertir esta situación, aunque a un ritmo relativamente lento.

Los resultados obtenidos del estudio de contaminación por nitratos a partir de las redes oficiales de calidad, reflejan una concentración media general muy elevada, que supera los 50 mg/l de promedio en toda la masa de agua subterránea (59 mg/l). Separando los puntos según el acuífero captado, los puntos característicos de niveles del Cuaternario más superficial, tienen un promedio de 77 mg/l. El nivel superior del Terciario detrítico, presenta un promedio de 60 mg/l, mientras que el nivel inferior tiene un contenido medio de 14 mg/l de nitratos. Por último, el acuífero de páramos calcáreos presenta un promedio de unos 62 mg/l.

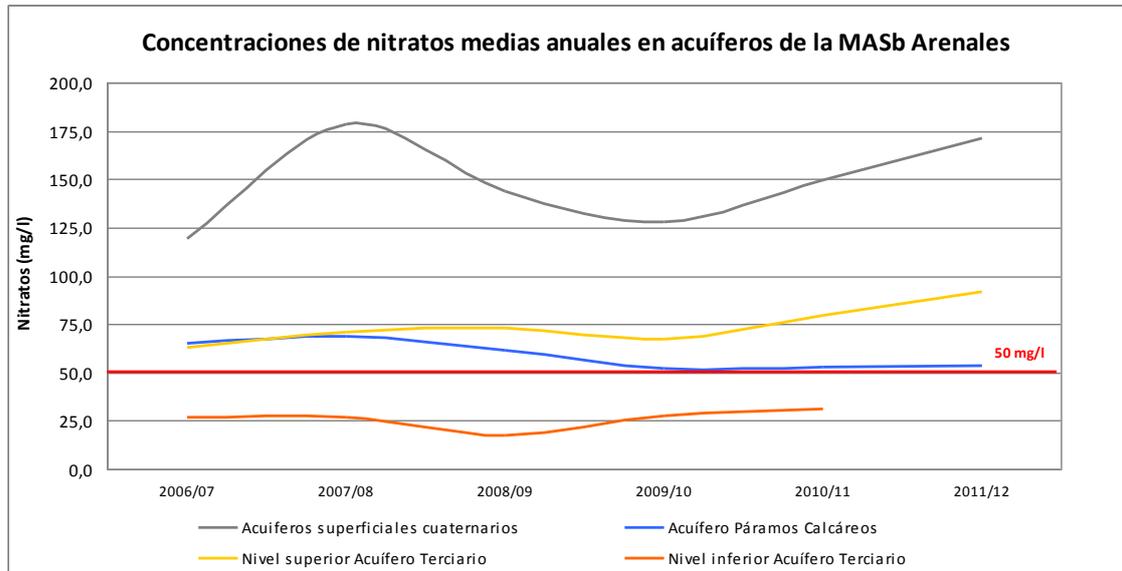


Figura 7.3. Valores anuales medios de concentraciones de nitratos por acuífero 2006/07-2011/12

En cuanto a la distribución espacial de la contaminación por nitratos, esta diferenciación se hace más evidente en los mapas de concentración de nitratos realizados para cada acuífero (promedios anuales desde el año 2000 en acuíferos superficiales del Cuaternario y los niveles superior e inferior del Detrítico de la Cuenca del Duero) de la figura 7.4.

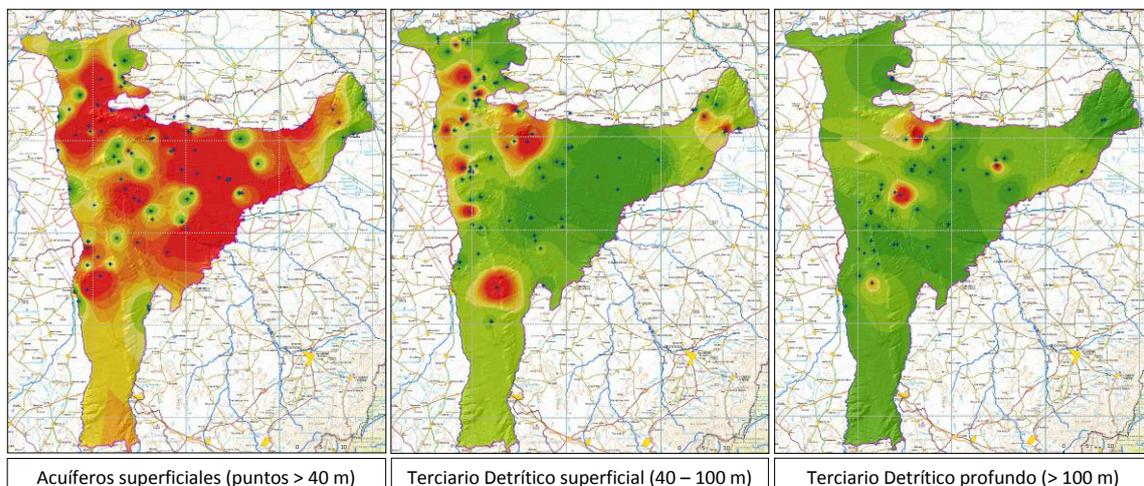


Figura 7.4. Mapa de concentración de nitratos en puntos de la red de calidad en función de las formaciones acuíferas más importantes. Promedio nitratos años 2000-2012

Con esta información, cabe mencionar que los problemas de contaminación difusa por nitratos afectan, en su mayor parte a los acuíferos superficiales, que presentan una mayor variabilidad en los datos obtenidos debido a las altas tasas de renovación existentes, aunque también son los que mayor concentración han registrado, puesto que son los más vulnerables.

El nivel inferior del detrítico terciario, por lo general, no se está viendo afectado por dicha contaminación, salvo por la interconexión entre acuíferos de manera puntual. Existe gran variabilidad de datos en estos puntos, lo que refleja la complejidad hidrogeológica de dicho acuífero multicapa.

A partir de los datos de que se dispone, por lo general, no se han extraído conclusiones definitivas del estudio comparativo realizado entre evolución piezométrica, pluviométrica y evolución de concentración de nitratos.

Para corroborar, ampliar y completar estos estudios, se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de la zona vulnerable. La primera de ellas tuvo lugar durante el mes de marzo de 2013, mientras que la segunda se llevó a cabo en mayo de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua previamente seleccionados, como de aguas residuales (EDAR), así como diversas muestras sólidas procedentes de fertilizantes orgánicos y minerales.

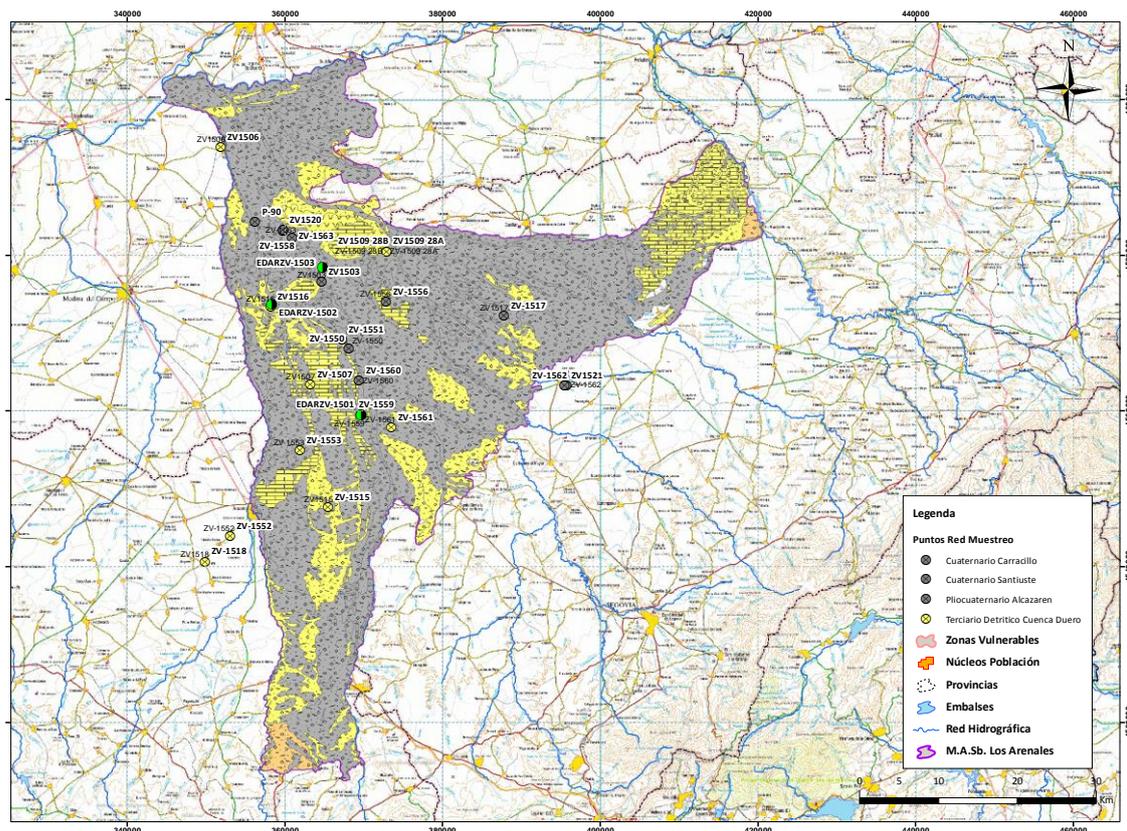


Figura 7.5. Distribución de los puntos de la red de muestreo (marzo de 2013 y mayo de 2014) sobre cartografía litoestratigráfica en las ZZ.VV. Los Arenales

Respecto al contenido iónico de las aguas en la zona, cabe mencionar que no se diferencian las facies hidroquímicas en función de los acuíferos. Se trata generalmente de facies mixtas con predominio en bicarbonato cálcico.

Respecto a la concentración en nitratos, los resultados obtenidos en las campañas propias corroboran la distribución obtenida mediante la red de calidad oficial. Se ha registrado un aumento en las concentraciones desde el año 2012 al 2014, aunque no es regular, sino que es diferente en función de los acuíferos. En los puntos representativos del Terciario, el aumento es generalizado, mientras que en los puntos de acuíferos cuaternarios y pliocuaternarios hay una mayor dispersión con aumentos importantes y descensos puntuales. No obstante, hay que tener en cuenta que la de toma de muestras de la campaña 2012 se realizó el mes de marzo, al inicio de la época de aplicación del abonado primaveral, mientras que la de 2014 fue en mayo, cuando la mayoría de las aplicaciones habrán finalizado y tal vez, al tratarse de acuíferos muy permeables, los excesos de abonado estén provocando el incremento de las concentraciones entre ambas campañas.

Además, los acuíferos Cuaternarios presentan promedios de concentración de nitratos muy superiores que el nivel superior del Terciario, con valores que superan los 300 mg/l en los tres acuíferos superficiales considerados (campaña 2014).

Tanto el estudio de la contaminación por nitratos en las redes oficiales como en las campañas propias reflejan que la problemática de contaminación por nitratos se concentra en los niveles acuíferos más superficiales, con mayor importancia en los acuíferos cuaternarios y pliocuaternarios. Otra conclusión importante es que existe una mayor variabilidad en la concentración de nitratos en estos acuíferos, debido a la alta tasa de renovación existente, favorecida por los reducidos espesores y las altas transmisividades.

Según el estudio isotópico de las muestras recogidas en la campaña de 2014, en la zona de estudio no se ha identificado una única fuente de contaminación. Por lo general, el nitrato tiene un origen mixto, observándose influencia tanto de fertilizantes orgánicos como de inorgánicos y de aguas residuales.

Se han definido cuatro grupos de muestras en función de los resultados isotópicos. Las muestras situadas más al sur de la zona, correspondientes al grupo A, tendrían un origen ligado principalmente a fertilizantes amoniacales nitrificados (fertilización mineral). El grupo B con la mayoría de las muestras situadas en la zona noroeste, presenta un origen del nitrato relacionado con purines y/o aguas residuales. El tercer grupo de muestras (grupo C), que además es el de mayor abundancia y situado en la zona central de la zona de Arenales, presenta un origen del nitrato mixto entre fertilizantes químicos, purines y/o aguas residuales. Por último el grupo D corresponde a muestras de depuradoras y fenómenos de atenuación natural.

Teniendo en cuenta la extensión e intensidad de la actividad agroganadera existente en la zona vulnerable y la distribución de la contaminación por nitratos, parece claro que su principal origen se encuentra relacionado con la agricultura (foco difuso), tanto por aportación de nitrógeno inorgánico como orgánico procedente de las numerosas explotaciones ganaderas (principalmente purines). De forma puntual se ha detectado que la contaminación está provocada a partir de aguas residuales.

Debido a la interconexión entre acuíferos, esta contaminación se ha extendido a acuíferos inferiores, tanto de forma natural en los puntos de conexión hidráulica (sobre todo entre acuíferos cuaternarios y el Terciario superficial), como debida a la inadecuada construcción de sondeos de explotación que facilita la difusión de la contaminación hacia las formaciones acuíferas más profundas.

Se han detectado procesos de atenuación natural de la contaminación (desnitrificación), aunque se produce de manera puntual y limitada. En este sentido, los datos químicos e isotópicos sugieren una mayor influencia de la oxidación de materia orgánica como proceso principal en dicha atenuación.

EMPORDÀ

La zona vulnerable denominada como “Alt Empordà, Baix Empordà, Pla de l'Estany, Gironès”, de gran extensión, incluye dentro de sus límites las MASub del Empordà, Paleógenos del Bajo Ter, Fluvià-Muga y Delta del Ter, situándose todas ellas en el extremo nororiental de Cataluña, íntegramente en la provincia de Gerona, inmediatamente al noreste de la ciudad de Gerona, en las comarcas de Alt y Baix Empordà.

Esta zona vulnerable presenta un clima templado de tipo mediterráneo, en las que se distinguen dos subtipos agroclimáticos, Mediterráneo continental y Mediterráneo marítimo. Por lo general tiene un clima seco, aunque se producen bastantes precipitaciones por la zona norte y en la parte central. El rasgo climático con más impacto sobre el cultivo es el fuerte viento del norte, la Tramontana. Los inviernos son suaves, con pocas heladas, y los veranos calurosos. La temperatura media anual está comprendida entre los 14 y los 16 °C y la pluviometría se sitúa alrededor de los 600 litros anuales, con precipitaciones máximas en los meses de octubre y abril. El periodo seco comienza a partir de julio y dura hasta mediados de septiembre.

En términos de agronomía, destaca su extensa actividad ganadera, centrada en explotaciones porcinas, aunque también es importante la actividad bovina. La repercusión que esto tiene sobre los propios cultivos radica en el uso agrícola de los purines y estiércoles procedentes de dichas explotaciones, de aplicación muy frecuente en los cultivos herbáceos, tanto en secano como en regadío.

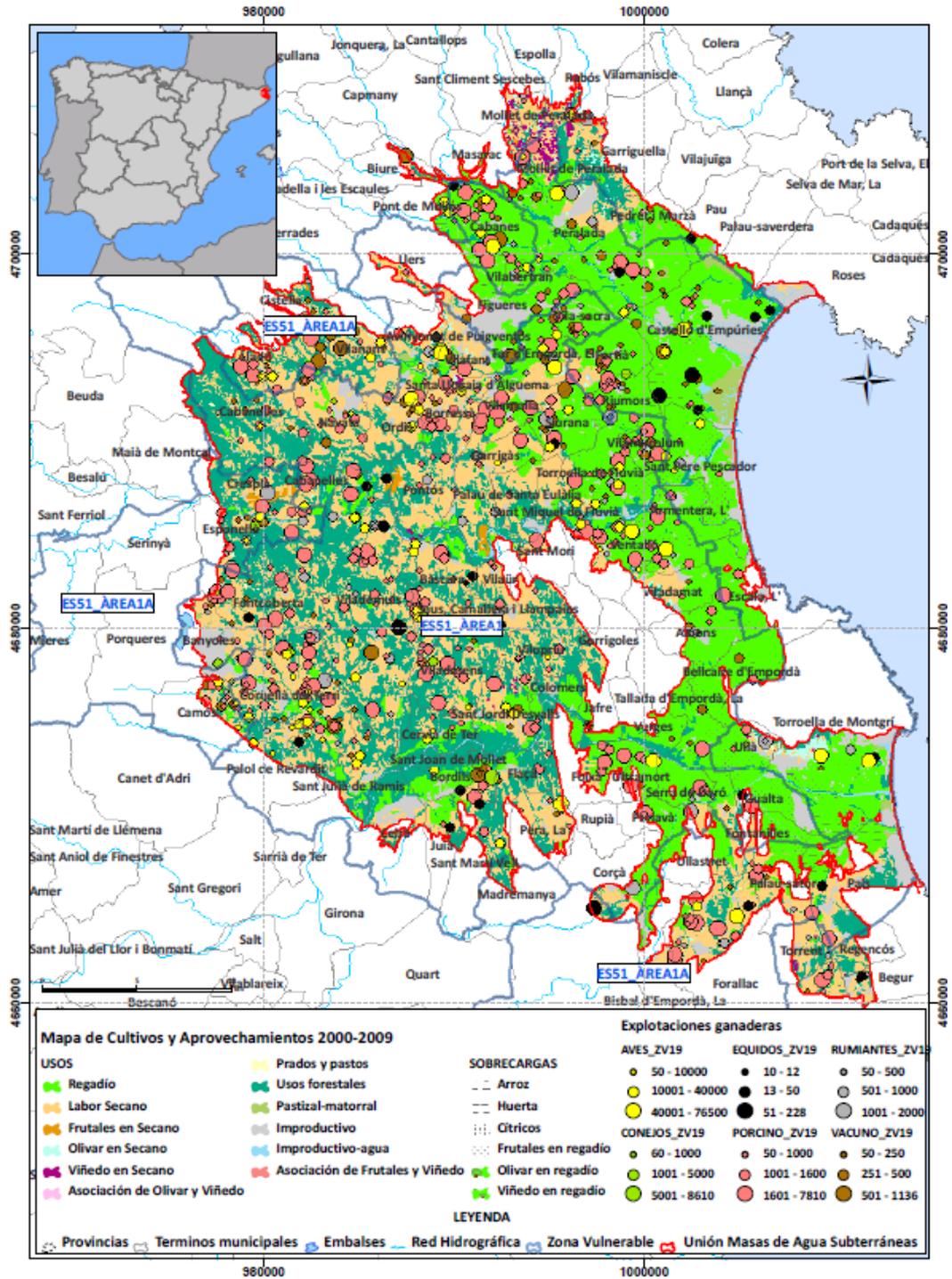


Figura 7.1. Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y localización de explotaciones ganaderas. MASub de la Comarca del Empordà

La superficie agrícola ocupa más del 65 % del total de la zona de estudio, siendo la superficie de regadío (sobre todo cultivos herbáceos) la que presenta mayor importancia, sobre todo en la zona oriental, en las masas de agua del Fluvià-Muga y Delta del Ter. En los últimos años se ha producido una expansión del regadío hacia el interior, sobre superficie que anteriormente era de secano.

Las encuestas realizadas a los agricultores para comprobar la adaptación de la zona al Programa de Actuación reflejan que por lo general se realiza un uso agrícola de las deyecciones procedentes de las explotaciones ganaderas de la zona.

Según las encuestas realizadas, los ganaderos de la zona vulnerable no llevan estiércol a centros de gestión del mismo, sino que se hacen cargo de su propio estiércol. Además afirman tener suficiente superficie acordada para esparcir sus purines o estiércoles y evitar que se acumule.

Los cultivos más frecuentes que suelen recibir estiércol o purín, según los ganaderos, son el maíz, el girasol y el trigo. Según las encuestas agrícolas analizadas, se ha encontrado aplicación de estiércol en los cereales de invierno en general, en el maíz, girasol y alfalfa. Los ganaderos también determinan que la época de aplicación del purín o estiércol suele ser en presiembrado del cultivo.

Se han encontrado muchos casos de aplicación de estiércol en campos de cereal en el mes de agosto, antes de la siembra del cultivo, que coincide con las épocas límite de la prohibición de aplicación de estiércol establecida en el Programa de Actuación para el cultivo de cereales (no permitido de enero a agosto), por lo que la época de abonado orgánico estaría en el límite del cumplimiento del Programa de Actuación.

Según la caracterización geológica e hidrogeológica de la Z.V. de Comarca del Empordà, dentro de las cuatro masas de agua que se incluyen dentro de la misma, hay definidos varios acuíferos que en ocasiones quedan superpuestos unos a otros, dando la existencia de varios horizontes o niveles acuíferos.

Dentro de la **MASub Empordà**, destaca el *Acuífero Neógeno del Empordà*, de edad terciaria y naturaleza detrítica. Sobre éste se sitúan otros acuíferos de menor extensión y más superficiales, tales como el *Aluvial del Fluviá en el sector Esponellà – Sant Miguel* (de naturaleza aluvial), los *Travertinos del Llano de Mata y Aluviales del río Terri*, de naturaleza calcárea, y los *Acuíferos Locales Neógenos de Les Pregavarres* (detríticos).

El flujo predominante en el conjunto de la MASub del Empordà presenta una orientación de componente noreste a este-noreste. No se evidencia en ningún sector la presencia de campos de bombeo relevantes a excepción de los conos locales de bombeo atribuibles a algunas de las captaciones de abastecimiento municipal existentes. La orientación del flujo se condiciona en función de las relaciones de recarga y descarga con los cursos fluviales existentes, así como con la interacción con otras masas de agua subterráneas.

La **MASub Paleógenos del Bajo Ter**, está definida por un conjunto de acuíferos de naturaleza sedimentaria que se enmarcan en el dominio de las unidades geomorfológicas del entorno de la depresión de la fosa del Empordà. Se diferencian 3 acuíferos, el *Acuífero del Bartoniense superior* (detrítico), el *Acuífero de las areniscas ocre del Bartoniense inferior* (detrítico) y el *Acuífero de las calizas Paleógenas de Torrent* (carbonatado).

En la MASub de los Paleógenos del Bajo Ter, al tratarse de una masa de agua constituida por acuíferos independientes, su funcionamiento hidrogeológico difiere según el acuífero.

La **MASub Delta del Ter**, está contenida en las terrazas fluviales 1 y 2 de la red fluvial (ríos Ter y Daró), así como las unidades aluviales asociadas (abanico aluvial de Celrà) en la cubeta de Celrà. Se distinguen 3 unidades acuíferas en base a sus características litológicas y su geometría, que son el *Acuífero superficial*

de la cubeta aluvial de Celrà, el Acuífero superficial del llano aluvial del Bajo Ter y Daró y el Acuífero profundo del llano aluvial del Bajo Ter.

De forma general, la recarga se produce por infiltración directa de lluvia, infiltración desde los ríos Ter y Daró, así como recarga desde el acuífero de los travertinos del Llano de Mata y los aluviales del Terri. También hay recarga desde el acuífero de los detríticos del Bartonense Superior. A nivel regional se observa un flujo general de O a E, según la orientación del curso del Ter, y de S a N según la orientación del Daró. La descarga principal se produce del acuífero superficial hacia el mar. En algunas zonas costeras la piezometría llega a mantenerse de forma continua por debajo del nivel del mar lo que induce a la intrusión marina.

Por último la **MASub Fluvià-Muga**, está contenida en los materiales sedimentarios, equivalentes a las terrazas fluviales 1 y 2, de relleno de las llanuras de los ríos Fluvià y Muga. El conjunto de sedimentos que forman este relleno se agrupan, en 2 principales unidades acuíferas, que son el *Acuífero superficial del llano aluvial del Fluvià y el Muga (libre)* y el *Acuífero profundo del llano aluvial del Fluvià y el Muga (confinado)*.

En conjunto, la recarga natural se produce por: infiltración directa de lluvia, infiltración desde los ríos Fluvià y Muga, recarga desde el acuífero aluvial del río Fluvià y recarga desde el acuífero multicapa de los neógenos del Empordà. La descarga se produce de los acuíferos superficial y profundo hacia el mar. A nivel regional se observa un flujo general de O a E, según la orientación de los cursos superficiales.

Una característica importante en el funcionamiento hidrogeológico dentro del conjunto de la zona vulnerable es que a pesar de la existencia de varios acuíferos en algunas de las masas de agua, como ya se ha explicado, en ocasiones es complejo establecer diferencias de nivel, sobre todo en el área deltaica. El desconocimiento de las zonas filtrantes de los pozos y sondeos, así como la existencia de sondeos profundos ranurados en todos los horizontes, hacen que exista mezcla de niveles.

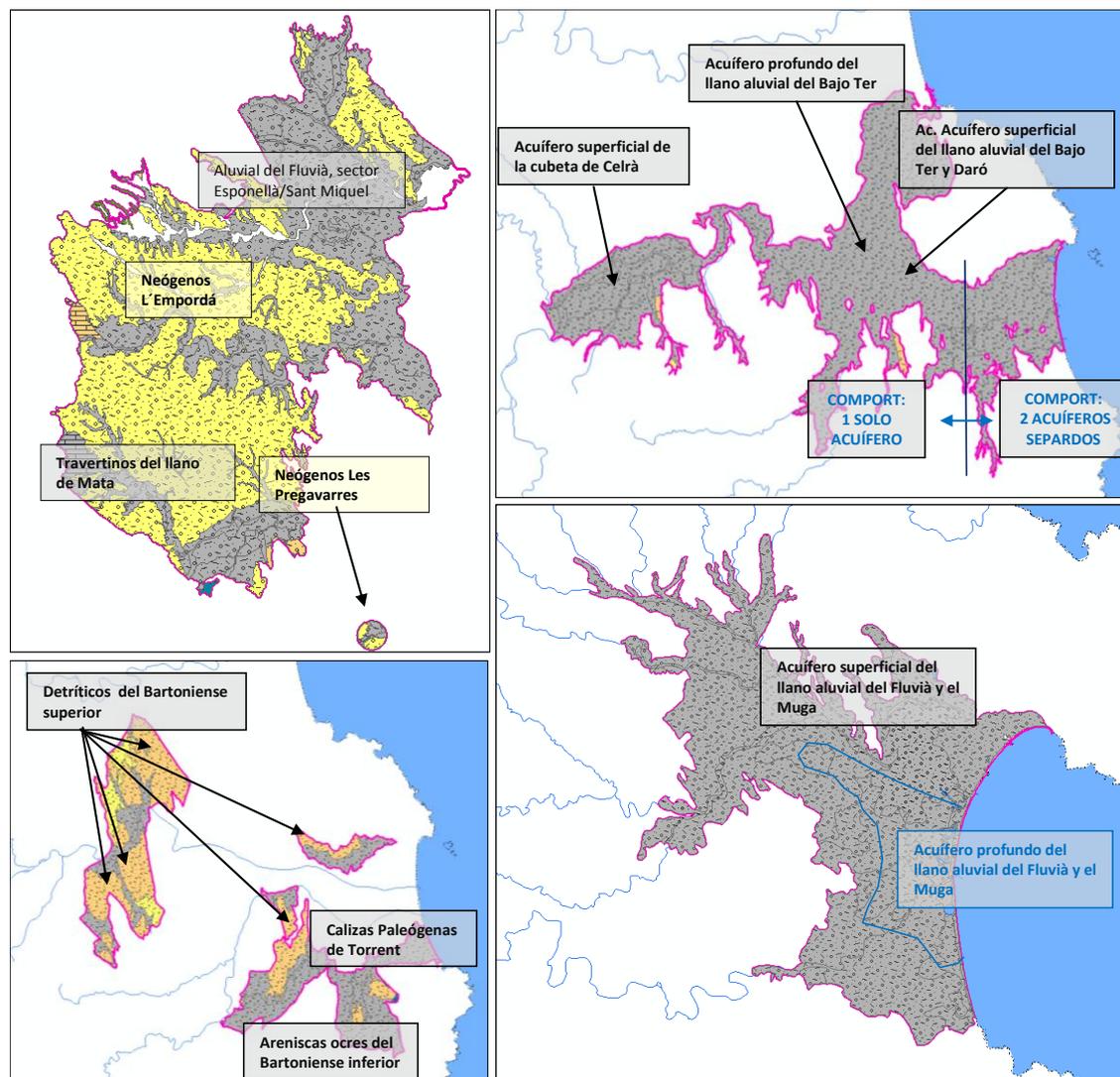


Figura 7.2. Esquema de los acuíferos existentes dentro de las 4 masas de agua subterránea incluidas dentro de la zona vulnerable de la Comarca del Empordà

El estudio de evolución piezométrica realizado refleja distintos comportamientos entre los piezómetros de los distintos acuíferos y masas de agua subterránea. Cabe mencionar que las variaciones estacionales en los acuíferos más superficiales situados sobre todo en las masas del Fluvià-Muga y Bajo Ter, son superiores a las variaciones registradas en los acuíferos terciarios (Neógenos del Empordà o Paleógenos del Bajo Ter).

Según el estudio de evolución contaminación por nitratos realizado a partir de la red de calidad del ACA, el promedio de concentración de nitratos en los distintos acuíferos de la zona vulnerable, por lo general no supera los 50 mg/l, excepto en el acuífero de Travertinos del Llano de Mata cuya concentración de nitratos media se sitúa entre 60 y 90 mg/l. Además, en los acuíferos del Neógeno del Empordà, y el acuífero Superficial del Fluvià-Muga se registra un promedio superior a 50 mg/l en algunos periodos de su registro histórico.

Sin embargo, estudiando la evolución de la concentración de nitrato piezómetro a piezómetro, se comprueba que en la mayoría de los acuíferos existen puntos donde se supera este umbral de 50 mg/l.

En cuanto a la distribución espacial de la contaminación por nitratos, los valores más altos de nitratos se concentran en la zona occidental de la ZV, coincidiendo con la parte suroccidental del acuífero Neógeno del Empordà, así como con los Travertinos del Llano de Mata. También hay algunos valores elevados en la parte alta del acuífero aluvial del Fluvià Muga, sobre todo en la vertiente sur y algo en la Cubeta del Celrà. Por el contrario, parece que toda la zona costera no presenta grandes problemas, salvo puntualmente algunos sondeos.

Como se observa en el mapa de concentración del nitrato en la zona vulnerable, la distribución de la contaminación es irregular, lo cual contrasta las observaciones realizadas en el estudio de evolución de la contaminación. Este carácter puntual de contaminación podría estar relacionado con la gran densidad de actividades ganaderas existentes.

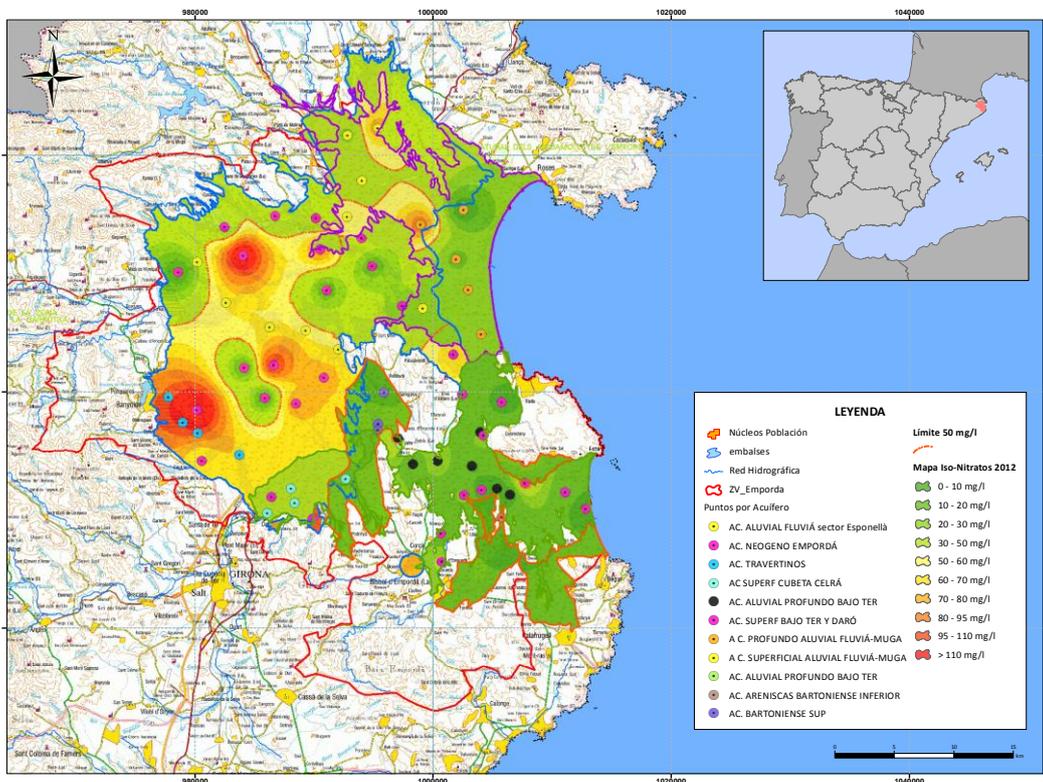


Figura 7.3. Mapa de concentración de nitratos en puntos seleccionados de la red de calidad del ACA para la Z.V. del Empordà

Se ha observado que en algunos de los puntos de calidad del sector central del acuífero de Neógeno del Empordà existe cierta influencia de la piezometría sobre la concentración de nitratos, de manera que cuando baja el nivel piezométrico, también se reduce la concentración de nitratos. Estas tendencias se interpretan como que el nitrato se acumula en la zona no saturada en periodos secos, que posteriormente se removiliza según aumentan los niveles piezométricos de nuevo.

Para corroborar, ampliar y completar estos estudios, se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de la zona vulnerable. La primera de ellas tuvo lugar durante el mes de julio de 2012, mientras que la segunda se llevó a cabo en mayo de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua previamente seleccionados, como de aguas residuales (EDAR), así como diversas muestras sólidas procedentes de fertilizantes orgánicos y minerales.

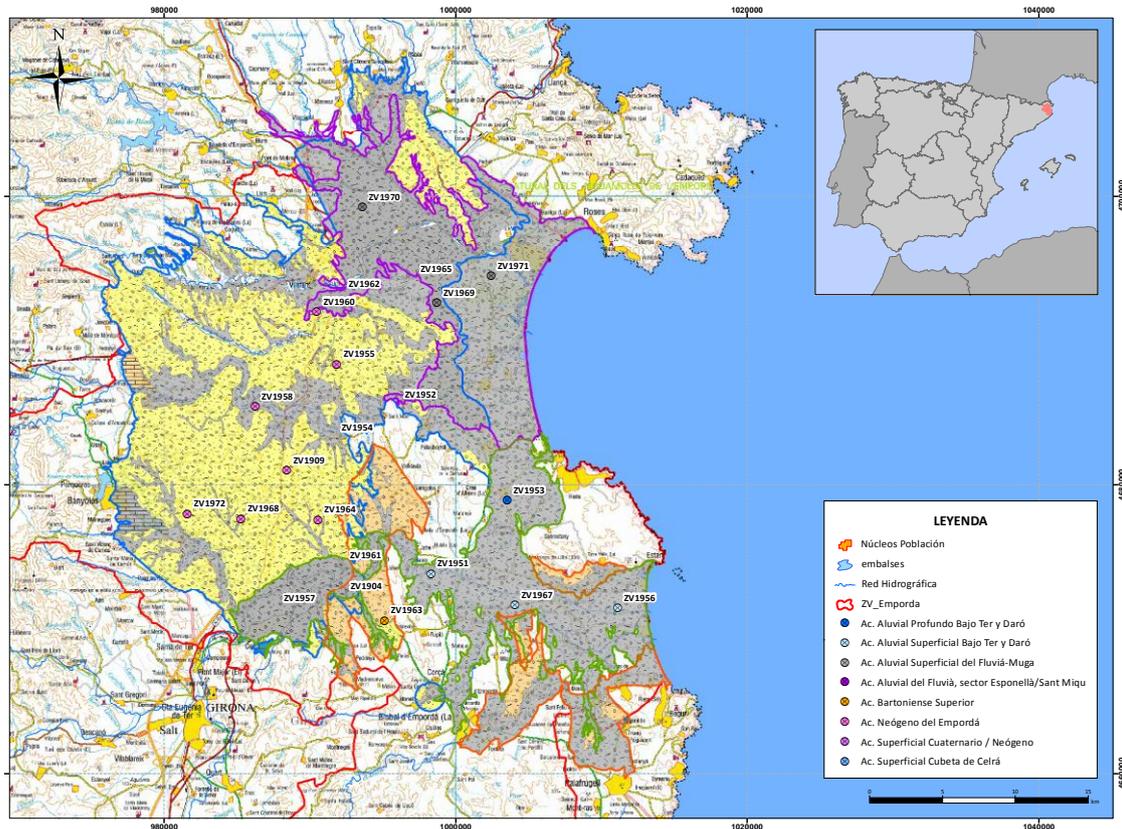


Figura 7.4. Distribución de los puntos de la red de muestreo (julio de 2012 y mayo de 2014) sobre cartografía litoestratigráfica de Z.V. Comarca del Empordà

Respecto al contenido iónico, las aguas en la ZV Comarca del Empordà, cabe resaltar que en los acuíferos terciarios del Neógeno del Empordà y Bartonense superior, se clasifican como aguas bicarbonatadas o bicarbonatadas-cloruradas generalmente cálcicas. Los puntos que caracterizan el resto de acuíferos (aluviales superficiales o profundos en cuencas de los diversos ríos) registran por lo general facies mixtas, con mayor variabilidad en cuanto a su clasificación.

La distribución del contenido en nitratos en ambas campañas es similar, y aunque con menos información que la red de calidad de la Agencia Catalana del Agua, la conclusión es que la distribución de la contaminación es irregular o de carácter localizado.

El estudio isotópico efectuado en esta zona ha determinado que la fuente de contaminación por nitratos tiene múltiples orígenes, principalmente nitrificación del NH_4^+ de los residuos ganaderos (purines), así como fertilizantes minerales amoniacales y de forma más localizada a partir de aguas residuales. Esto concuerda con la distribución de la contaminación observada, la extensión e intensidad de las

explotaciones ganaderas, el alto porcentaje de terreno dedicado a la agricultura, y la existencia de algunos núcleos de población importantes.

Las prácticas agroganaderas son los principales causantes de las concentraciones de nitratos en los distintos acuíferos, ya sea a través de fertilización mineral u orgánica de los campos de cultivo. Con menos representatividad, también se han identificado, problemas de contaminación de aguas con origen en las aguas residuales.

Se constata la existencia de procesos de atenuación natural de la contaminación (desnitrificación), sobre todo en los acuíferos de los aluviales del río Ter, así como, en menor grado, en otros acuíferos (Neógeno del Empordà y Aluviales del Fluviá Muga).

Con respecto a los resultados obtenidos en la campaña realizada en 2009, se ha producido una mayor influencia, en la campaña de 2014, de fertilizantes minerales amoniacales nitrogenados, lo que puede ser interpretado de dos maneras:

- Se están produciendo cambios en las prácticas de abonado (mayor utilización de fertilización mineral en detrimento de la fertilización a través de purines) o bien,
- Se está haciendo un uso más efectivo del purín, o eliminando las malas prácticas de eliminación del mismo.

Teniendo en cuenta que las diferencias en cuanto a concentración de nitratos entre 2009 y 2014, son mínimas, parece que efectivamente hay un cambio hacia fertilización mineral, aunque plantea algunos interrogantes. Para resolver las dudas existentes, se recomienda efectuar un trabajo más específico de análisis e interpretación de los datos, en comparación con las prácticas agroganaderas actuales, y en la medida de lo posible, mejorar la toma de medidas en el futuro añadiendo puntos a la red de muestreo propuesta, que mejoren la densidad de datos en cada acuífero.

CAMPO DE CARTAGENA

La zona vulnerable denominada como “Zona regable oriental del Trasvase Tajo-Segura y el sector litoral del Mar Menor” se incluye dentro de los límites de la MASub del Campo de Cartagena, situándose en el extremo oriental, abarcando desde la línea del canal del trasvase Tajo-Segura hasta el Mar Menor.

El clima es templado de tipo mediterráneo, distinguiéndose dos subtipos agroclimáticos, Mediterráneo subtropical y Mediterráneo marítimo, ambos caracterizados por inviernos sin heladas y veranos muy cálidos. El primero se extiende por toda la franja costera y el segundo ocupa las zonas interiores, donde los veranos son algo más frescos.

La precipitación media anual en la zona se encuentra entre los 250 y los 350 mm, siendo algo superiores en las zonas más cercanas a la costa. Hay que tener en cuenta que las precipitaciones suelen ser torrenciales, por lo que las lluvias se suelen acumular en dos o tres días al mes incluso en los meses más lluviosos. La duración media del periodo seco es superior a los 6 meses, desde mediados de abril a mediados de octubre, extendiéndose en ocasiones hasta noviembre o incluso diciembre.

Un porcentaje muy alto de la superficie de la masa de agua subterránea está dedicada a la agricultura en regadío, mayoritariamente destinada a la producción de cultivos herbáceos (principalmente alcachofa, melón, lechuga, coliflor y brócoli), así como a cítricos y cultivos en invernadero. Cabe mencionar la transformación que ha experimentado la región desde las décadas de los 80 y 90, cuando la mayor parte de las labores agrícolas eran de secano, hasta la actualidad, con una agricultura intensiva, altamente tecnificada y muy productiva en la que predomina el uso del regadío (generalmente por goteo).

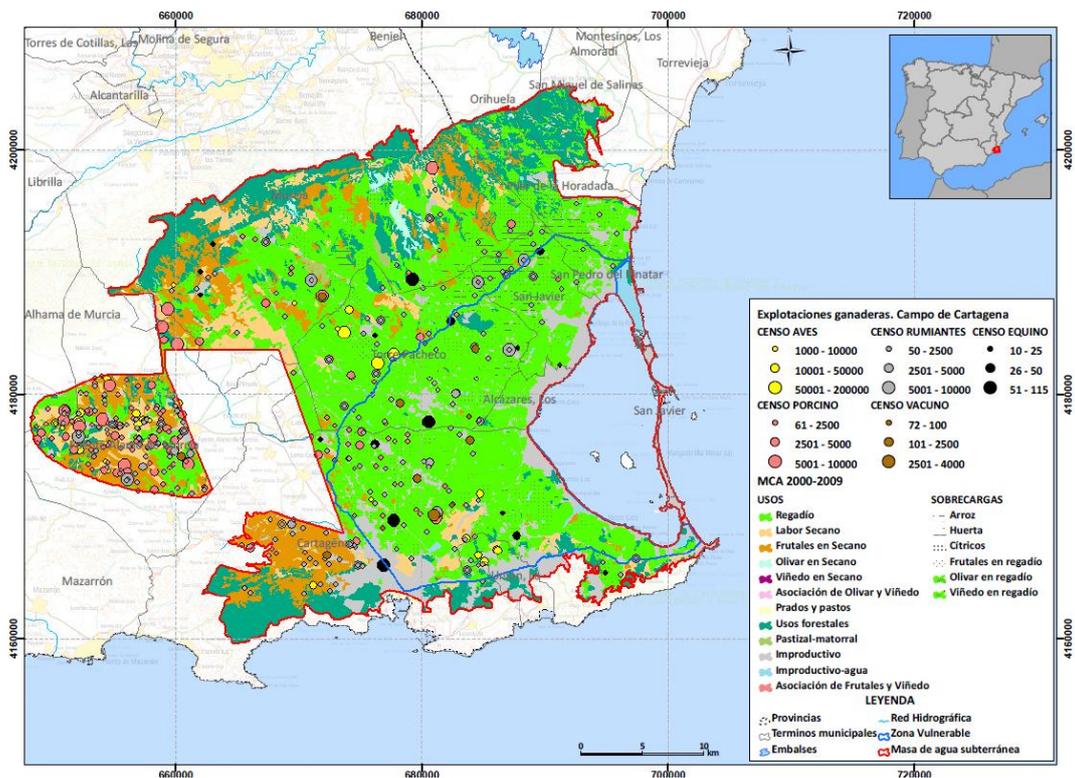


Figura 7.1. Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y localización de las principales explotaciones ganaderas. Campo de Cartagena

Las encuestas realizadas para comprobar la adaptación de los agricultores de la zona al Programa de Actuación reflejan que por lo general se realiza un uso agrícola de las deyecciones procedentes de las explotaciones ganaderas de la zona. También se deduce que las prácticas de fertilización destacan por el uso de abonos minerales y orgánicos para un mismo cultivo, sobre todo en los cultivos hortícolas, frutales y cítricos de la zona, no sucediendo lo mismo para los cultivos herbáceos en secano donde, siempre según las encuestas realizadas, es más frecuente emplear sólo abonado orgánico o incluso no fertilizar. Se ha constatado también que la fertilización mineral se realiza habitualmente mediante fertirrigación.

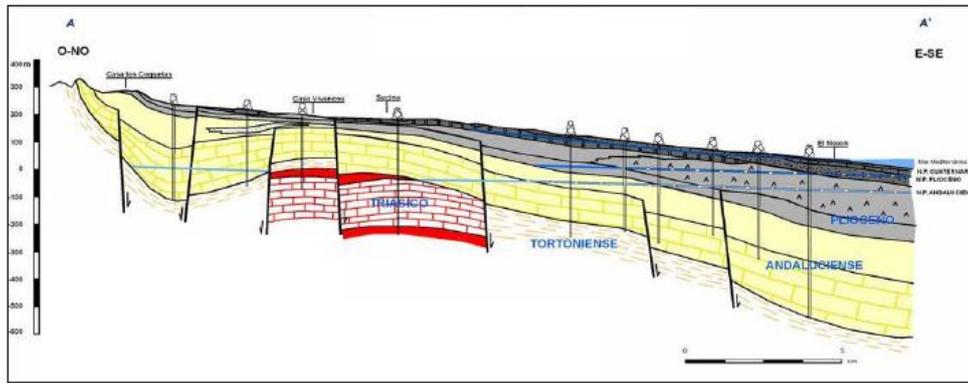
Llama la atención el incumplimiento generalizado del Programa de Actuación, sobre todo en lo referente al tipo de abono mineral empleado (empleo de abonos ureicos que no están permitidos), así como en el exceso de las dosis empleadas de abonado orgánico respecto a los límites establecidos.

Según la caracterización geológica e hidrogeológica del Campo de Cartagena, la masa de agua se comporta como un sistema acuífero multicapa, constituido por una serie de formaciones acuíferas superpuestas entre sí y, en mayor o menor medida, separadas por tramos de litologías impermeables.

Desde el punto de vista hidrogeológico se distinguen cuatro formaciones acuíferas (Tortonense, Messiniense, Pliocena y Cuaternaria) separadas por niveles de baja permeabilidad y una quinta formación de edad Permo-Triásica. Las cuatro primeras formaciones conforman a grandes rasgos un sistema acuífero multicapa cuyo sustrato impermeable corresponde al zócalo Mesozoico y Paleozoico, constituido por materiales metapelíticos, representativos de las zonas Internas Béticas.

- Formación acuífera Permo-Triásica: constituida por materiales carbonatados. Sus límites, comportamiento hidrogeológico y relaciones hidráulicas con las otras formaciones acuíferas no son del todo claras debido a la repetición tectónica de las unidades triásicas y la similitud de facies que presentan.
- Formación acuífera Tortonense: está formada por conglomerados poligénicos y areniscas, con potencias que oscilan entre los 150 y 200 m. Se encuentra situado sobre formaciones margosas impermeables del Terciario (Mioceno).
- Formación acuífera Messiniense: se compone principalmente de calizas bioclásticas, areniscas y arenas. La base está formada por margas de edad Tortonense y el techo por margas messinienses, ambas de carácter impermeable.
- Formación acuífera Pliocena: está constituida por depósitos de arenas de hasta 110 m de potencia, limitados en su base por los depósitos de margas de edad Messiniense y, en su techo, por depósitos margosos pliocenos.
- Formación acuífera Cuaternaria: formada por gravas, arenas, limos, arcillas y caliches. Los materiales cuaternarios presentan espesores de hasta 150 m y están situados sobre las margas pliocenas que actúan como base impermeable.

Una característica importante en el funcionamiento hidrogeológico es que dada su compleja estructura tectónica interna, en ciertas zonas se produce una conexión hidráulica entre acuíferos, acrecentada por la acción antrópica, ya que en ocasiones dicha conexión se efectúa a través de sondeos que captan varios acuíferos.



Aquifer/layer	Geological material	Total surface	Outcropping surface
Quaternary	Alluvium	1135 km ²	1135 km ²
Pliocene	Sandstone	817 km ²	22 km ²
Messinian (=Andalucian)	Sandstone, Sand, Clays (North) Bioclastic limestone (South)	570 km ²	28 km ²
Tortonian	Conglomerates and Sandstone	43 km ² (?)	25 km ²
Triassic	Marble	101 km ²	1 km ²

Figura 7.2. Corte geológico esquemático con las formaciones acuíferas del Campo de Cartagena. Fuente: Presentación “Acuíferos asociados a las lagunas costeras. Campo de Cartagena y Mar menor” de J.L García Aróstegui et al. 2011

Teniendo en cuenta la distribución de los acuíferos con respecto a la zona vulnerable y la cantidad de información hidrogeológica disponible, el presente estudio se enfoca principalmente en los acuíferos más superficiales (Cuaternario, Plioceno y Messiniense).

Por lo general, en los dos acuíferos más superficiales el flujo de agua subterránea discurre perpendicularmente a la línea de costa, desde el oeste de la zona vulnerable hacia el Mar Menor (o Mediterráneo en el sector norte). El gradiente hidráulico es reducido y el flujo de agua se ve modificado por las abundantes extracciones existentes. Los niveles piezométricos entre los distintos acuíferos presentan algunas diferencias si bien, en algunas ocasiones, existe mezcla de aguas debido a la conexión hidráulica comentada anteriormente.

El estudio de evolución piezométrica refleja una recuperación de niveles en todos los acuíferos con la llegada del trasvase en los años 80 y hasta la década de los 90. A partir de entonces existe un descenso continuado, sobre todo en los acuíferos más explotados (Messiniense y Plioceno principalmente), que se intensifica en periodos de sequías tales como la de mediados de los 90 y mediados de la década del 2000.

Los resultados obtenidos del estudio de contaminación por nitratos a partir de las redes oficiales de calidad reflejan una concentración media muy elevada, que supera los 100 mg/l en un porcentaje muy alto de los puntos muestreados en dicha red, con valores que exceden puntualmente los 300 mg/l.

En cuanto a la distribución espacial de la contaminación por nitratos, ambos acuíferos presentan cierta conexión hidráulica (natural o antrópica) por lo que las conclusiones al respecto se realizan conjuntamente. Dicha contaminación es creciente desde el límite occidental de la zona vulnerable (canal del Trasvase Tajo-Segura) hacia el Mar Menor, siguiendo el flujo de agua subterránea.

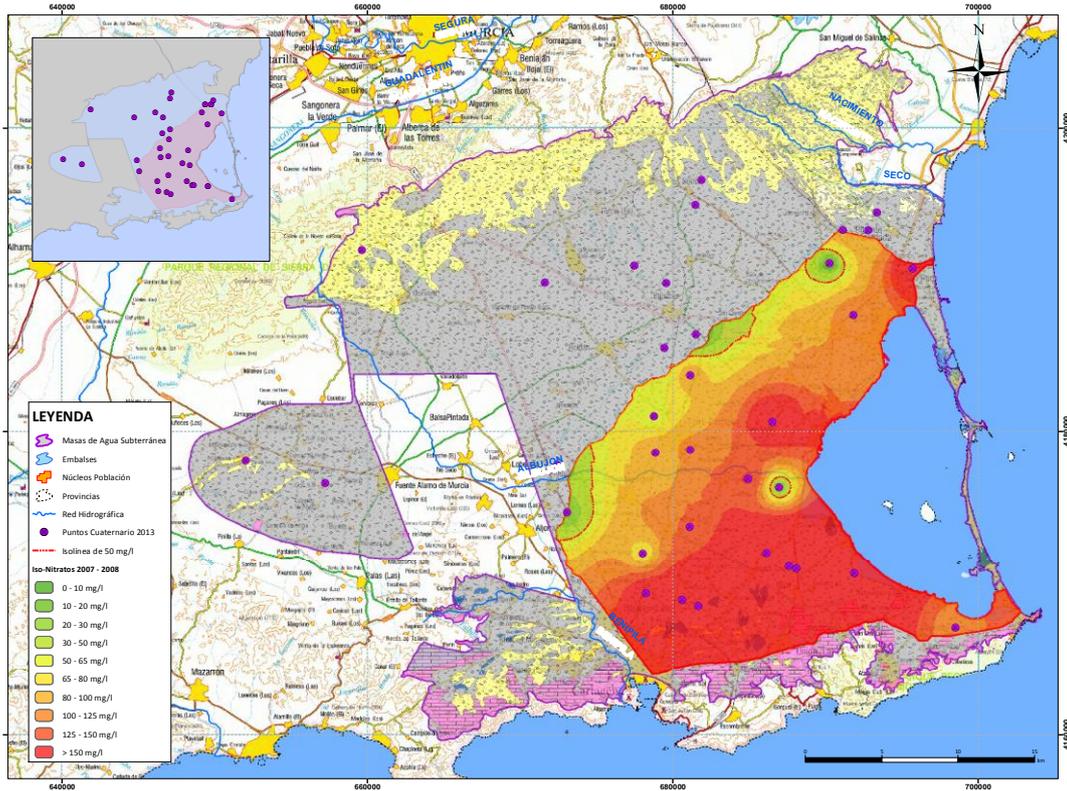


Figura 7.3. Mapa de concentración de nitratos en puntos de la red de calidad. Promedio nitratos años 2007-2008

Para corroborar, ampliar y completar estos estudios, se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de la zona vulnerable. La primera de ellas tuvo lugar durante el mes de abril de 2013, mientras que la segunda se llevó a cabo en julio de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua previamente seleccionados, como de aguas residuales (EDAR), así como diversas muestras sólidas procedentes de fertilizantes orgánicos y minerales.

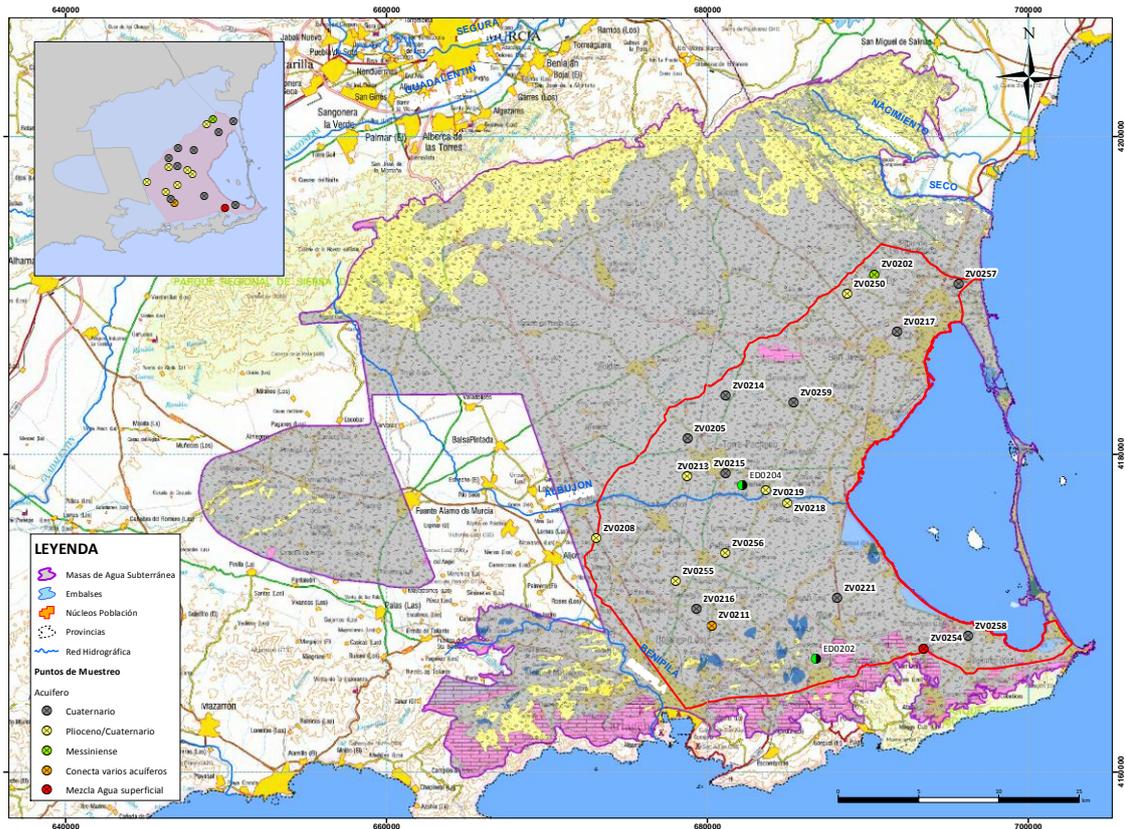


Figura 7.4. Situación de los puntos de la red de muestreo (abril de 2013 y julio de 2014) de la Z. V. del Campo de Cartagena sobre cartografía litoestratigráfica de la MASub

Las facies de las aguas subterráneas son mayoritariamente cloruradas o cloruradas-sulfatadas, predominantemente sódicas y sin apenas distinción entre los acuíferos anteriormente descritos.

Respecto a la concentración en nitratos, los resultados obtenidos en las campañas propias corroboran la distribución obtenida mediante la red de calidad, con un incremento de la concentración desde la línea del canal de trasvase hasta el Mar Menor, siguiendo el flujo subterráneo. Cabe mencionar que tanto el promedio de nitrato como los valores de concentración máximos son ligeramente más reducidos en las campañas de 2013 y 2014 que los datos obtenidos de las redes de calidad oficiales (promedio 2007/2008).

Una hipótesis para esta distribución de la contaminación es que las explotaciones agrícolas situadas más cerca del canal del Trasvase Tajo-Segura riegan con agua superficial procedente del mismo (agua con escaso contenido en nitratos), mientras que a medida que nos alejamos del canal, el regadío se efectúa principalmente a partir de aguas subterráneas.

Debido a la interconexión entre acuíferos, la contaminación por nitratos se ha extendido a los acuíferos inferiores, tanto de forma natural en los puntos de conexión hidráulica como debido a la inadecuada construcción de sondeos de explotación en toda la región.

El estudio isotópico realizado en la zona vulnerable del Campo de Cartagena ha podido identificar el origen del nitrato en la mayoría de las muestras estudiadas. El aporte principal del nitrato tendría un origen ligado a los fertilizantes químicos, en concreto a la nitrificación de fertilizantes amoniacales, aunque en cuatro de las muestras se ha detectado influencia de residuos ganaderos y/o aguas residuales.

Los datos de composición isotópica del sulfato disuelto han permitido identificar la existencia de intrusión marina en varias muestras y confirmar la contribución de fertilizantes sintéticos, además se ha podido identificar la influencia de sulfato de origen minero en algunas muestras (claramente en el punto ZV0221 y una contribución superior al 50 % en el punto ZV0258).

Por lo general no se dan procesos de desnitrificación, únicamente se han observado en una muestra (ZV0202), que coincide con un punto representativo del acuífero Messiniense. Ni química ni isotópicamente ha sido posible identificar el donador de electrones en esta reacción.

La evolución temporal de los resultados químicos e isotópicos entre las campañas realizadas en 2009 y 2014 muestra la existencia de variabilidad en la concentración en nitrato y menor variación en la composición isotópica. Las diferencias en la concentración de NO_3^- entre ambas fechas pueden ser producidas por un cambio en las dosificaciones de N o en los retornos de riego.

Por lo tanto, observando la extensión e intensidad del regadío de la zona vulnerable, la distribución de la contaminación por nitratos, y los resultados obtenidos en el estudio hidroquímico e isotópico, se puede concluir que el principal origen de la contaminación está relacionado con la agricultura, concretamente en la aplicación de fertilizantes inorgánicos en los cultivos aunque existe cierta influencia (más localizada) de residuos ganaderos y/o aguas residuales como demuestran los resultados isotópicos de algunas muestras.

GUADALHORCE

Las zonas vulnerables Vega de Antequera, Cuenca del embalse de Guadalteba y la Zona de Bajo Guadalhorce se emplazan dentro de la Cuenca de Guadalhorce, en la provincia de Málaga en su mayor parte, así como en las de Sevilla y Córdoba.

Estas zonas vulnerables abarcan casi la totalidad de las masas de agua subterránea Llanos de Antequera-Vega de Archidona, Sierra de Teba-Almargen-Campillos y Bajo Guadalhorce definidas en la Cuenca Mediterránea Andaluza.

La zona vulnerable de Guadalhorce presenta un clima templado de tipo mediterráneo, en el que se distinguen dos subtipos agroclimáticos: Mediterráneo subtropical (en el tercio norte de la masa de agua Llanos de Antequera-Vega de Archidona y zona costera de la masa Bajo Guadalhorce) y Mediterráneo marítimo. Este último ocupa la mayoría de la superficie de las tres masas comprendidas en esta zona de estudio.

En esta zona, en general, los inviernos son suaves y los veranos cálidos, siendo éstos más fríos en el subtipo mediterráneo marítimo. Las precipitaciones invernales son superiores a las primaverales.

El período seco se da a partir de junio y se prolonga hasta mediados de octubre. Por lo que la duración media en la zona es de cuatro meses y medio, si bien hay alguna estación con un período algo menor, finalizando el período a finales de septiembre.

La caracterización agronómica refleja que dos de las MASub de la Cuenca del Guadalhorce, Llanos de Antequera-Vega de Archidona y Bajo Guadalhorce, se caracterizan por la presencia del regadío como uso mayoritario del suelo. Por el contrario, el uso predominante en la MASub Sierra de Teba-Almargen-Campillos es la agricultura de secano.

Dentro de la masa de agua Llanos de Antequera-Vega de Archidona el regadío (principalmente herbáceos y olivares) se extiende por toda la zona central y suroeste de la masa de agua en el término municipal de Antequera, y una zona al sur del municipio de Archidona y fuera de la zona vulnerable.

La mayor parte de la superficie de la Masub Bajo Guadalhorce, está dedicada a los cultivos en regadío, que se extienden por toda la masa de agua a excepción de la zona más oriental, la cual está ocupada por superficie improductiva, que se corresponde con el núcleo urbano y alrededores de la ciudad de Málaga. Los cultivos predominantes son los cítricos, naranjos, mandarinos y limoneros, salpicados por cultivos herbáceos, huertas y olivares.

En la masa de agua Sierra de Teba-Almargen-Campillos, la mayor parte de la superficie se dedica a los cultivos en secano, mayoritariamente herbáceos salpicados por olivares. La zona situada al sureste de esta masa de agua, fuera de la zona vulnerable, está ocupada por superficie forestal. En esta masa de agua el regadío es prácticamente inexistente.

Respecto a la ganadería existente dentro de las tres masas de agua, es en la de Sierra de Teba-Almargen-Campillos donde se concentran las explotaciones avícolas y porcinas con mayor censo. Las explotaciones de rumiantes y équidos se encuentran en las tres MASub, al igual que las explotaciones de ganado vacuno, aunque éste es el menos representativo en la zona de estudio.

La figura siguiente muestra el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y las principales explotaciones ganaderas en esta zona de estudio.

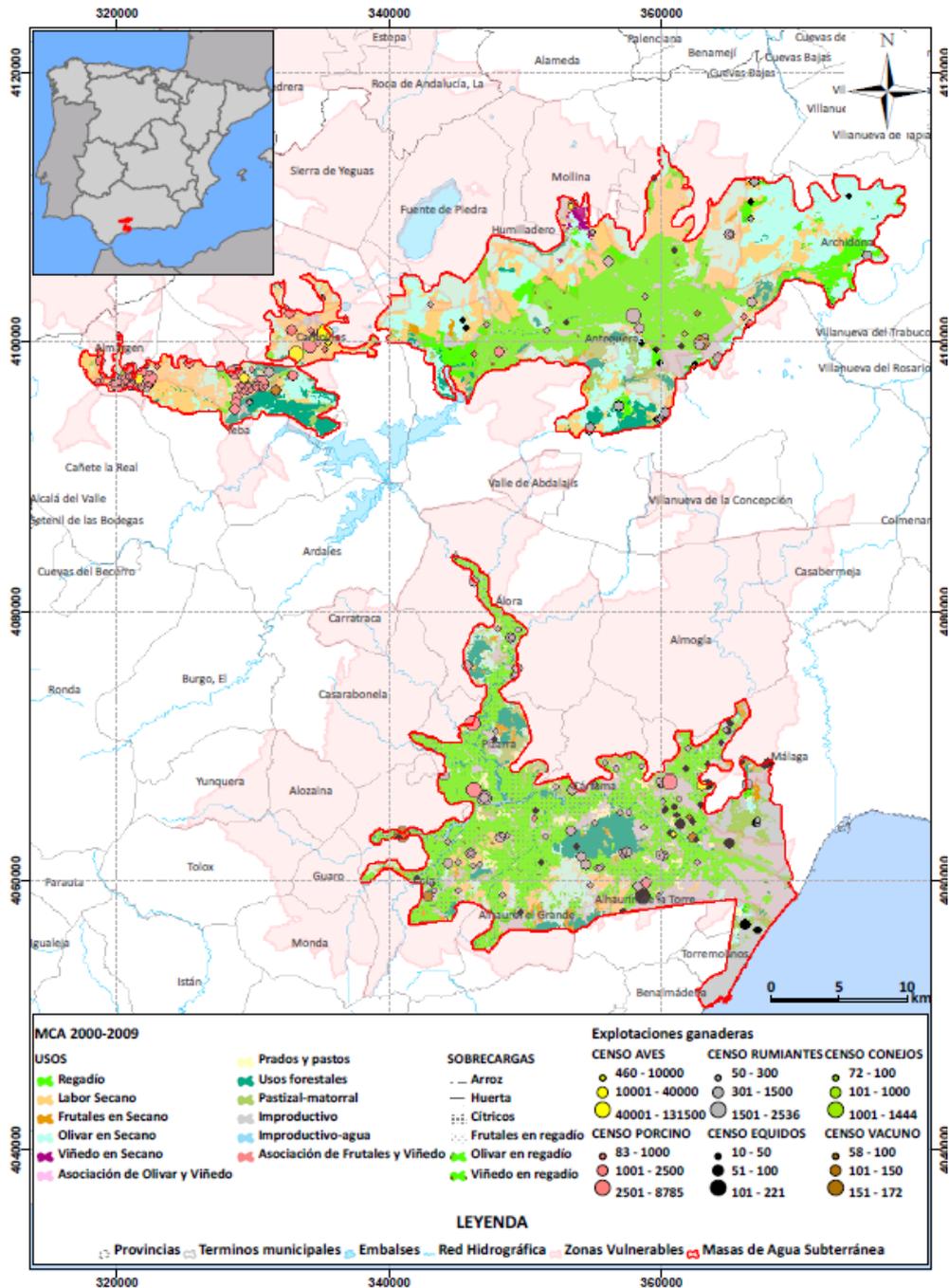


Figura 7.1. Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y localización de las principales explotaciones ganaderas. ZV. Cuenca del Guadalhorce

Las encuestas realizadas para comprobar la adaptación de los agricultores de la zona al Programa de Actuación han determinado que las prácticas de fertilización de la Cuenca del Guadalhorce se caracterizan por no utilizar abono orgánico en ninguno de los cultivos encuestados, siendo la práctica más habitual el uso de sólo abono mineral. En observaciones de campo en la MASub Sierra de Teba, que es donde se localiza el mayor censo porcino, se ha determinado que el uso de purines tiene un uso secundario, aplicaciones sujetas a las necesidades de vaciado de las balsas, sin dosis definidas.

Se observa mucha variabilidad en el cumplimiento del Programa de Actuación de Andalucía, no habiendo un comportamiento común para cada cultivo en cuanto al cumplimiento del Programa, sino que éste depende de cada agricultor. Todos los cultivos importantes de la Cuenca del Guadalhorce se ven afectados por el incumplimiento del Programa de Actuación en mayor o menor medida.

La caracterización geológica e hidrogeológica difiere de una MASub a otra, puesto que son MASub diferenciadas, no contiguas, con características estructurales y morfogénicas diferenciadas.

a. Masa de Agua subterránea Llanos de Antequera-Vega de Archidona

Se distinguen dos acuíferos en esta masa de agua, ambos desconectados entre sí. El primero y más importante es el que da nombre a la MASub. Está constituido por materiales cuaternarios y en él se diferencian dos sectores: por un lado las *Vegas de Antequera y Bobadilla*, y por otro, la *Vega de Archidona*. Ambos sectores están separados por un estrechamiento en el aluvial, que no supone desconexión hidráulica entre ellos. Los sedimentos cuaternarios de pie de monte están conectados, hidrogeológicamente con los depósitos aluviales y éstos, a su vez, están en continuidad hidrogeológica con las calcarenitas del Mioceno.

El segundo acuífero es el denominado acuífero de La Magdalena. Este aflora al suroeste de Antequera, y está formado por depósitos miocenos y conglomerados pliocenos y depósitos de pie de monte cuaternarios que hay al norte de la Sierra Chimenea.

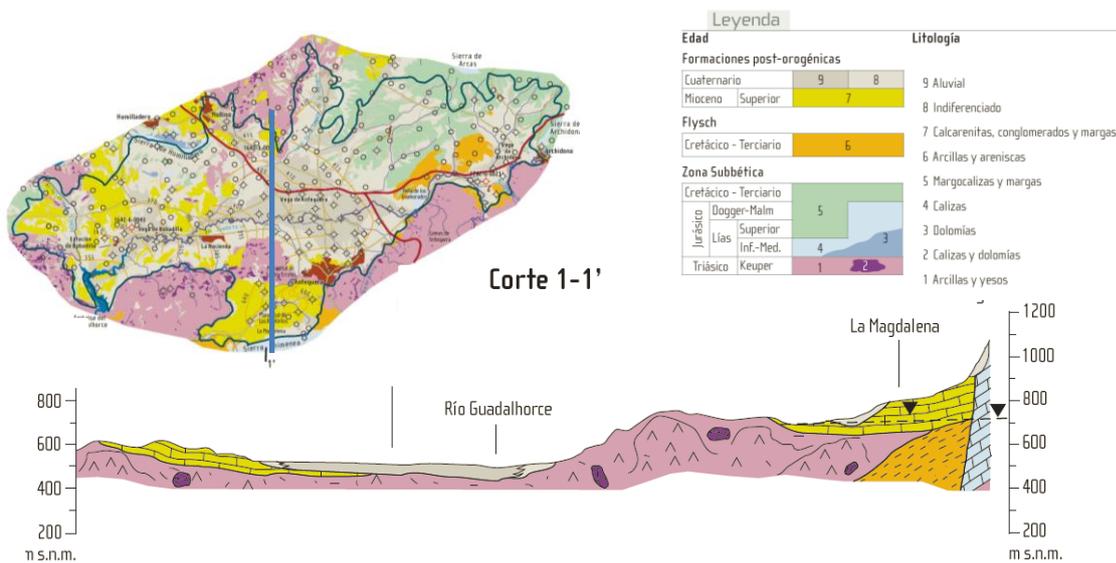


Figura 7.1. Litología y corte geológico de la Masa de Agua subterránea Llanos de Antequera-Vega de Archidona. Fuente: Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga

La recarga al acuífero cuaternario se producen fundamentalmente por infiltración de agua de lluvia, de retornos de riegos y procedente del Río de la Villa y de las residuales depuradas de Antequera,

eventualmente también del Río Guadalhorce. La descarga natural es hacia la red fluvial del río Guadalhorce.

La superficie piezométrica de este acuífero muestra la existencia de un flujo general desde el este hacia el oeste, de acuerdo con el sentido de flujo del Río Guadalhorce, que constituye el eje de drenaje de la masa de agua subterránea. Desde la Peña de los Enamorados hasta su llegada al embalse del Guadalhorce; existe una descarga de agua significativa desde el acuífero al río, fundamentalmente en el sector más occidental de la Vega de Antequera. Pese a ello no puede descartarse que, en periodos húmedos, cuando el río se encuentra en crecida, se pueda dar el proceso inverso, es decir, una descarga de agua desde el río al acuífero.

El estudio de evoluciones piezométricas realizado para esta MASub, muestra cómo el nivel refleja los ciclos extractivos en las zonas de riego. Estas extracciones se hacen más intensas en el área norte de la vega (P06.33.106-B), y se suavizan a medida que se avanza en el curso del río Guadalhorce.

b. Masa de agua Sierra de Teba-Almargen-Campillos

En esta MASub se distinguen tres acuíferos: Acuífero Carbonatado Jurásico de la Sierra de Teba, Acuífero Mioceno y Acuífero Cuaternario.

El acuífero carbonatado jurásico es un acuífero libre, aunque está confinado en algunas zonas. Su límite inferior debe estar formado por los materiales arcilloso-evaporíticos triásicos. La alimentación de este acuífero se produce por infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos y por infiltración desde el Río de la Venta. La descarga natural se produce por el manantial de Torrox, situado al sur de las sierras.

El acuífero mioceno lo constituyen los afloramientos de materiales miocenos existentes al norte de las Sierras de Teba y Peñarrubia entre los que existe comunicación hidrogeológica. Estos materiales se recargan a través de la infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial y por aportación desde acuíferos adyacentes. La descarga se realiza a través de manantiales y mediante drenaje difuso hacia los cursos de agua o hacia el acuífero carbonatado jurásico.

Por último, el acuífero cuaternario está formado por los sedimentos ubicados en los Llanos de Almargen y en los de Campillos. En el primero la recarga se produce por infiltración de agua de lluvia y del río y por alimentación lateral desde la Sierra de Cañete, y en el segundo la recarga se produce por infiltración del agua de lluvia.

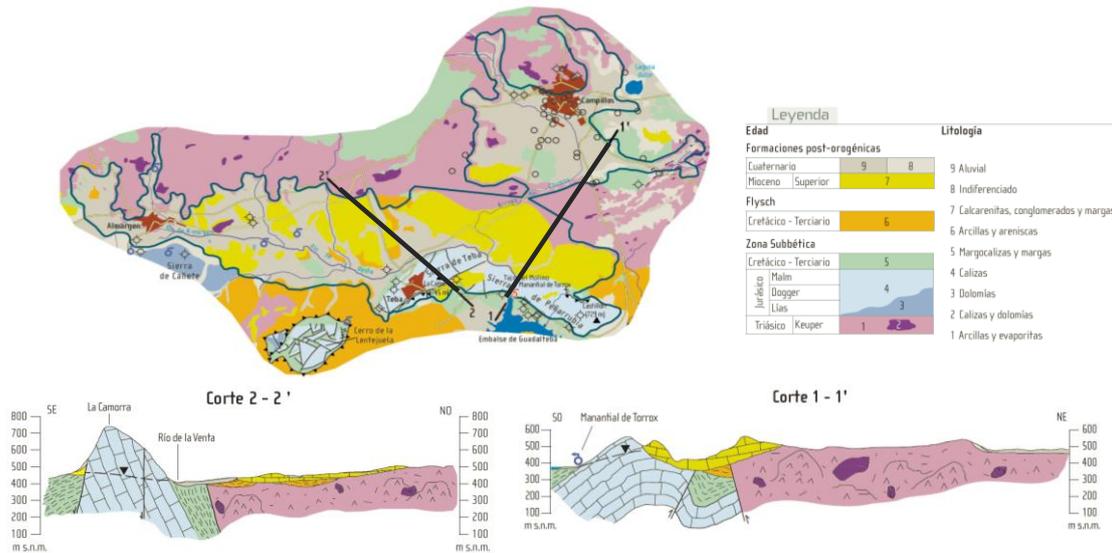


Figura 7.2 Litología y cortes geológicos de la Masa de Agua subterránea Sierra de Teba-Almargen-Campillos. Fuente: Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga

c. Masa de agua Bajo Guadalhorce

Se distinguen en esta MASub cuatro formaciones acuíferas principales: El acuífero mioceno formado por calcarenitas y conglomerados del Mioceno Superior, el acuífero inferior plioceno, constituido por los conglomerados de la base de la formación pliocena, el acuífero superior plioceno, formado por intercalaciones arenosas de la parte alta de la serie margosa del Plioceno, y el acuífero cuaternario aluvial del Río Guadalhorce. El estudio realizado en el marco de este proyecto, se ha centrado en este último acuífero.

Las recargas se producen por infiltración del agua de lluvia y de retorno de regadíos, así como por recargas laterales de acuíferos detríticos aluviales y de la Sierra de Mijas. Las recuperaciones del nivel del acuífero cuaternario se producen de forma rápida, lo que indica infiltración rápida desde el río hacia el acuífero aluvial y, por tanto, una buena conexión hidráulica entre ambos. En sondeos alejados del eje del río, hacia los bordes de la cuenca, las evoluciones piezométricas son más suaves y lentas, y los efectos de las recargas y extracciones se prolongan durante periodos de tiempo mayores que en los piezómetros próximos al río.

En una situación de aguas altas existe un flujo subterráneo hacia el mar, lugar al que se dirige toda la descarga natural del sistema, y también hay descarga hacia el cauce del Río Guadalhorce (río ganador) en el tramo de la desembocadura. En periodos de estiaje las cotas piezométricas del acuífero aluvial llegan a ser negativas en zonas próximas a la costa donde existen bombeos. Se produce una intrusión marina más acentuada en la margen izquierda del río. Este proceso es reversible durante las épocas de recarga.

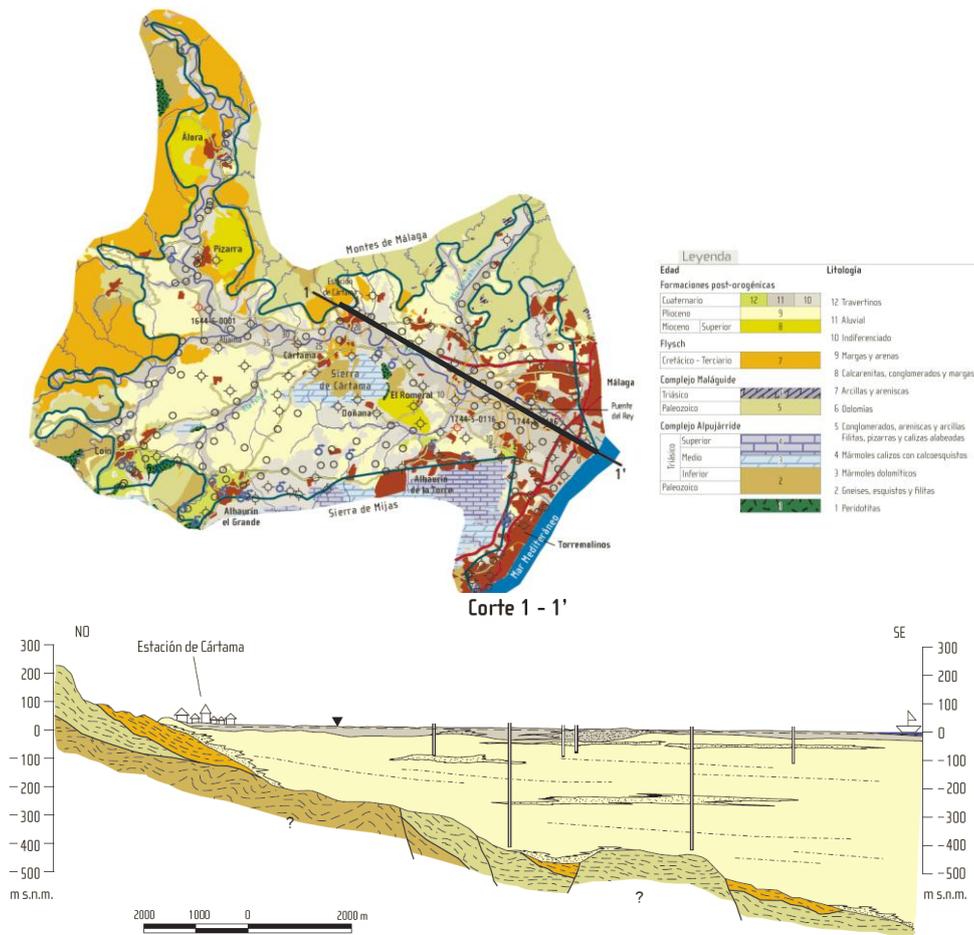


Figura 7.3 Litología y cortes geológicos de la MASub Bajo Guadalhorce. Fuente: Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga

A partir del estudio de evoluciones piezométricas realizado a partir de la red oficial de la Cuenca Mediterránea Andaluza, se ha podido comprobar distintas tendencias evolutivas. Al norte del acuífero aluvial, apenas se registran variaciones piezométricas, y a medida que nos desplazamos aguas abajo por el aluvial, se empieza a notar la influencia de las extracciones en el nivel piezométrico, apreciándose en estos ciclos la rápida recuperación de los niveles tras los periodos extractivos. Los piezómetros más cercanos a la línea de costa registran unas cotas piezométricas por debajo del nivel del mar.

Respecto a los resultados obtenidos del estudio de contaminación por nitratos a partir de las redes oficiales de calidad, en la MASub Llanos de Antequera-Vega de Archidona se ha determinado una concentración media de nitratos, para la fecha de mayo-junio de 2012, de 77 mg/l en el sector del acuífero cuaternario de la Vega de Antequera y Bobadilla, aunque en el estudio de la evolución de los nitratos desde 2002 hasta 2012 se observa un amplio rango de variación de las concentraciones en este sector.

El acuífero carbonatado de la MASub Sierra de Teba muestra unas concentraciones inferiores a 40 mg/l, las cuales se mantienen constantes sin apenas variaciones en el tiempo. Por otra parte, el acuífero cuaternario y/o mioceno, presenta concentraciones muy superiores a los 100 mg/l (hasta 225 mg/l).

En la MASub Bajo Guadalhorce el contenido medio de nitratos para el acuífero aluvial cuaternario del río Guadalhorce en mayo-junio de 2012 es de 41 mg/l, estando las mayores concentraciones en el área más cercana a la línea de costa, aunque no es generalizado encontrándose concentraciones reducidas.

Como muestra la figura 7.4, las mayores concentraciones medias de nitratos se registran en la MASub Llanos de Antequera-Vega de Archidona mientras que el promedio anual más bajo se encuentra en el acuífero carbonatado de la Masa de agua Sierra de Teba-almargen-Campillos.

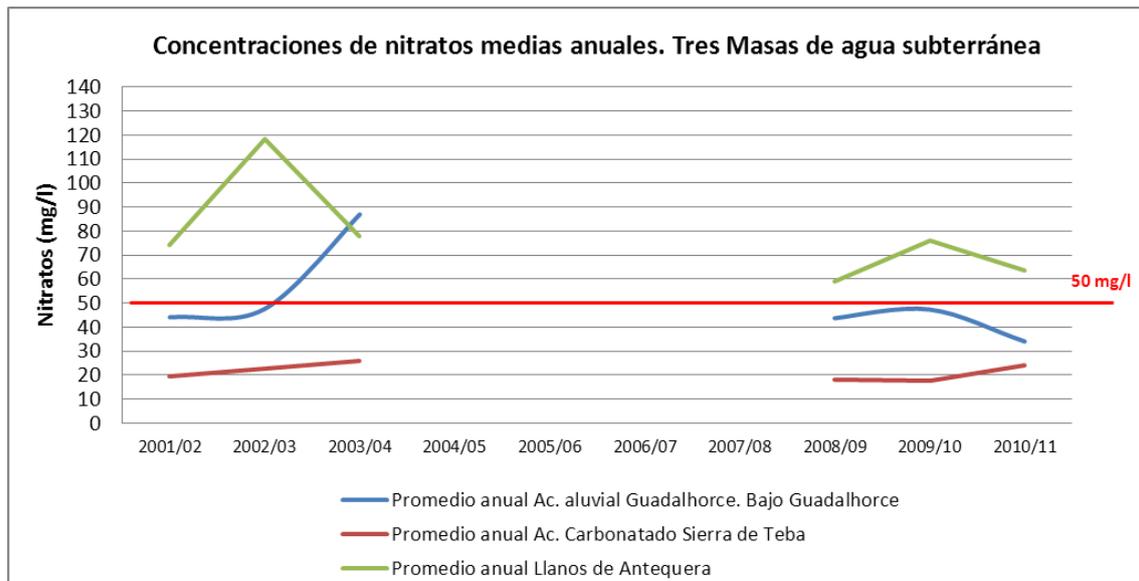


Figura 7.4. Nitratos medios anuales en las tres MASub. Periodo 2001/02-2010/11

En el estudio comparativo de los nitratos con la pluviometría, se ha apreciado una relación entre ambas variables. En la MASub Llanos de Antequera-Vega de Archidona, en el sector del acuífero cuaternario de la Vega de Antequera y Bobadilla, se registra un aumento de las concentraciones de nitratos tras periodos de lluvia destacables, posiblemente debido al proceso de lavado y lixiviación del nitrato retenido en el suelo. Este mismo comportamiento se observa también en el acuífero cuaternario aluvial de la MASub Bajo Guadalhorce.

Para corroborar, ampliar y completar estos estudios, se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de las zonas vulnerables. La primera de ellas tuvo lugar durante el mes de junio de 2013, mientras que la segunda se llevó a cabo en julio de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua previamente seleccionados, como de aguas residuales (EDAR) o colectores. En la siguiente figura se muestra la distribución de estos puntos en las tres MASub.

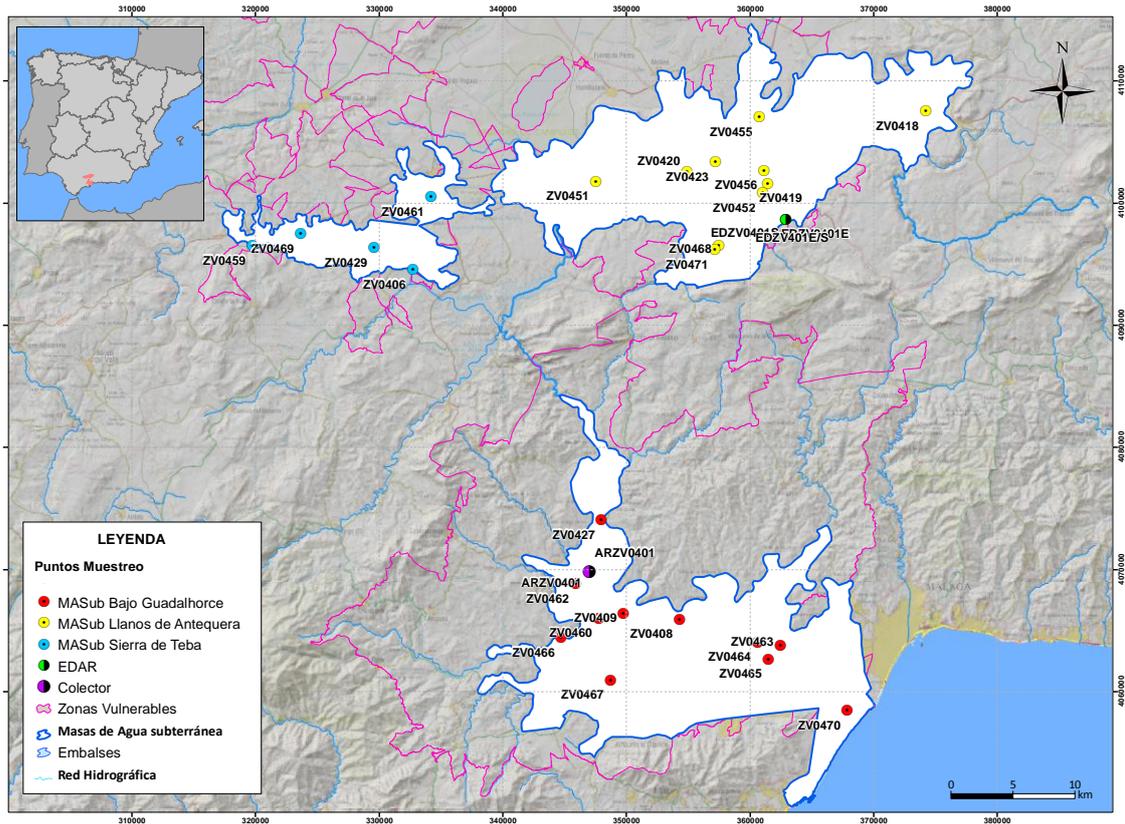


Figura 7.5. Situación de los puntos de la red de muestreo (junio de 2013 y julio de 2014) de la Z. V. Cuenca del Guadalhorce sobre cartografía litoestratigráfica de las MASub

A partir de los análisis de las muestras recogidas en estas dos campañas de campo, se han clasificado las aguas de en función de su contenido iónico.

En la MASub Llanos de Antequera-Vega de Archidona, en el acuífero cuaternario de la Vega de Antequera y Bobadilla la facies mayoritaria es la sulfatada sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas indicativas de la influencia de los materiales evaporíticos del Trias, mientras que en la Vega de Archidona la facies es bicarbonatada cálcica. En el acuífero de La Magdalena presenta una facies mixta.

En la MASub Sierra de Teba-Almargen –Campillos, en el acuífero carbonatado jurásico se caracterizan una facies clorurada-sulfatada sódica o cálcico-sódica, lo que pudiera indicar que esta agua corresponde a flujos profundos procedentes de sectores alejados del manantial. Las facies del acuífero cuaternario detrítico de Almargen y el de Campillos en general son mixtas, clorurada-sulfatada cálcico –sódicas.

En la MASub Bajo Guadalhorce, las facies del acuífero cuaternario aluvial del río Guadalhorce son por lo general sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas.

Respecto a la concentración en nitratos, los resultados obtenidos en las campañas propias corroboran las distribuciones obtenidas mediante la red oficial de calidad en las tres MASub.

En la **MASub Llanos de Antequera-Vega de Archidona**, en el sector acuífero cuaternario de la Vega de Antequera-Bobadilla se registran unas concentraciones de nitratos, por lo general elevadas (entre 80 y 120 mg/l), mientras que la Vega de Archidona los valores de nitratos registrados están entre 50 y 100 mg/l. En el acuífero de la Magdalena, los valores superan también los 100 mg/l. A grandes rasgos, la distribución de los nitratos en estos acuíferos no varía entre una campaña y otra.

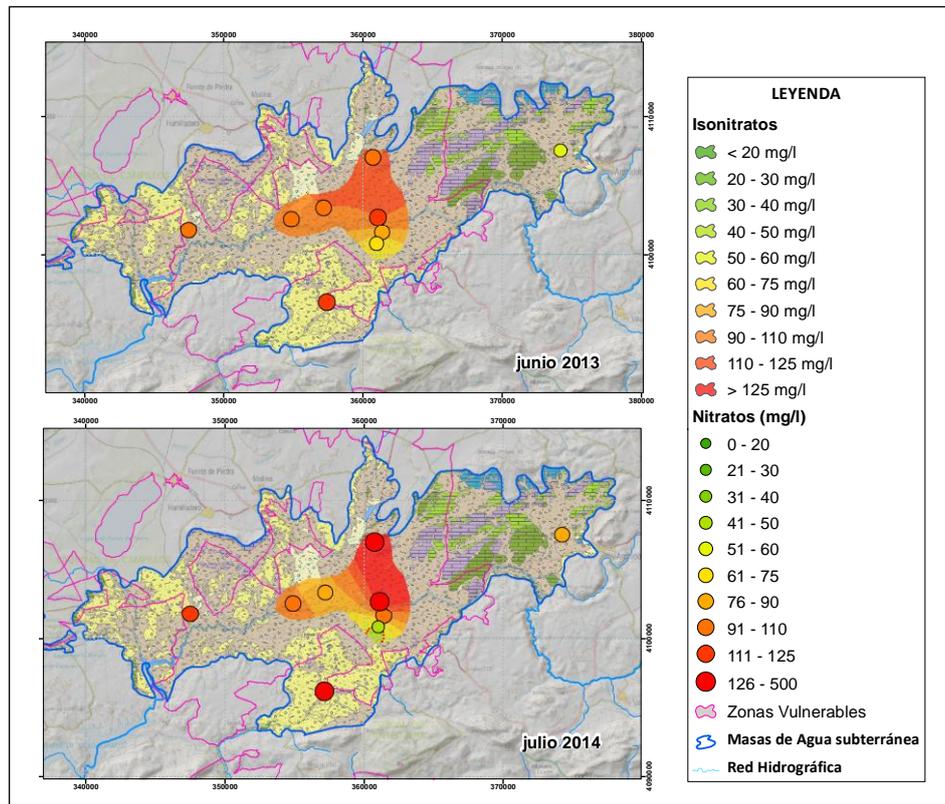


Figura 7.6. Comparativa de mapas de concentraciones de nitratos. MASub Llanos de Antequera-Vega de Archidona

El estudio multi-isotópico en la zona de Llanos de Antequera ha podido identificar que el origen de la contaminación por nitrato está ligado en todas las muestras a fertilizantes inorgánicos.

En la **MASub Sierra de Teba-Almargen-Campillos**, en el acuífero cuaternario de Campillos se registran unos valores de nitratos cercanos a los 100 mg/l. Las mayores concentraciones de la MASub (mayores de 100 mg/l) se registran en el acuífero cuaternario de Almargen, en su límite oriental, al norte de Teba, mientras que en el extremo suroccidental de este acuífero, las concentraciones son inferiores a los 45 mg/l. Como era de esperar, los nitratos registrados en el manantial de Torrox que drena los carbonatos jurásicos, no superan los 35 mg/l.

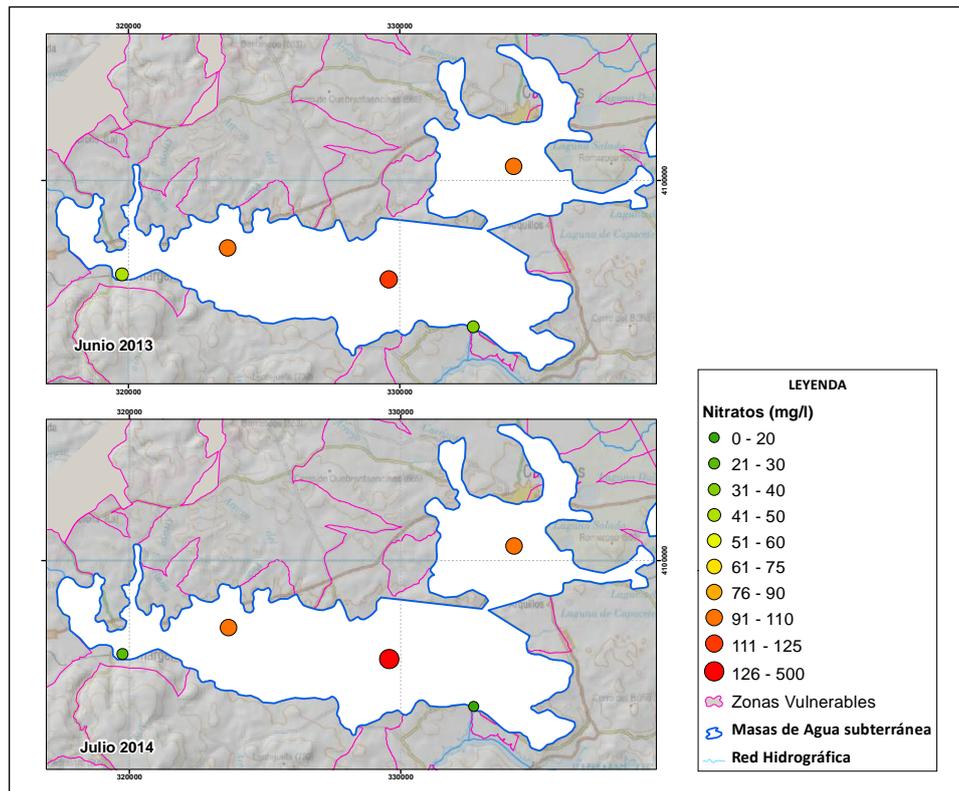


Figura 7.7. Comparativa de mapas de concentraciones de nitratos MASub Sierra de Teba-Almargen-Campillos

Los elevados valores de nitratos obtenidos en el acuífero cuaternario de Almargen, y la alta variabilidad de sus concentraciones parece indicar el carácter puntual de esta contaminación.

El estudio multi-isotópico de las muestras de la MASub de Sierra de Teba-Almargen-Campillos ha corroborado esta primera identificación, donde los resultados isotópicos del nitrato y del boro han mostrado un origen principal del nitrato relacionado con residuos ganaderos (purines). Algunas de las muestras de Sierra de Teba pueden haber sufrido procesos de atenuación aunque de manera muy limitada ya que la concentración de las muestras de esta zona es, por lo general, muy elevada.

En la **MASub Bajo Guadalhorce**, en general, el acuífero cuaternario registra valores inferiores a 40 mg/l de nitratos, con excepción del extremo más septentrional donde los nitratos superan los 110 mg/l. En la zona más próxima a la línea de costa, donde el suelo es fundamentalmente urbano, se registran valores de nitratos superiores a 90 mg/l, en un principio, se había asociado estos valores a contaminaciones puntuales de origen orgánico, pero el estudio multi-isotópico de las muestras de esta MASub, ha determinado como único origen de los nitratos en toda la MASub, los fertilizantes inorgánicos.

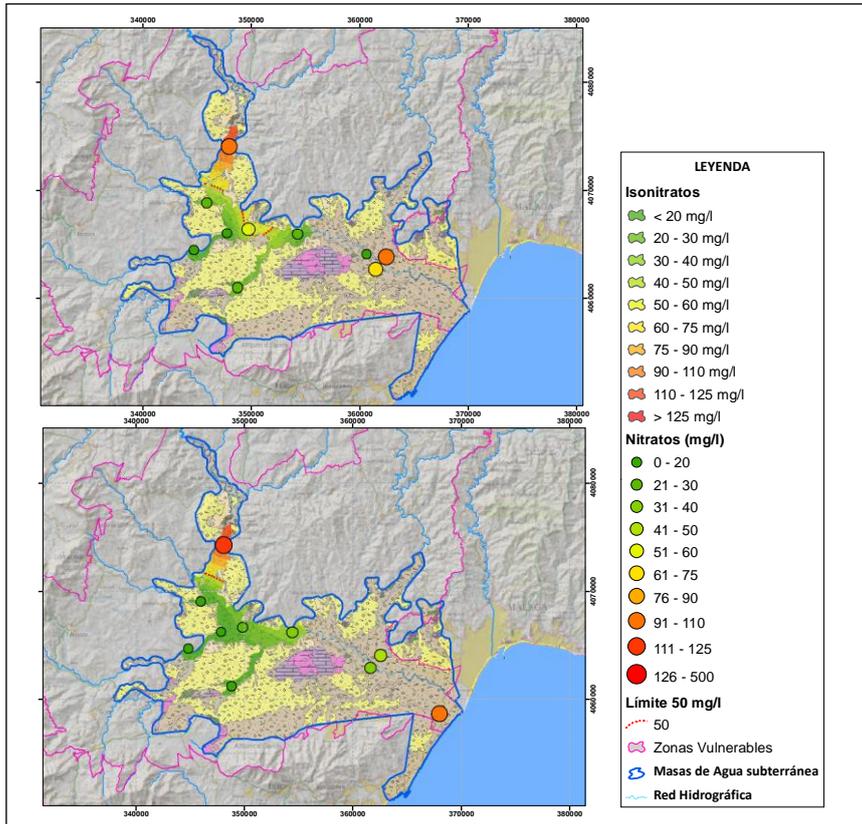


Figura 7.8. Comparativa de mapas de concentraciones de nitratos MASub Bajo Guadalhorce

Los procesos de desnitrificación en esta zona se producen de manera puntual y limitada. No se ha observado una correlación química o isotópica que permita identificar claramente la desnitrificación así como tampoco el papel de la materia orgánica y de los sulfuros como catalizador de la atenuación.

Por lo tanto, y teniendo en cuenta los factores agronómicos, hidrogeológicos, hidroquímicos e isotópicos, se puede concluir que la contaminación por nitratos en estas tres masas de agua subterránea es diferente. En las MASub Llanos de Antequera – Vega de Archidona y en la MASub Bajo Guadalhorce, el origen del nitrato son los fertilizantes inorgánicos que se usan en la actividad agraria, mientras que en la MASub Sierra de Teba – Campillos – Almargen, el origen del nitrato es mixto: origen orgánico (purines) e inorgánico (fertilizantes minerales).

MARESME

El Maresme es la comarca litoral de la provincia de Barcelona, conforma una estrecha franja que ocupa la costa existente entre la ciudad de Barcelona, al suroeste, y su límite con la provincia de Girona. Es una de las comarcas catalanas con un litoral más extenso. Las zonas vulnerables definidas en la comarca del Maresme se integran casi en su totalidad dentro de la masa de agua subterránea homónima, perteneciente a las Cuencas internas catalanas. Esta MASub tiene una superficie aproximada de 45.609 hectáreas y las zonas vulnerables que se superponen en ella, Maresme, Ampliación Maresme, presentan una superficie mucho menor, cubriendo la franja del litoral noreste-sur de la masa.

El estudio agroclimático determina que la zona vulnerable de Maresme presenta un clima templado de tipo mediterráneo, pero en la que podemos distinguir dos subtipos agroclimáticos: mediterráneo continental y mediterráneo marítimo. Este último ocupa la franja costera, donde se desarrolla la práctica totalidad de la actividad agraria.

Prácticamente la totalidad de la zona se encuentra comprendida en una pluviometría acumulada anual de entre 600-800 mm, con un régimen de humedad mediterráneo húmedo, si bien en la parte del litoral más al sur puede no llegarse a los 600 mm de promedio. La duración media del periodo seco es de 3 meses, abarcando el período estival desde mediados de junio a mediados de septiembre.

En cuanto a los usos del suelo, el principal uso de suelo de la MASub Maresme es la superficie forestal, arbolado y no arbolado, y el segundo uso predominante de la masa de agua son los improductivos. La **superficie improductiva** es importante en esta MASub. La presencia de núcleos urbanos es significativa, tanto por ser una zona costera como por la cercanía de la ciudad de Barcelona. Este uso ha aumentado respecto a la década de los 80, debido al desarrollo urbanístico de las poblaciones de la costa del Maresme y su extensión a lo largo de la misma, invadiendo en su mayoría a la superficie agrícola.

La superficie agrícola, por tanto, supone en el período 2000-2009 tan solo un 10,54% del total de la superficie de la MASub. Dentro de ésta predomina el regadío, en su mayoría a huertas y cultivos forzados, es decir un tipo de agricultura intensiva que implica mayor uso de fertilizantes, tanto de aplicación directa como en el riego, y además, un mayor tiempo en su aplicación (los periodos de fertilización se alargan en el tiempo), lo que la convierte en una zona potencialmente con riesgo.

Respecto a la actividad ganadera en esta zona de estudio, existen numerosas explotaciones con un censo muy pequeño y poco representativo dentro de la masa de agua.

La figura siguiente muestra el mapa de cultivos y las explotaciones ganaderas.

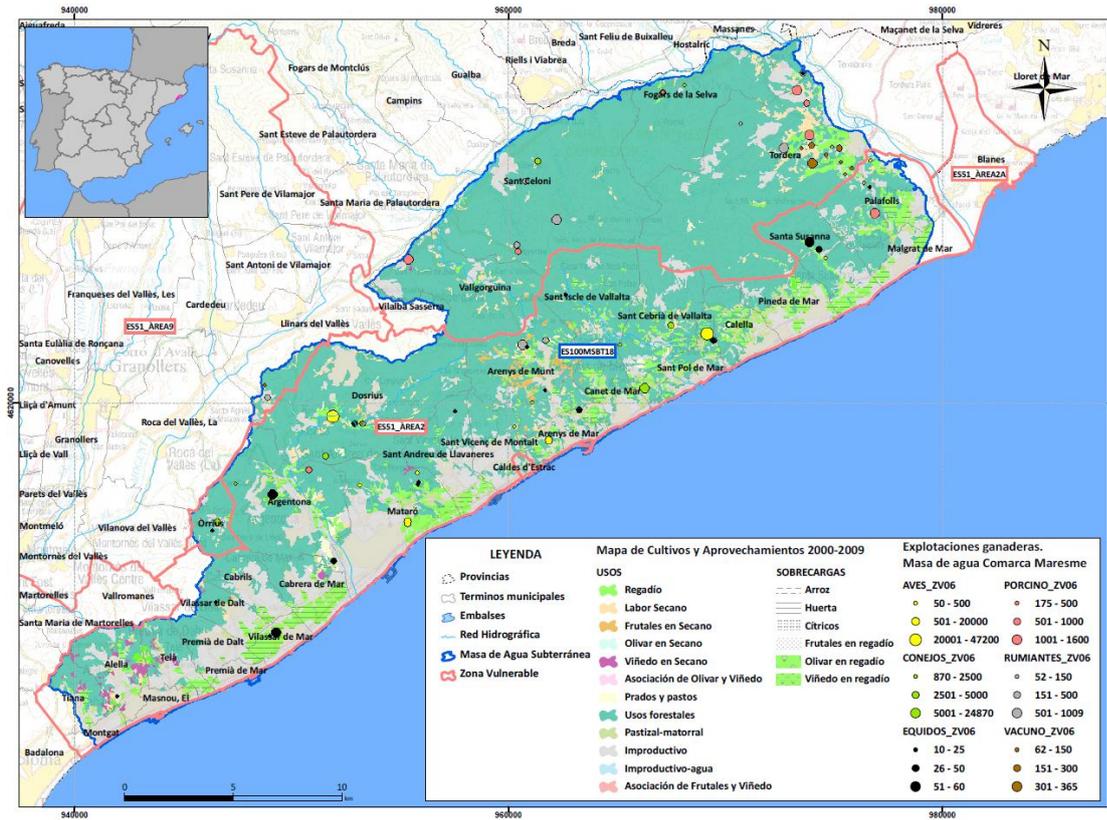


Figura 7.1. Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y localización de explotaciones ganaderas. MASub Maresme

A pesar del limitado número de encuestas realizados en la Comarca del Maresme, se intuye que el grado de intensificación agrícola de ciertas zonas tiene relación con los altos valores de contenido en nitratos encontrados en los puntos de muestreo.

Según la caracterización geológica e hidrogeológica, la litología dominante en esta MASub son los granitos paleozoicos. También están presentes materiales holocenos, compuestos por arenas con componentes granodiorítico (sauló), que configuran el pie de monte de la Cordillera Litoral y terrazas fluviales que presentan pequeñas intercalaciones de limos. Los materiales que forman la zona del Maresme, están asociados a los numerosos torrentes que drenan la Cordillera, además de los depósitos costeros de tipo marisma.

Se distinguen dos tipologías de acuíferos, acuífero granítico y acuíferos cuaternarios aluviales y litorales. En base a esta clasificación se distinguen en esta MASub cuatro acuíferos (figura 7.2):

- Acuífero de los Granitos y materiales paleozoicos del Maresme. Los materiales de naturaleza granodiorítica se comportan como un acuífero libre aunque localmente puede ser confinado por una cobertura de arcillas. Este acuífero que posee unos espesores comprendidos entre 20-50 m, no tiene continuidad espacial.
- Acuífero de los aluviales y cuaternarios entre Tiana y Caldes d'Estrac. Llamado acuífero del Bajo Maresme. Es un acuífero libre de 24-100 m de espesor.
- Acuífero de aluvial entre Caldes d'Estrac y Calella. Denominado Acuífero Maresme Centro. Acuífero libre de 24-60 m de espesor.

- Acuífero de los aluviales y cuaternarios entre Calella y Malgrat de Mar. Llamado acuífero del Alto Maresme. Acuífero libre de 10-20 m de espesor.

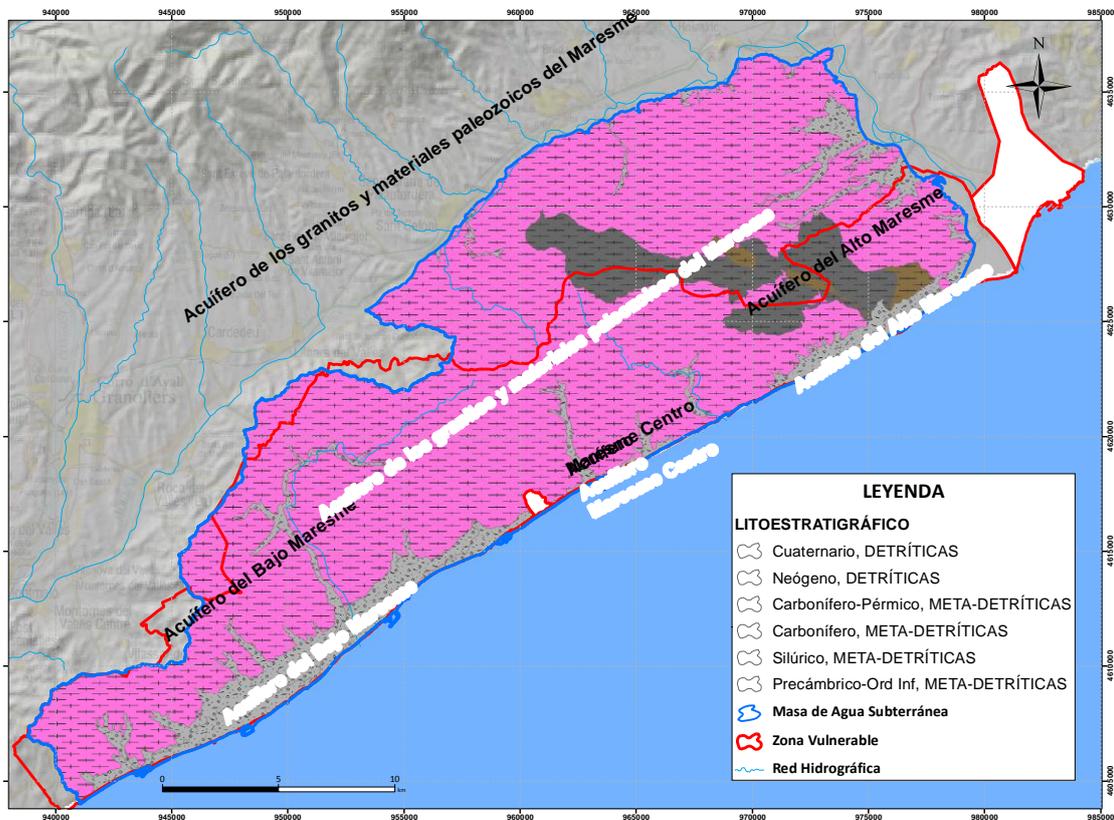


Figura 7.2. Mapa de los acuíferos de la MASub Maresme

Los depósitos de materiales aluviales cuaternarios constituyen los acuíferos más importantes. Se desarrollan en un sistema de abanicos aluvial dispuestos en una estrecha franja costera de unos 2 km. de ancho por 50 km de largo

Las entradas al sistema se producen por recarga del agua de lluvia, por la recarga de los cursos de agua, y por los retornos de riego. Las salidas se producen hacia el mar.

La piezometría del acuífero granítico del Maresme sigue los gradientes topográficos del terreno mientras que la piezometría de los acuíferos Cuaternarios aluviales y litorales presentan isopiezas muy paralelas en la línea de costa con un aumento de las curvaturas a converger hacia los arroyos. Por tanto, la dirección general del flujo de agua subterránea es de NO a SE.

El estudio de evoluciones piezométricas registradas desde el año 2000 hasta el 2013 se ha realizado a partir de los datos de la red piezométrica de la Agencia Catalana del Agua. Ésta red caracteriza fundamentalmente el acuífero cuaternario del Bajo Maresme. A partir de estos datos se han diferenciado distintas tendencias piezométricas en función del sector del acuífero cuaternario, (figura 7.3).

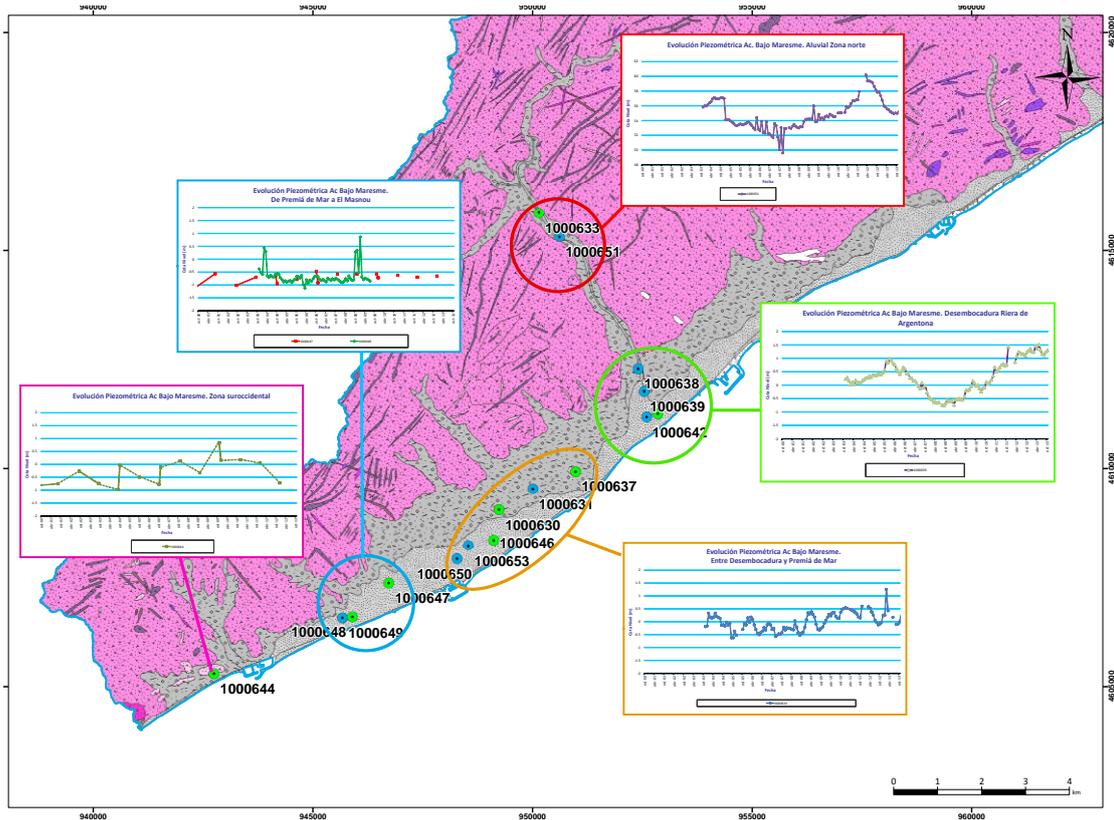


Figura 7.3. Tendencias piezométricas en el acuífero del Bajo Maresme. MASub Maresme

En general las cotas piezométricas se sitúan en torno a los 0 m y por debajo del nivel del mar. Se aprecian en varias zonas de este acuífero los ciclos de extracción interanuales. En el aluvial del Argentina y su desembocadura la tendencia general de los niveles es de descenso hasta el año 2007/08. Posteriormente se registra un ascenso hasta junio de 2012. En el último periodo (junio 2012- octubre 2013) la tendencia es de descenso. Por el contrario, en la mitad más oriental del acuífero, los niveles se mantienen más estables.

Al comparar esta piezometría con las precipitaciones registradas en la zona, se observa que el ascenso de los niveles registrados a partir del año 2008/09 en la mitad oriental del acuífero del Bajo Maresme se debe con toda probabilidad al aumento de las precipitaciones.

En el acuífero Maresme Centro se observa también los ciclos interanuales que reflejan las extracciones del acuífero.

Los resultados obtenidos del estudio de contaminación por nitratos a partir de las redes de calidad del ACA, para la fecha de septiembre de 2011, muestran como las menores concentraciones de nitratos se dan a lo largo del límite noroccidental de la masa. El contenido en nitratos aumenta a medida que nos desplazamos hacia la costa, llegando a registrar valores superiores a los 300 mg/l. De los tres acuíferos cuaternarios, es el Acuífero Maresme Centro, el que registra menores valores de nitratos.

Al comparar los mapas de concentraciones de los nitratos con la distribución de los cultivos en la zona, se aprecia como los mayores valores de nitratos se localizan tanto en zonas de cultivo de regadío como en zonas improductivas.

En el estudio de la evolución de las concentraciones de nitratos julio de 2003 hasta marzo de 2012, se ha observado que las menores concentraciones de nitratos se dan en el acuífero granítico y las mayores en el acuífero del Bajo Maresme. Todos los acuíferos registran un aumento de los valores de nitratos del año 2003/04 al 2004/05 y una disminución del año 2006/07 al 2007/08 (figura 7.4).

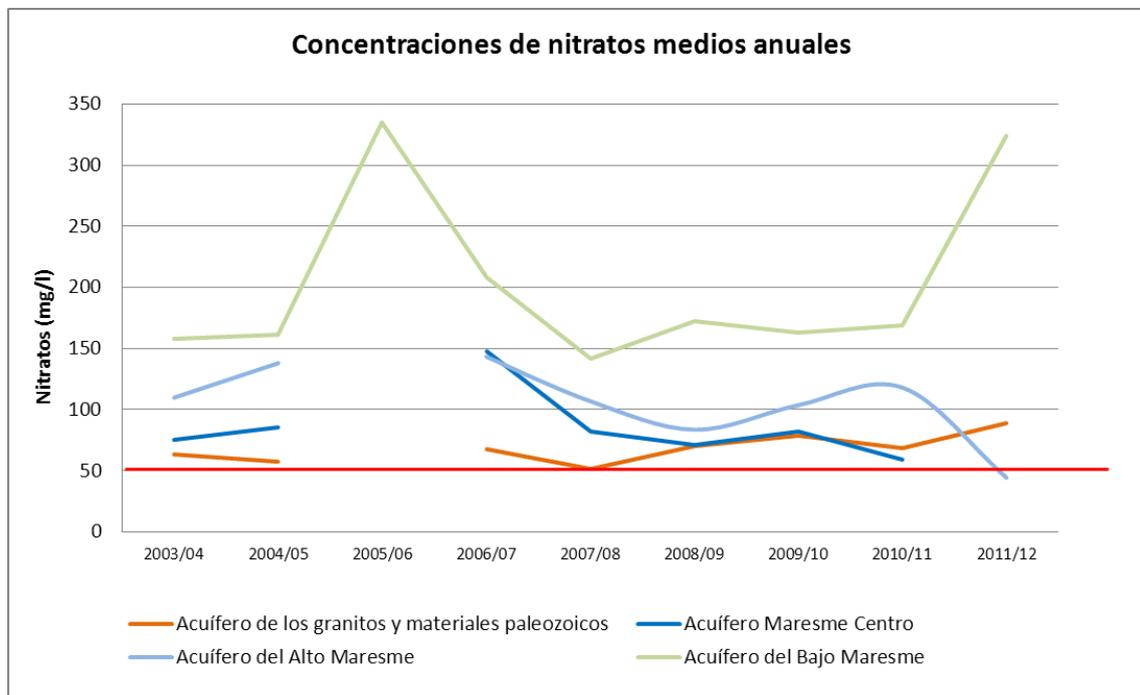


Figura 7.4. Valores anuales medios de concentraciones de nitratos por acuífero

En las evoluciones de nitrato se ha observado en algunas zonas, un amplio rango de variación de estas concentraciones en un mismo punto, hecho que indica un posible carácter puntual de esta contaminación.

A partir de los datos de que se dispone, se ha realizado un estudio comparativo de la evolución de la concentración de nitratos respecto a la evolución piezométrica y la pluviométrica. Tan solo se ha podido apreciar una relación entre la evolución de los nitratos del acuífero Bajo Maresme, en la riera de Argentona, y la piezometría de la zona. En este caso, los nitratos registran un ascenso coincidiendo con el inicio el descenso de los niveles piezométricos y cuando el nivel piezométrico se recupera, las concentraciones de los nitratos disminuyen. Sin embargo, al ser este ascenso tan alto (en torno a 240 mg/l de incremento), en un principio no se relacionaría directamente con la dinámica del acuífero, pudiendo achacarse este ascenso a una contaminación puntual ocurrida en esta riera.

Para corroborar, ampliar y completar estos estudios, se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de la zona vulnerable. La primera de ellas tuvo lugar durante el mes de julio de 2012, mientras que la segunda se llevó a cabo en mayo de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua que caracterizan los acuíferos de la MASub como de las aguas de salida y entrada de la EDAR de Pineda de Mar (figura 7.5).

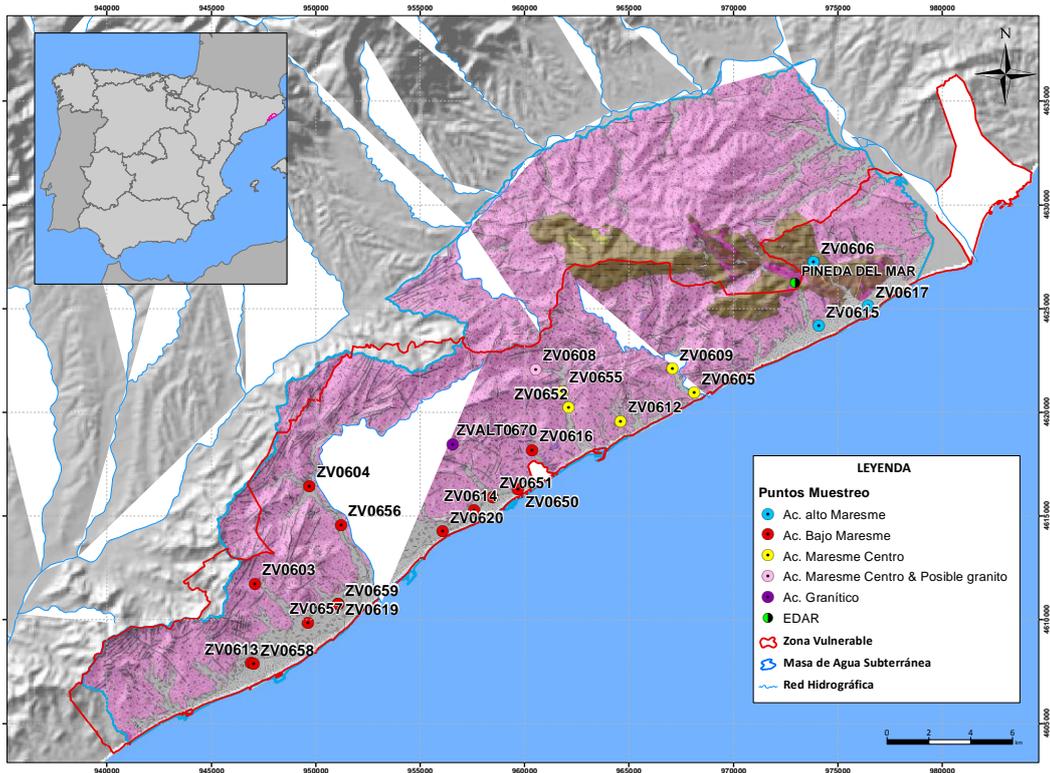


Figura 7.5. Situación de los puntos de la red de muestreo (julio de 2012 y mayo de 2014) de la Z. V. Maresme

A partir de los análisis de las muestras recogidas en estas dos campañas de campo se han clasificado las aguas subterráneas de los tres acuíferos detríticos como aguas de facies mixtas, la mayoría cloruradas sulfatadas o bicarbonatadas cloruradas sódico cálcicas y/o magnésicas, mientras que el acuífero granítico presenta una facies bicarbonatada cálcica.

Respecto a la concentración en nitratos observada en las campañas de campo realizadas, las mayores concentraciones de la MASub se registran en el acuífero del Bajo Maresme (coincidiendo con los datos observados en la red del ACA), entre Mataró y Vilasar de Mar, y en el acuífero del Alto Maresme, en la cabecera de la riera de Santa Susanna.

De forma general en los últimos años (de 2007 a 2014) en el acuífero del Bajo Maresme se ha registrado un aumento en la concentración, mientras que en el Centro Maresme, los nitratos han disminuido. En la siguiente figura se muestra la comparación entre los mapas de concentraciones realizados para las campañas de 2012 y 2014 y el elaborado a partir de los datos del ACA para la fecha de septiembre de 2012.

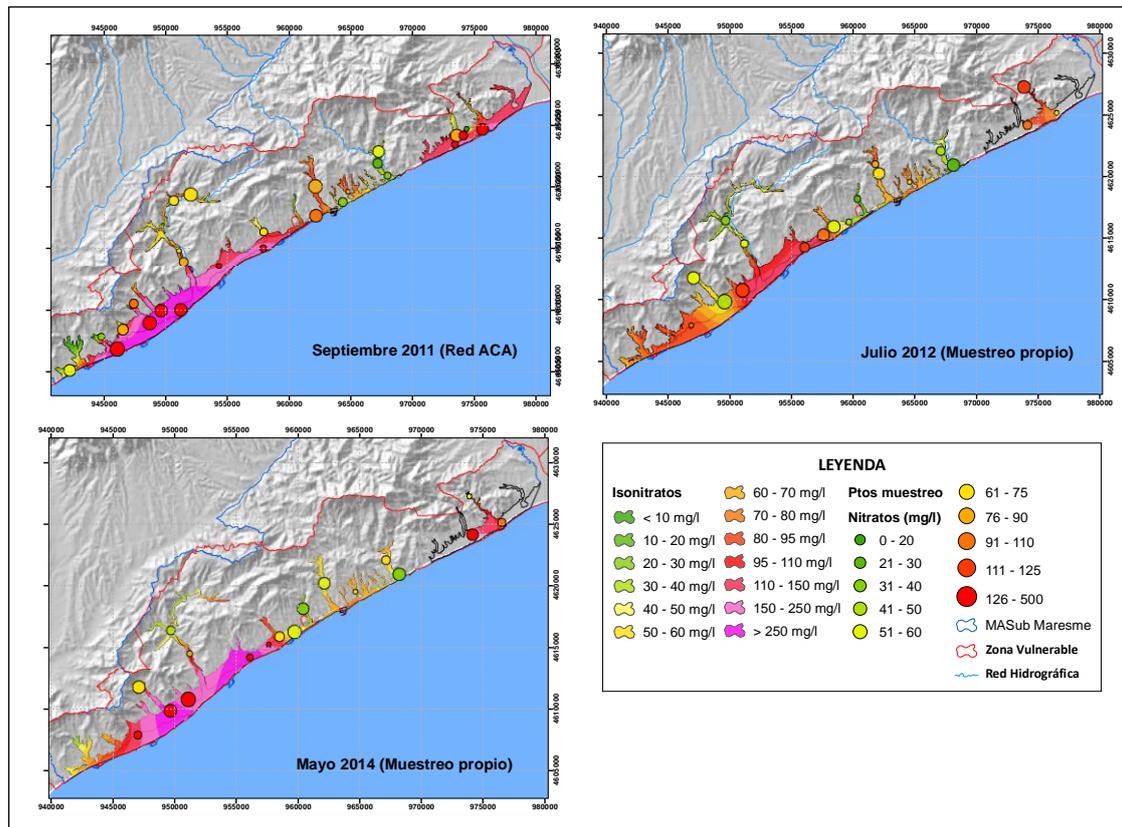


Figura 7.6. Comparativa de mapas de concentración de nitratos. Acuíferos detríticos. MASub Maresme

Pese a que los puntos de muestreo de junio de 2012 son diferentes a los muestreados en las otras dos campañas, en general la distribución de los nitratos en los acuíferos detríticos es similar en las tres campañas.

En el acuífero del Bajo Maresme la concentración de nitratos en las cabeceras de las rieras no superan los 50 mg/l, mientras que en la zona litoral los valores son superiores a 100 mg/l. Las zonas con altas concentraciones de nitratos y los máximos obtenidos en ellas en cada fecha, son muy variables, lo que puede indicar un carácter localizado de la contaminación.

El acuífero Maresme Centro es el que presenta unas menores concentraciones, disminuyendo éstas hacia la zona más oriental.

En el Alto Maresme es donde se distingue una mayor diferencia en la distribución entre una campaña a otra, pero esto se debe a la disparidad de la localización de los puntos del ACA respecto a los muestreados en 2012 y 2014, así como a la distinta fecha de muestreo. Al igual que en los anteriores acuíferos, en las cabeceras de los aluviales es donde se registra una menor concentración de nitratos, mientras que estas concentraciones aumentan a medida que nos desplazamos hacia la costa y hacia la zona central del acuífero.

Para determinar de forma más precisa el origen de la contaminación por nitratos en esta zona, además de las analíticas convencionales, se han llevado a cabo distintos análisis isotópicos tanto de las aguas recogidas en las diferentes captaciones, como de las aguas residuales tomadas en las estaciones depuradoras. Además se han tomado muestras de fertilizantes inorgánicos y orgánicos utilizados en las zonas de cultivo.

Los resultados isotópicos confirman un origen ligado a fertilizantes inorgánicos para la mayor parte de las muestras estudiadas, en concreto a la nitrificación de fertilizantes amoniacales. Para algunas muestras se observa además una mezcla con fertilizantes nitrogenados (no amoniacales). Esta influencia de fertilizantes nitrogenados ha aumentado en la presente campaña respecto al muestreo realizado en el año 2009.

Otro grupo de muestras tendría además influencia de fertilizantes orgánicos y/o aguas residuales. Esta influencia orgánica ha sido confirmada utilizando isótopos de B, aunque en la zona de estudio no ha sido posible distinguir entre la posible influencia de residuos ganaderos y la de aguas residuales.

Atendiendo a estas fuentes y su localización, en el acuífero del Alto Maresme, la fuente de contaminación es mixta (nitrato de origen inorgánico y orgánico), al igual que en el acuífero Maresme Centro, en el que la mayoría de las muestras analizadas presentan este origen mixto del nitrato (salvo la muestra ZV0612, cuyo origen es inorgánico). Sin embargo, en el acuífero del Bajo Maresme, la principal fuente de contaminación es por fertilización inorgánica.

Por último mencionar que en la zona estudiada no se dan procesos de desnitrificación generalizados.

MIGJORN

La isla se divide naturalmente en dos mitades separadas por una línea que separa la Tramuntana (terrenos más antiguos y abruptos) del Migjorn, que se sitúa al SSO, formado por materiales más modernos. En Menorca se han definido 3 zonas vulnerables, "BAL 12 - Es Migjorn Gran, BAL 11 - Maó y BAL 13 - Ciutadella", que coinciden con las tres masas de agua subterránea del mismo nombre situadas en la mitad sur de la isla (Migjorn).

El clima es típicamente mediterráneo, aunque con algunos matices dependiendo del relieve que determina el aumento de la aridez. Las precipitaciones máximas se producen habitualmente entre los meses de octubre y noviembre. La precipitación media anual es de 545 mm/año.

En cuanto a los usos del suelo, el estudio agronómico concluye que la superficie agrícola supone algo más de la mitad de la superficie total de la zona de estudio, localizándose mayoritariamente en la MASub Ciutadella (24,5 %) y en menor medida en las MASub Es Migjorn Gran (14 %) y Maó (13,4 %), en esta última sobre todo en la zona noroccidental. Dentro de la superficie agrícola el uso mayoritario es el secano, siendo los cultivos herbáceos los predominantes; los pastizales también representan una superficie de ocupación representativa, sobre todo en la zona noroccidental de la masa de agua de Ciutadella. La superficie de regadío es poco representativa dentro del conjunto de las masas de agua.

El resto de superficie de la zona de estudio está compuesta en su mayoría por superficie forestal, sobre todo por bosques de coníferas y frondosas, localizándose el mayor porcentaje en la masa de agua de Es Migjorn Gran. El mayor porcentaje de superficie mixta (pastizal/matorral) y superficie improductiva se distribuyen por la masa de agua de Maó.

La superficie agrícola se ha visto incrementada en los últimos años, concretamente las labores de secano en sustitución de superficies de matorral. El regadío se ha mantenido más o menos igual, mientras que las

superficies mixtas e improductivas se han visto aumentadas debido al crecimiento y expansión urbanística.

En cuanto a explotaciones ganaderas, cabe mencionar que el mayor censo lo encontramos en el ganado rumiante, sobre todo ovino, pero también hay una representación significativa de ganado vacuno, equino y porcino. Las explotaciones ganaderas se reparten por todos los municipios de las tres masas de agua subterránea, aunque más densamente en la MASub de Ciudadela. La actividad ganadera orientada a la producción de leche para la fabricación de quesos tiene bastante importancia en la economía de la isla. Gran parte de la producción agrícola se centra en la obtención de forrajes y pastos para abastecer estas explotaciones.

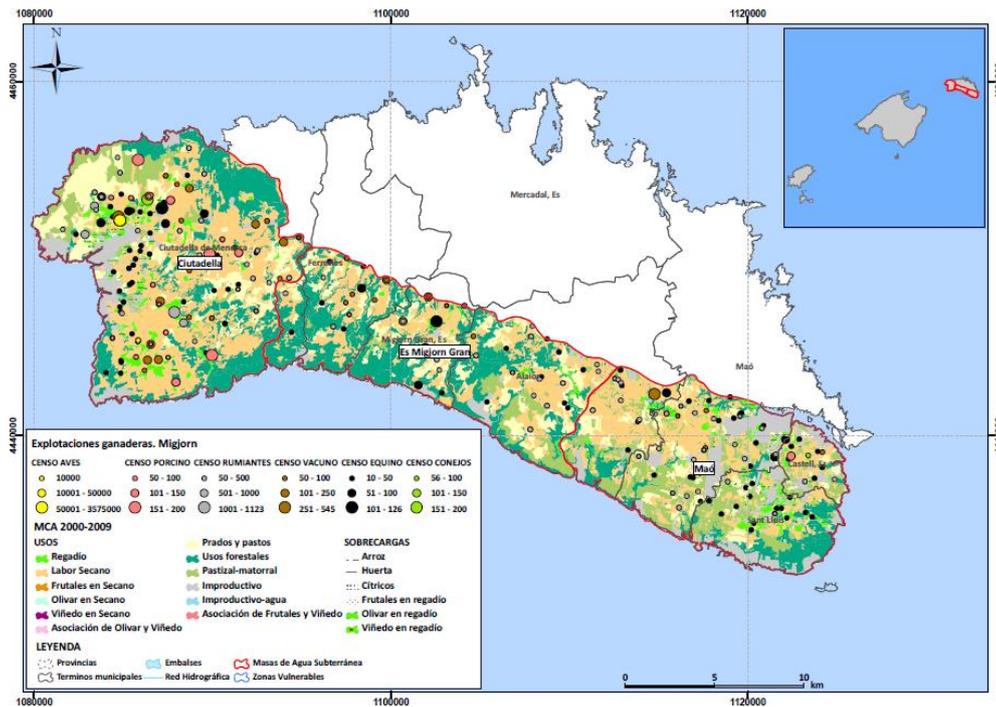


Figura 7.1. Usos del Suelo y principales explotaciones ganaderas. MASub Ciudadella, Es Migjorn Gran y Maó. Periodo 2000-2009. Fuente: MAGRAMA "Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España"

En la siguiente figura se muestra con mayor detalle la ocupación porcentual de los usos de suelo por masa de agua que compone la Unidad Hidrogeológica de Migjorn:

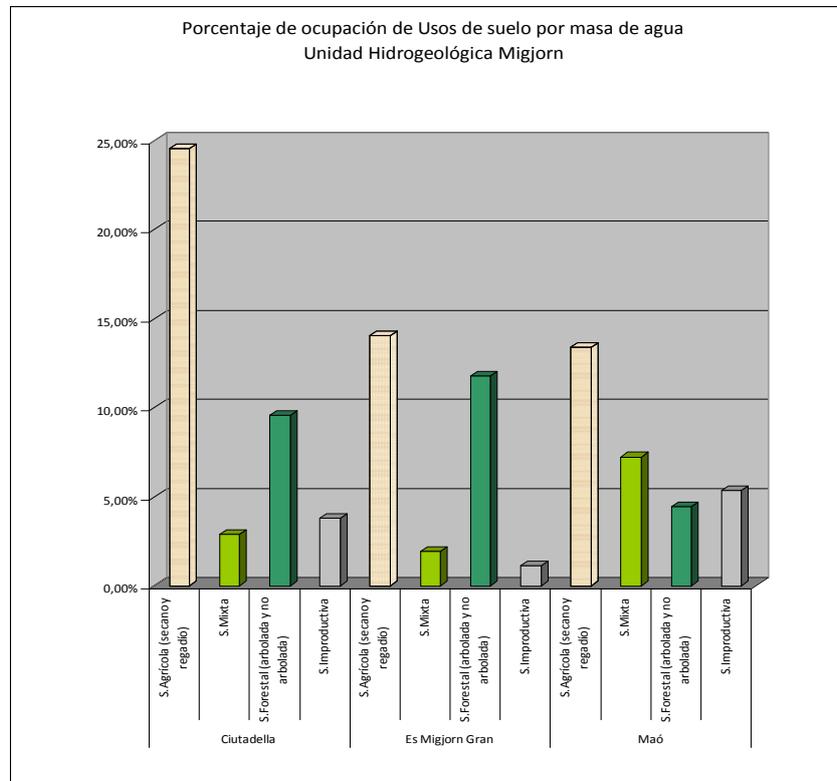


Figura 7.2. Porcentaje de ocupación de Usos del suelo. MASub Ciutadella, Es Migjorn Gran y Maó. Periodo 2000-2009. Fuente: MAGRAMA “Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España”

Desde el punto de vista geológico e hidrogeológico, las tres zonas vulnerables coinciden con la extensión de la formación acuífera denominada como “Es Migjorn”, que ocupa la mitad sur de la isla y está constituida por sedimentos detríticos y carbonáticos (calcarenitas principalmente) de edad miocena y pliocuaternaria. Presenta una disposición tabular, algo elevada, inclinada suavemente hacia el mar y surcada por profundos barrancos.

Una característica importante en el funcionamiento hidrogeológico es que el flujo subterráneo es normalmente perpendicular a la línea de costa con una dirección preferente NNE-SSW (debido a su morfología alargada), desde las zonas de recarga hacia el Mar Mediterráneo.

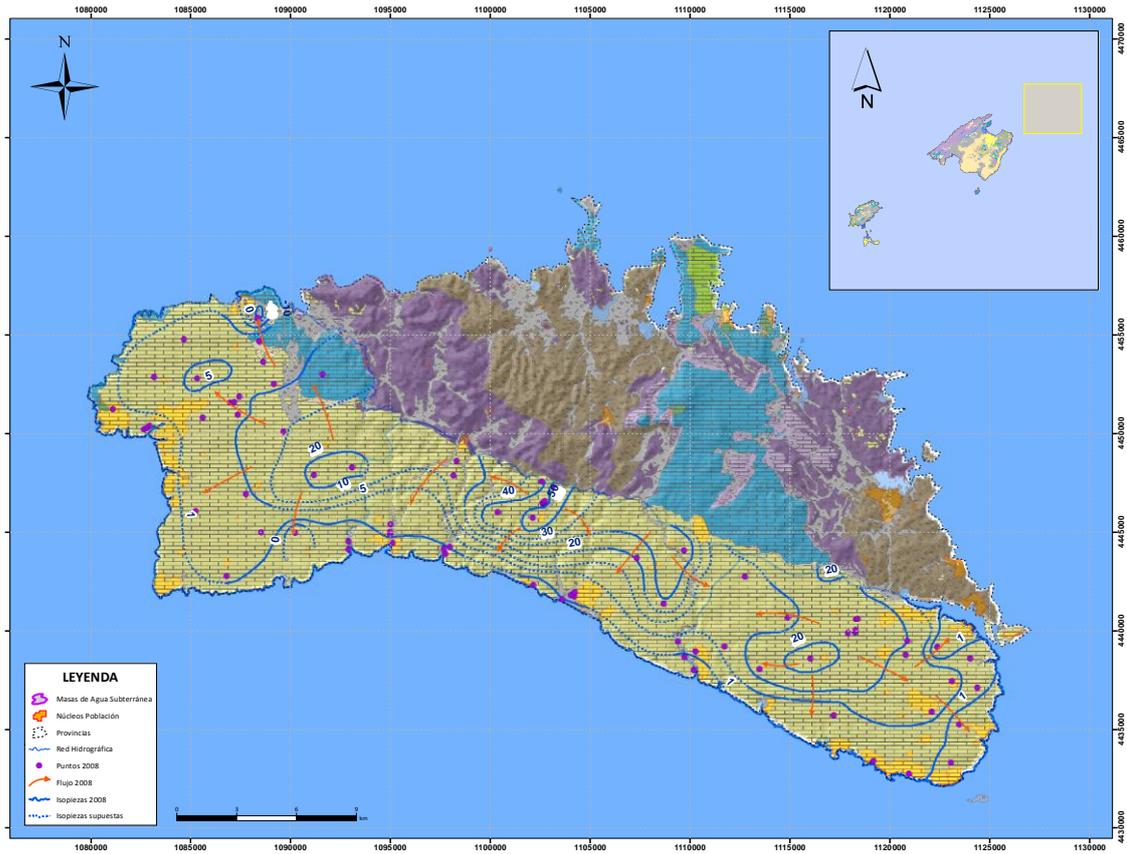


Figura 7.3. Mapa piezométrico para el año 2008. Fuente: (Actividad 5 de la encomienda IGME-DGA)

El estudio de evolución piezométrica muestra cómo los descensos que se han producido son variables en función de su ubicación, de forma que los puntos cercanos a las zonas de descarga (cerca del mar) y con niveles más superficiales, presentan, por lo general escasa variabilidad, mientras que las zonas situadas en el interior (zonas de recarga) tienen mayor descenso histórico.

Sobre todo en las MASub Migjorn y Mahón, se ha producido un descenso de niveles histórico, sobre todo en las zonas de recarga, desde los años ochenta hasta mediados de los noventa. A partir de entonces, los niveles tienden a estabilizarse hasta la actualidad.

Los resultados obtenidos del estudio de contaminación por nitratos a partir de las redes oficiales de calidad (datos del Gobierno Balear), reflejan que los problemas de contaminación por nitratos son mayores en las masas de agua de los extremos de la isla (Ciudadela y Mahón), mientras que en la central (Migjorn), la concentración media es más reducida.

Esta distribución espacial de la contaminación por nitratos, se corrobora mediante los mapas de concentración de nitratos efectuados, para las campañas de campo propias y datos de la red del Gobierno Balear en el año 1998. Se puede comprobar, como desde finales de la década de los 90, la concentración de nitratos aumenta de concentración en estas dos masas de agua subterránea.

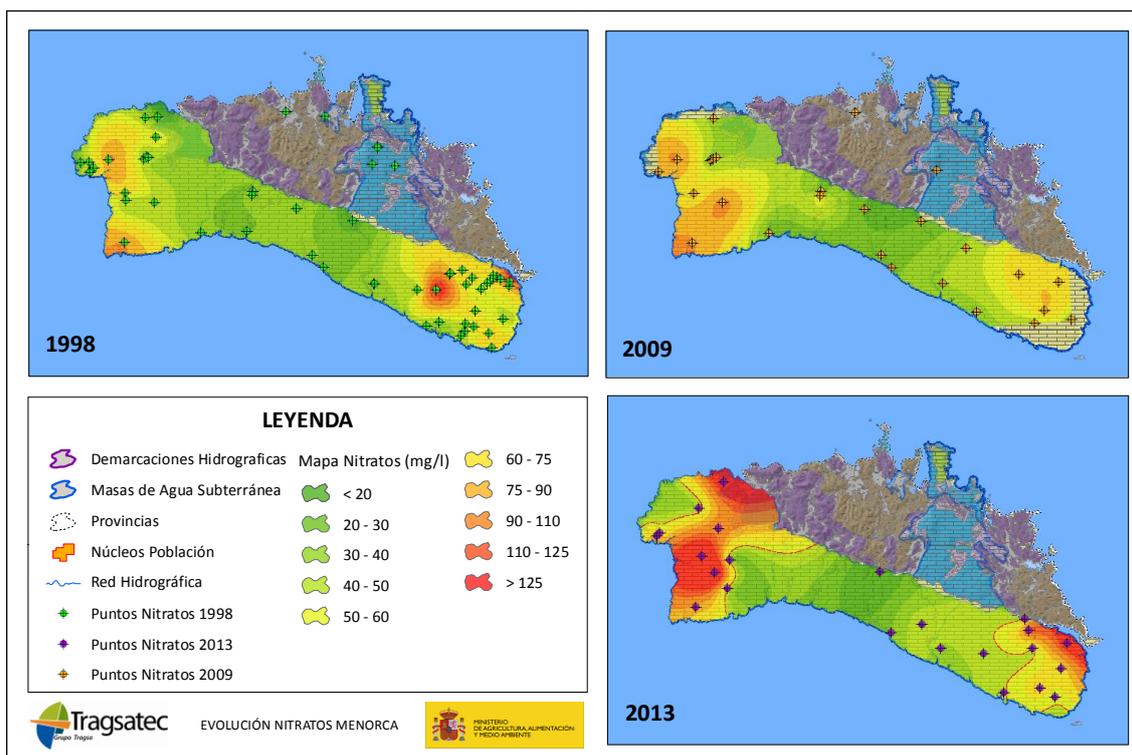


Figura 7.4. Comparación de mapas de iso-nitratos en los años 1998, 2009 y 2013 en el acuífero de Es Migjorn

A partir de los datos de que se dispone, no se han extraído conclusiones definitivas del estudio comparativo realizado entre evolución piezométrica, pluviométrica y evolución de concentración de nitratos, aunque sí se han observado algunos comportamientos con cierta influencia entre periodos de precipitaciones intensos y aumentos en la concentración en nitratos, que se asocia a un lixiviado del nitrato retenido en el suelo.

En el marco del presente estudio se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de la zona vulnerable. La primera de ellas tuvo lugar durante el mes de mayo de 2013, mientras que la segunda se llevó a cabo en julio de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua previamente seleccionados, como de aguas residuales (EDAR en 2014).

Respecto al contenido iónico de las aguas subterráneas del acuífero Es Migjorn, éstas se clasifican entre bicarbonatadas y cloruradas con facies catiónicas cálcicas o cálcico-sódicas. Esta variedad en la clasificación se debe al enriquecimiento en cloruros y sodio de los puntos con mayor influencia marina.

Respecto a la concentración en nitratos, los resultados obtenidos en las campañas propias corroboran la distribución obtenida mediante la red de calidad, con un incremento de la concentración desde 1998 a 2014, y con valores similares entre las campañas de 2013 y 2014.

La problemática principal de la contaminación por nitratos afecta a las masas de agua subterránea más de los extremos (Ciudadella y Mahón), mientras que la masa de agua central (Migjorn), presenta los valores de contaminación por nitratos más bajos.

El estudio isotópico ha podido identificar el origen de la contaminación por nitrato en la mayoría de muestras analizadas. En la zona de Migjorn el origen principal del nitrato de las aguas subterráneas está relacionado con fertilizantes químicos, en concreto a la nitrificación de fertilizantes amoniacales más o menos volatilizados. En algunas muestras (ZV1311 y ZV1321) puede existir cierta influencia de fertilizantes no amoniacales, aunque en muy baja proporción.

Los resultados isotópicos del nitrato y del boro han confirmado el origen orgánico para las muestras ZV1307 y ZV1311, si bien no se ha podido diferenciar entre residuos ganaderos y agua residual. Teniendo en cuenta que estas muestras no se encuentran situadas en las cercanías de un núcleo urbano, se puede descartar la influencia del agua residual, por lo que se deduce que el nitrato, en estos dos casos, está ligado principalmente a residuos ganaderos.

Por último, se ha detectado cierto grado de atenuación de la contaminación por nitrato aunque esta atenuación es poco significativa. Tan solo dos de las muestras (ZV1311 y ZV1325) presentan valores coherentes con procesos relevantes de atenuación natural.

Resumiendo, el principal origen de la contaminación por nitratos en las zonas vulnerables existentes en la isla de Menorca se atribuye a la fertilización mineral, con cierta influencia de nitrato orgánico, muy probablemente procedente de residuos ganaderos. Esta problemática se atribuye a la mayor concentración de prácticas agroganaderas (agricultura de secano y mayor concentración de explotaciones ganaderas) existentes, sobre todo, en los extremos de la isla, afectando a prácticamente la totalidad de la MASub de Ciudadela y la parte norte de la MASub de Mahón.

PLANA DE VALENCIA

El estudio se orienta a las masas de agua subterránea de la Plana de Valencia Norte y Plana de Valencia sur, ambas incluidas prácticamente en su totalidad, dentro de los límites de la zona vulnerable de mayor extensión denominada como “Llanuras costeras de Oropesa, Torreblanca, Castellón, Sagunto, Valencia y Gandía-Denia”.

En esta región se concentra la mayor parte de la población de la Comunidad Valenciana ya que se asienta la propia ciudad de Valencia y su entorno metropolitano. La actividad económica está muy desarrollada destacando la industria y la agricultura (cultivo de cítricos, arroz y la denominada huerta de Valencia).

El clima es benigno, de características mediterráneas litorales (Mediterráneo subtropical y Mediterráneo marítimo), con una precipitación anual media entre 400 y 600 mm. Los inviernos son templados con temperaturas medias por encima de los 10 °C, y los veranos son suaves, con temperaturas medias máximas que rondan los 25 °C. Las principales precipitaciones se producen en el otoño, con máximas en octubre, disminuyendo sensiblemente en invierno y primavera. No obstante, las precipitaciones suelen tener un carácter torrencial muy marcado en toda la zona, concentrándose en muy pocos días al año. La duración media del periodo seco es de 3 o 4 meses, coincidiendo aproximadamente con el período estival.

En cuanto a los usos del suelo, el estudio agronómico concluye que la zona de Plana de Valencia se caracteriza por tener cuatro tipos de cultivo principales que en orden de importancia son los cítricos, el

arroz, las hortalizas y los frutales. Se trata, por tanto, de un predominio del cultivo en regadío respecto al de secano. Los cultivos de cítricos se riegan por inundación o por goteo, al igual que las hortalizas y el olivar, mientras que el arroz siempre se riega por inundación.

No ha habido grandes cambios en las prácticas agrícolas desde los 80-90 y la actualidad. Cabe mencionar un ligero aumento en el cultivo de cítricos, y algo de frutales y una disminución del cultivo hortícola. Los porcentajes del regadío dedicado al arroz prácticamente se han mantenido, el cual se encuentra en grandes extensiones como único cultivo concentrado alrededor de La Albufera de Valencia.

Se resalta que un porcentaje importante de la superficie del terreno está ocupado por núcleos de población, habiendo sufrido un aumento importante debido a la expansión urbanística de la ciudad de Valencia y los núcleos de población cercanos.

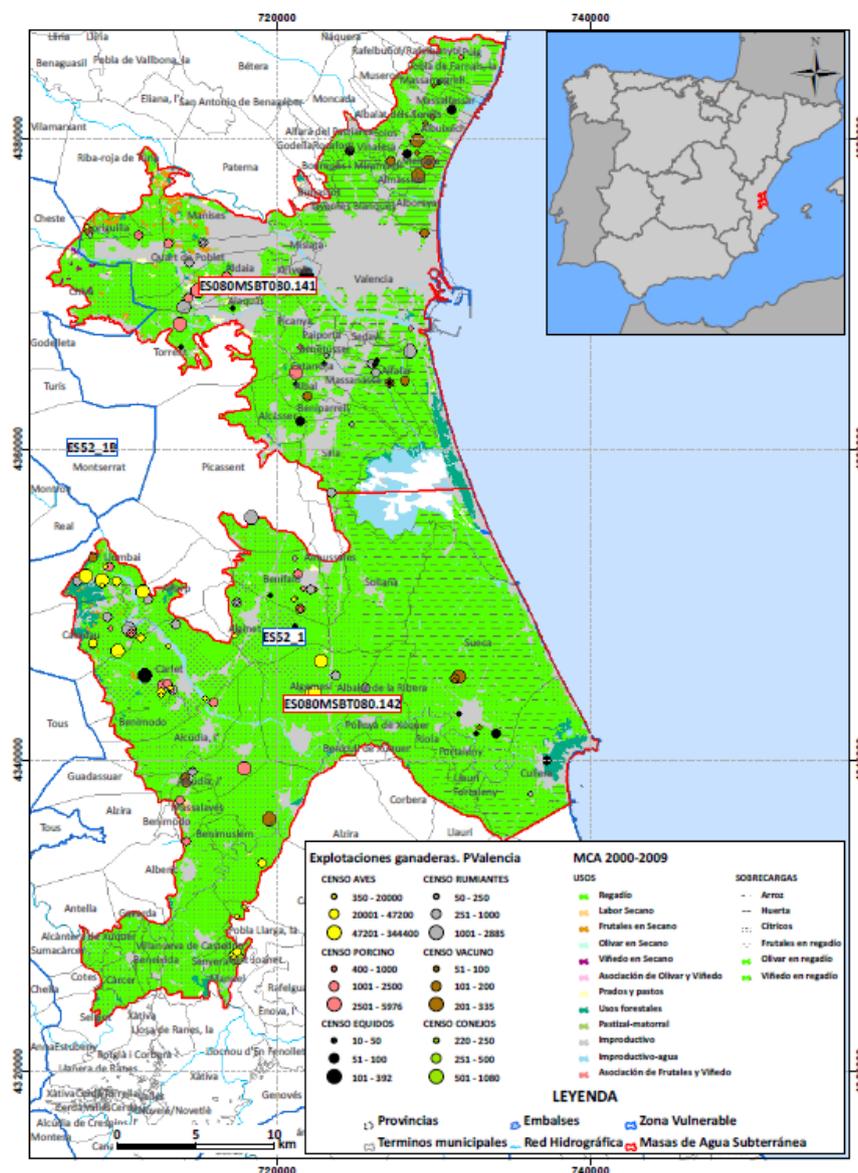


Figura 7.1. Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y localización de las principales explotaciones ganaderas

Según las encuestas realizadas a agricultores y ganaderos de la zona, se extrae que por lo general, se realiza un uso agrícola de las deyecciones procedentes de las explotaciones ganaderas de la zona. También se deduce que las prácticas de fertilización destacan por un uso de abono mineral para las plantaciones de arroz y frutales y de abono orgánico para olivar en secano, mientras que el uso conjunto de abono mineral y orgánico se da en cultivos de cítricos y en las hortalizas.

El grado de cumplimiento del Programa de Actuación, es relativamente alto, con algunos excesos en las dosis de nitrógeno total aportado, nitrógeno orgánico en el caso de la comarca de la Huerta Norte, que no suponen la mayor parte de las encuestas realizadas.

Según la caracterización geológica e hidrogeológica de la Plana de Valencia, existe una división de la misma en dos subcuencas (Plana Norte y Plana Sur), debido a la estructura en "horst" de directriz ibérica. Ambas planas presentan continuidad hidráulica y se comportan hidrogeológicamente, como un sistema multicapa constituido por una alternancia de materiales permeables (gravas, arenas, areniscas y calizas) e impermeables (margas y arcillas) de edad comprendida entre el Mioceno inferior y el Cuaternario.

Por lo general, el flujo de agua subterránea discurre en sentido Oeste-Este, procedente de las unidades de borde que transfieren sus recursos a la Plana de Valencia hacia el mar, aunque presenta frecuentes excepciones locales al contexto regional, como puede ser la descarga a La Albufera.

Se trata de una disposición característica de los acuíferos costeros con permeabilidad por porosidad intergranular, donde el flujo subterráneo sigue una dirección más o menos perpendicular a la línea de costa, con un bajo gradiente hidráulico, por lo que la superficie piezométrica es fácilmente alterada por los bombeos.

Las entradas de agua al sistema se producen mediante infiltración de la precipitación, transferencias laterales de las masas de agua aledañas, así como por retornos de riego, mientras que las salidas del sistema se producen por bombeo, drenaje de ríos, principalmente del río Júcar, alimentación al lago de la Albufera y salidas directas al mar Mediterráneo.

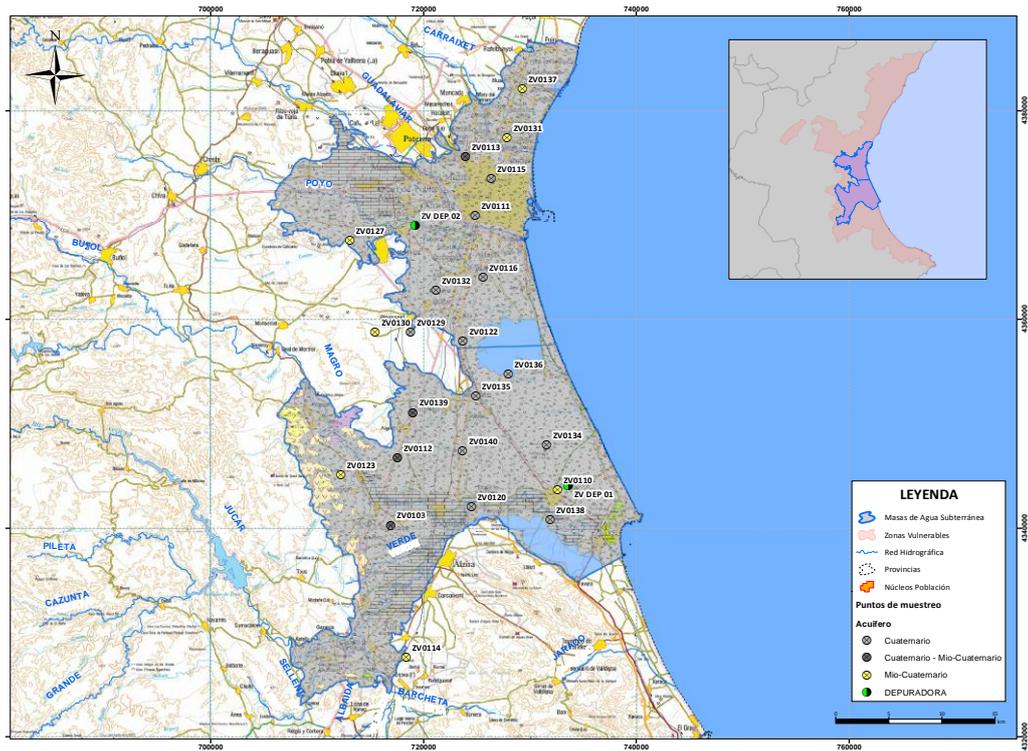


Figura 7.3. Distribución de los puntos de la red de muestreo (abril de 2013 y julio de 2014) sobre cartografía litoestratigráfica en las MASub Plana de Valencia Norte y Plana de Valencia Sur

La clasificación de las aguas subterráneas en las MASub de la Plana de Valencia Norte y plana de Valencia Sur, son mayoritariamente sulfatadas o sulfatadas-cloruradas con facies catiónicas cálcicas o mixtas, y sin apenas distinción entre los acuíferos anteriormente descritos.

Respecto a la concentración en nitratos, los resultados obtenidos en las campañas propias corroboran la distribución obtenida mediante la red de calidad, con alta concentración en la parte interior de las dos masas de agua subterránea, así como en la zona costera situada al norte de la ciudad de Valencia.

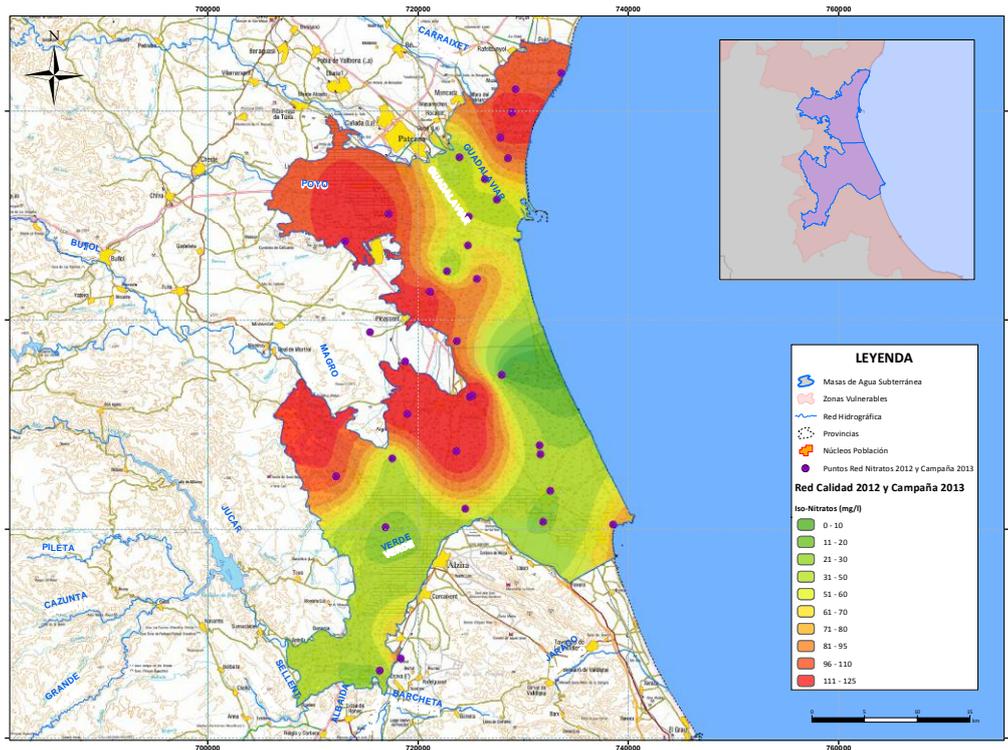


Figura 7.3. Mapa de Isonitratos en las MASub de Plana de Valencia. Red de calidad 2012 y Campaña propia 2013

Según esta distribución, el carácter de la contaminación por nitratos es difuso, posiblemente ligado a la agricultura. Más específicamente, los valores de concentración más altos se localizan en áreas de cultivos de cítricos, frutales y hortícolas (sobre todo en la zona de la Huerta norte), mientras que las concentraciones más reducidas se localizan principalmente en los arrozales (zona costera y alrededor de La Albufera).

La reducción de la concentración de nitrato en la zona costera, podía ser debido a las diferencias en el tipo y dosis de abonado que se usan para el arroz. Este cultivo, por sus características tan especiales, tiene unas prácticas de fertilización diferente que para los cultivos de cítricos u hortícolas.

Se ha observado una variación importante de la concentración de nitratos entre las campañas propias, de forma que en los meses de verano se registran los valores más altos de concentración (años 2009 y 2014), mientras que en el mes de abril de 2013 se registraron concentraciones más reducidas. Esto puede ser debido a factores asociados a la estacionalidad, tales como calendario de abonado o cambios en la precipitación.

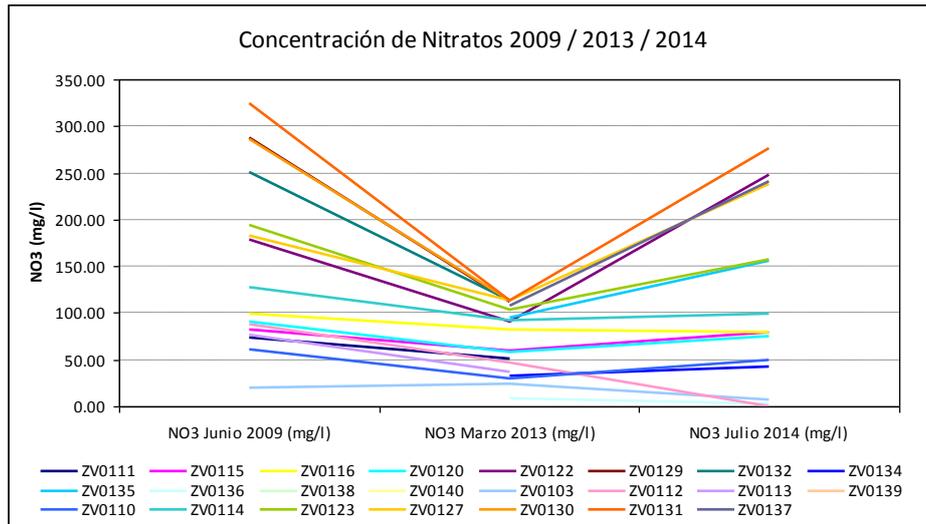


Figura 7.4. Gráficos de evolución de los nitratos 2009-2014. Zona Vulnerable Plana de Valencia

Gracias al estudio isotópico realizado, se ha podido identificar el origen del nitrato en la mayoría de las muestras estudiadas. El aporte principal tendría un origen ligado a los fertilizantes químicos, en concreto a la nitrificación de fertilizantes amoniacales. La muestra ZV0115, situada en zona urbana, estaría influenciada por nitrato procedente de aguas residuales urbanas. Las muestras localizadas en zonas mixtas (entre áreas de regadío y ganaderas), presentan valores intermedios situados tanto en el campo del nitrato de origen orgánico (ZV0139 y ZV0140), como en el de nitrato ligado a fertilizantes inorgánicos (ZV0131 y ZV0137).

En la zona de Plana de Valencia no se dan procesos de desnitrificación y las variaciones en la concentración de NO_3^- observadas entre la campaña de 2009 y 2014 son producidos por un cambio en las dosificaciones de N o en los retornos de riego.

Como consecuencia, cabe mencionar que en la zona de estudio (masas de agua de la Plana Norte y Sur de Valencia) los valores de concentración registrados, en la mayor parte de los puntos muestreados exceden los 150 mg/l, con algunos puntos que llegan a sobrepasar los 250 mg/l, lo cual supone un importante problema de contaminación. El origen principal de dicha contaminación se explica a partir de fertilización química, con alguna influencia de nitrato de origen orgánico en zonas mixtas y de aguas residuales en algunas áreas urbanizadas.

Esto confirma la distribución de la contaminación observada en los mapas de isonitratos, la cual está influenciada por los distintos usos existentes, manifestando concentraciones de nitratos reducidas en las inmediaciones de la Albufera, y en áreas urbanas, debido a las diferencias en el tipo y dosis de abonado o a la ausencia de fertilización.

TIERRA DE BARROS

Actualmente está en estudio la declaración como zona vulnerable la masa de agua subterránea de Tierra de Barros perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Esta zona vulnerable se localiza en la zona centro-oeste de la provincia de Badajoz, entre la vega del río Guadiana y las estribaciones montañosas de Sierra Morena. La zona de Tierra de Barros presenta un clima templado de tipo Mediterráneo subtropical. Este tipo de clima se caracteriza por tener veranos muy cálidos y secos e inviernos bastante suaves. La temperatura media anual se sitúa en los 15-17 °C. Los meses más cálidos se dan en periodo estival (julio y agosto), situándose la media de las máximas de los meses más cálidos entre 32-35 °C. Las temperaturas medias de las mínimas de los meses más fríos, entre 2 y 4 °C.

El régimen de precipitaciones se caracteriza por presentar una estación húmeda que abarca desde el principio del otoño hasta la mitad de la primavera, con máximos que suelen darse en los tres últimos meses del año y una estación seca sin apenas lluvias que dura, como se ha dicho, entre 4 y 5 meses.

Esta MASub presenta una caracterización agraria característica en la que claramente se podrían distinguir dos zonas bien diferenciadas en cuanto a usos de suelo se refiere: una en la que predominan los viñedos y olivares en secano, situada en la parte oriental de la masa de agua, y otra en la parte occidental de la masa, cuya superficie está ocupada mayoritariamente por cultivos herbáceos en secano. Los cultivos de regadío en el periodo 2000-2009 tan solo representan el 9,86 % de la superficie total de la MASub. De este modo, los cultivos mayoritarios en la MASub son los cultivos herbáceos, el viñedo y el olivar, presentándose estos dos últimos en la mayor parte de los casos como cultivo único aunque en un menor porcentaje también se encuentran asociados.

Según el calendario de las prácticas agrícolas desarrolladas en el municipio de Almendralejo, uno de los municipios más representativos dentro de la masa de agua Tierra de Barros, se considera que los cereales reciben un abonado de fondo en octubre-noviembre-diciembre y un abonado en cobertera en febrero-marzo, el viñedo recibe un abonado nitrogenado en diciembre-enero-febrero y, en el caso del olivo, el abonado se realiza en noviembre.

La figura siguiente muestra el mapa de cultivos y las explotaciones ganaderas.

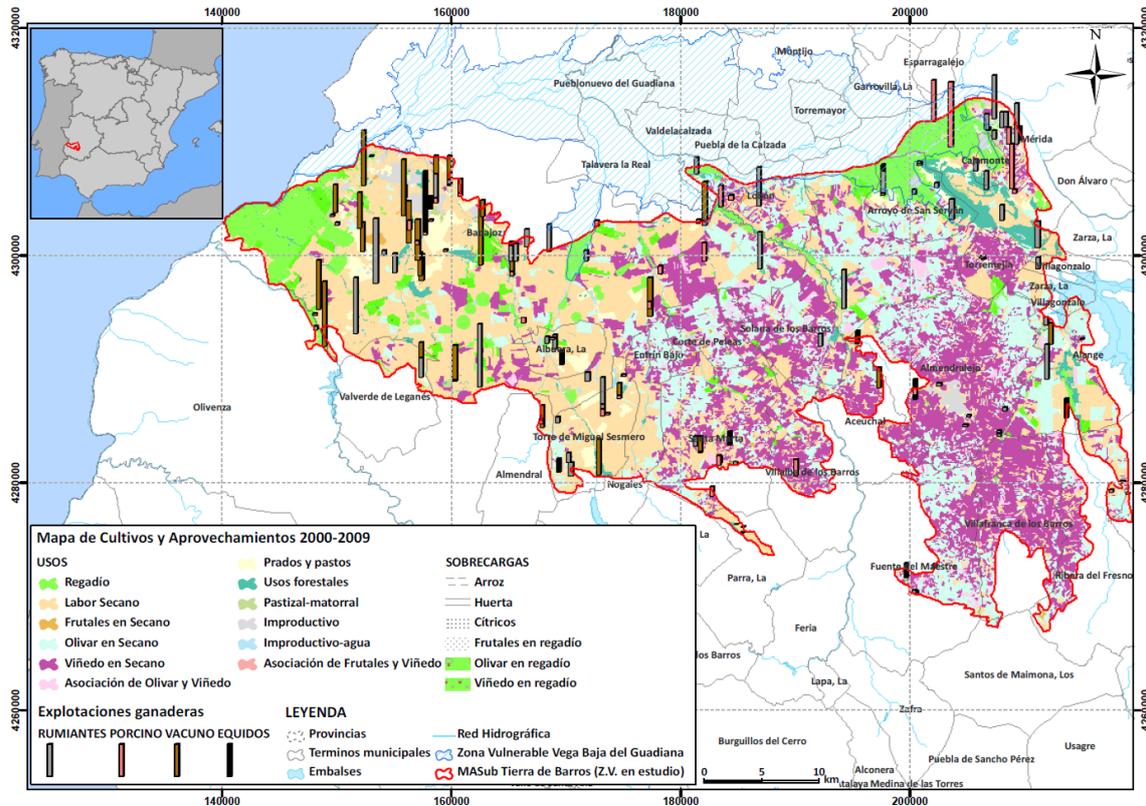


Figura 7.1. Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y localización de explotaciones ganaderas. MASub Tierra de Barros

Las encuestas realizadas para comprobar la adaptación de los agricultores de la zona al Programa de Actuación de Extremadura han determinado que éste se cumple para los cultivos de olivar y viña localizados mayoritariamente en la mitad oriental del MASub. Cabe destacar que al no estar Tierra de Barros declarada como zona vulnerable, el Programa de Actuación no sería de obligado cumplimiento, además de no indicarse en el mismo ninguna limitación específica para el cultivo de la Vid.

Por lo tanto, de las encuestas realizadas se concluye que las épocas de aplicación del abono mineral y del estiércol no coinciden con las fechas establecidas, pero estas no contradicen ninguna norma del Programa.

Respecto a la actividad ganadera, sobre todo rumiantes y cerdos, se localiza fundamentalmente en la mitad occidental de la MASub y en el extremo noreste de la misma.

Según la caracterización geológica e hidrogeológica, la MASub se emplaza sobre los materiales detríticos cuaternarios y neógenos depositados durante el relleno del sector sur de la cuenca cenozoica del Guadiana. Estos materiales se depositaron en tres ciclos sedimentarios, el ciclo terciario durante el cual se depositaron la formación fluvial (Facies Almendralejo y Facies Badajoz), el ciclo pliocuaternario representado por depósitos de costras calcáreas y el ciclo cuaternario durante el cual se produce el encajamiento y depósito de la actual red hidrográfica. Se distinguen por tanto dos grandes conjuntos acuíferos diferentes: los acuíferos de origen terciario (facies Almendralejo y la facies Badajoz) y los acuíferos de origen cuaternario (coluviales y aluviales). A escala regional, se puede hablar de un único

acuífero terciario-cuaternario con un espesor entre 20 y 120 m en el que su sustrato impermeable lo conforma el Mioceno arcilloso. Su comportamiento es libre, aunque en ocasiones las facies Neógenas se pueden encontrar confinadas o semiconfinadas por las arcillas cuaternarias y/o pliocuaternarias, q en ese caso funcionarían como acuitardos.

La recarga se produce fundamentalmente por la infiltración directa de la precipitación y en menor medida, por medio de retornos de riego. La descarga se produce hacia la red de drenaje superficial, por las extracciones y por transferencias laterales hacia la MASub contigua de Vegas Bajas. La dirección de flujo predominante de sur a norte, siguiendo aproximadamente la dirección que toma la red de drenaje superficial (figura 7.2).

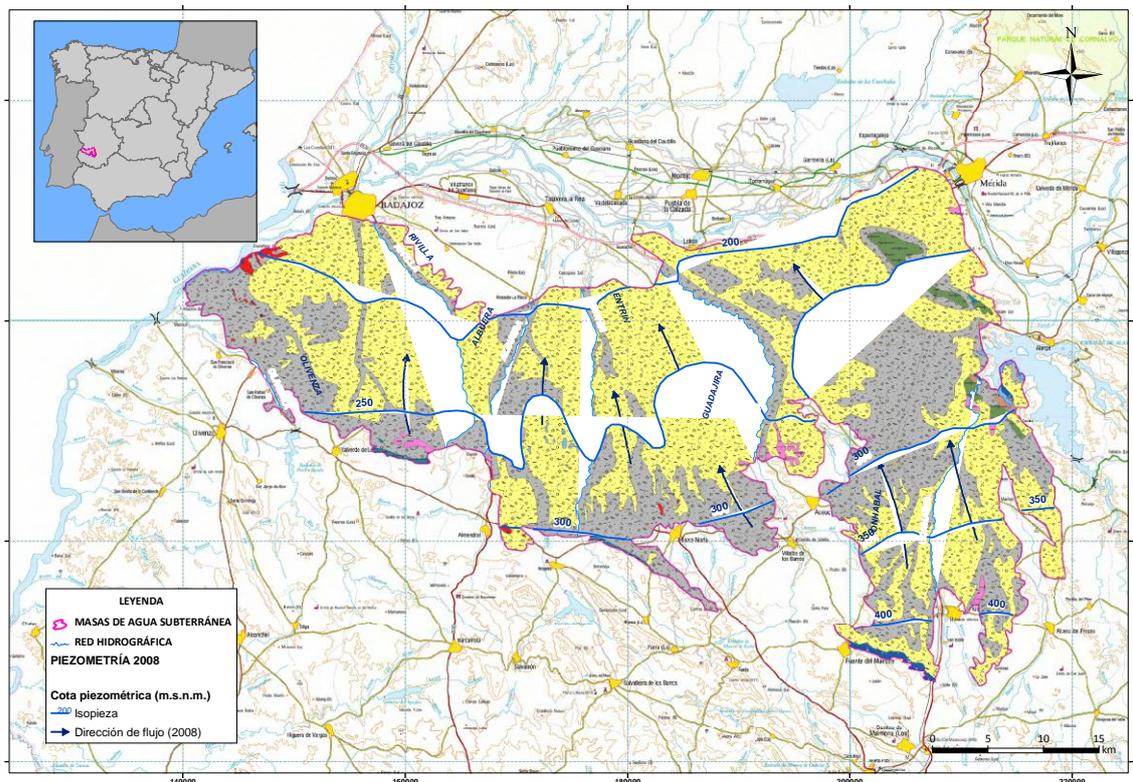


Figura 7.2. Mapa piezométrico para el año 2008. MASub Tierra de Barros Modificado del IGME

El estudio de evoluciones piezométricas registradas desde el año 2002 hasta el 2013 se ha observado distintos comportamientos piezométricos por sectores: el sector centro-oriental de la MASub apenas se registra variaciones de nivel, mientras que en el resto del acuífero terciario estudiado, se observan variaciones interanuales del nivel más o menos acusadas que reflejan más claramente los ciclos extractivos, con mínimos en agosto-septiembre y máximos en marzo-abril. Las mayores oscilaciones se obtienen en el sector oriental de la masa al noreste de Almendralejo.

Se observa un aumento de los niveles de base del acuífero terciario a principios del año hidrológico 2009/2010. Este ascenso de la piezometría se corresponde con un incremento de las precipitaciones de ese año.

Los resultados obtenidos del estudio de contaminación por nitratos a partir de las redes oficiales de calidad, para la fecha de octubre de 2012, muestran que las mayores concentraciones de nitratos de esta MASub se localizan en la zona del aluvial del río Guadajira, y en el área más noroccidental de la masa de agua subterránea.

En el estudio de la evolución de las concentraciones de nitratos diciembre de 2001 hasta octubre de 2012 se ha observado que las concentraciones medias en el acuífero terciario-cuaternario para este periodo de tiempo son de 70 mg/l. Si se diferencia entre el acuífero terciario y el cuaternario, las concentraciones de nitratos que se registran en los aluviales cuaternarios varían en función del aluvial captado: en el aluvial del río Guadajira se registran unas concentraciones superiores a 100 mg/l, mientras que en el aluvial de la Albuera o al sur de Arroyo de Serván las concentraciones son inferiores (entre 40 y 55 mg/l).

A partir de los datos de que se dispone, se ha realizado un estudio comparativo de la evolución de la concentración de nitratos respecto a la evolución piezométrica, pluviométrica, y el calendario agronómico. Tan solo se ha podido apreciar una relación clara entre la evolución de los nitratos del acuífero cuaternario superficial y la pluviometría de la zona: tras un periodo de lluvia intenso las concentraciones de nitratos aumentan debido al proceso de lixiviado del nitrato del suelo.

Para corroborar, ampliar y completar estos estudios, se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de la zona vulnerable. La primera de ellas tuvo lugar durante el mes de agosto de 2012, mientras que la segunda se llevó a cabo en junio de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua que caracterizan tanto el acuífero cuaternario como el terciario, así como puntos que caracterizan de manera conjunta ambos acuíferos. También se ha tomado muestras de las aguas de la EDAR, tanto de entrada como de salida de las instalaciones (figura 7.3).

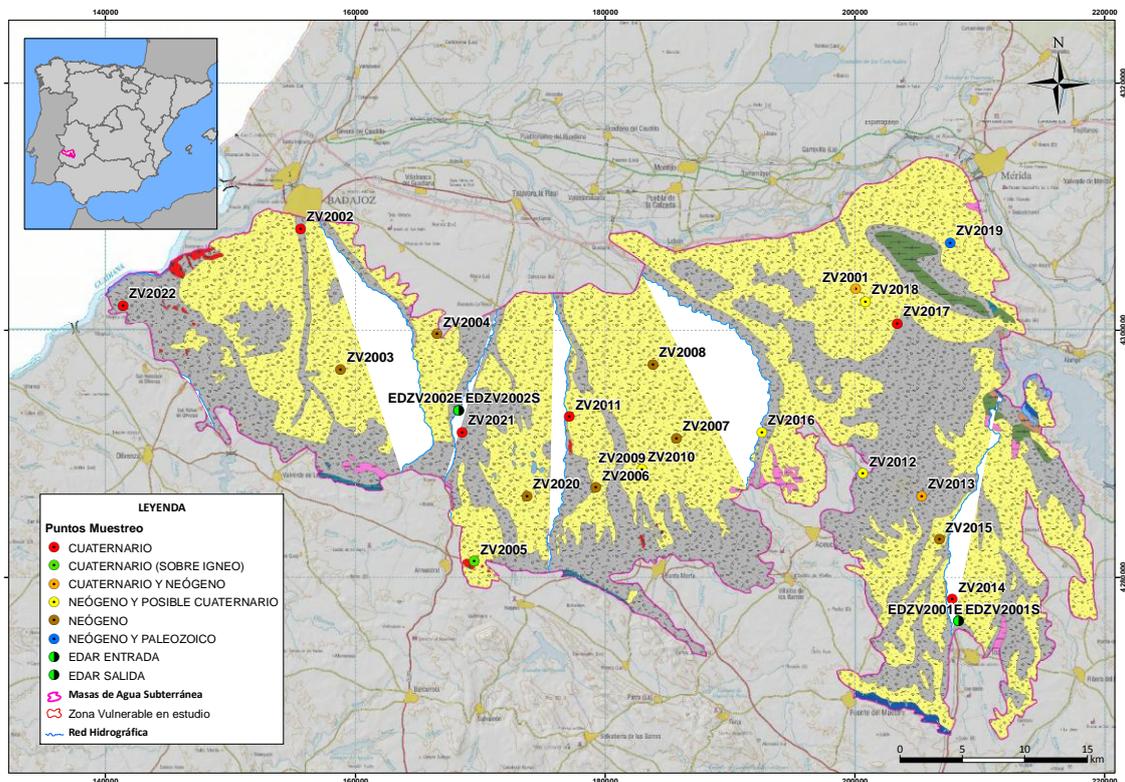


Figura 7.3. Situación de los puntos de la red de muestreo (agosto de 2012 y junio de 2014) de la Z. V. Tierra de Barros sobre cartografía litoestratigráfica de la MASub

A partir de los análisis de las muestras recogidas en estas dos campañas de campo se han clasificado la mayoría de las aguas del acuífero cuaternario como aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, mientras que en el acuífero terciario predominan las facies cloruradas cálcicas y/o magnésicas. Los puntos que caracterizan la mezcla de ambos acuíferos registran mayoritariamente facies mixtas. Esta diferenciación se aprecia en agosto de 2012, mientras que en junio de 2014 las facies de los acuíferos no se diferencian tan claramente.

Respecto a la concentración en nitratos, los resultados obtenidos en las campañas propias son diferentes a la obtenida mediante la red oficial de calidad (figura 7.4) debido a que tanto la distribución como las características de los puntos de muestreo de estas campañas son diferentes.

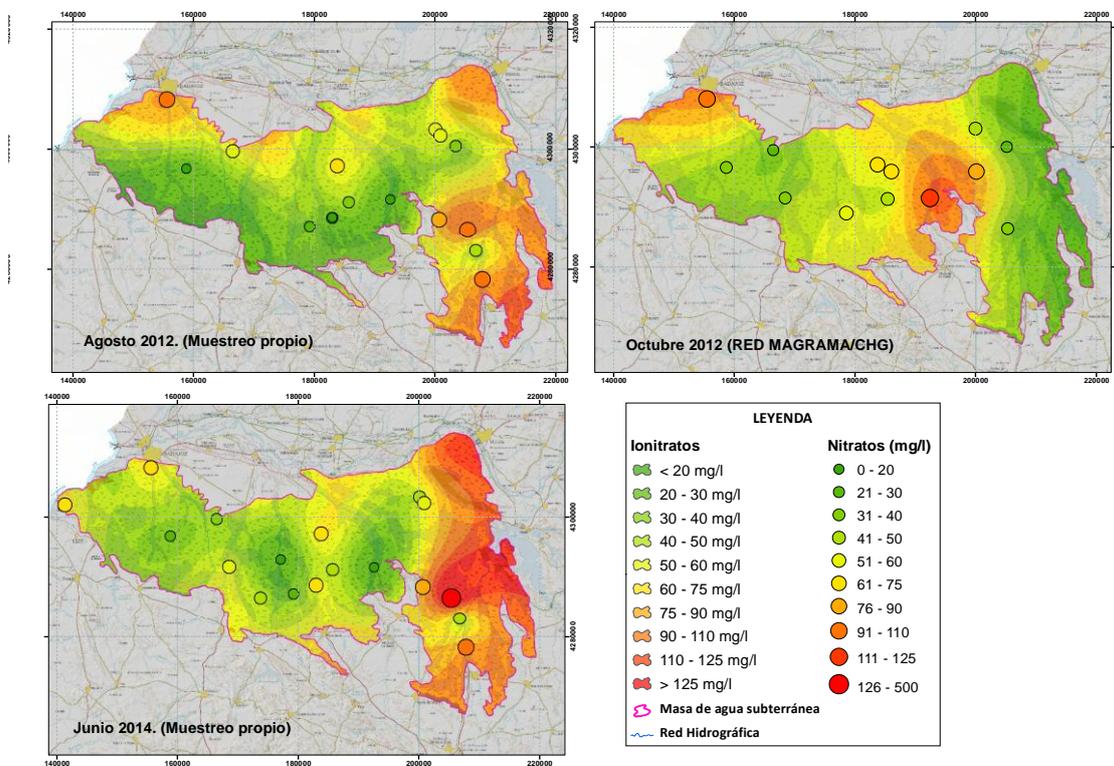


Figura 7.4. Mapas de concentración de nitratos. Campaña 2012 y 2014. Z. V. Tierra de Barros

Las mayores concentraciones de nitratos se registran en los acuíferos cuaternarios de la zona oriental de la MASub, con valores entre 90 y 100 mg/l, siendo las de junio de 2014 mayores que las obtenidas en agosto de 2012.

El resto de la MASub, salvo en zonas puntuales del límite noroccidental, presenta concentraciones por lo general menores de 60 mg/l. Se registran zonas que en alguna época tienen concentraciones de nitratos más reducidas.

El estudio multi-isotópico en la zona de Tierra de Barros ha podido identificar el origen de la contaminación por nitrato en la mayoría de muestras analizadas. En la mayor parte de las muestras, el origen de los nitratos estaría relacionado con fertilizantes amoniacales sintéticos, bien influenciado bien con una posible participación de nitrato natural del suelo, bien en zonas donde se registran procesos de atenuación natural.

Se han determinado además otro grupo menor de muestras con un origen del nitrato relacionado con residuos ganaderos y/o con agua residuales. Estas muestras se reparten por toda la extensión de la Z.V., si bien en el extremo sureste de la MASub, entre Almendralejo y Villafranca de los Barros, es este origen orgánico el mayoritario.

Por último, en algunas muestras, no ha sido posible la determinación del origen de nitratos con exactitud, puesto que su composición isotópica puede proceder tanto de fertilizantes inorgánicos como orgánicos desnitrificados.

Se han identificado procesos de desnitrificación que son especialmente importantes en algunas muestras. Estos procesos se registran en toda la MASub pero actúan de manera heterogénea, dado que en algunas muestras parece capaz de eliminar de manera eficiente la contaminación del NO_3^- mientras que en otras zonas este proceso de atenuación es poco significativo. Esto explicaría los bajos contenidos en nitratos registrados en algunas zonas de la MASub durante las campañas de campo realizadas.

VEGAS BAJAS DEL GUADIANA

La zona vulnerable de Vegas Bajas comprende las superficies pertenecientes a las Zonas Regables de Montijo y Lobón, en la zona centro occidental de la provincia de Badajoz. El eje económico de ésta región, de carácter agroalimentario, lo conforma el río Guadiana, que atraviesa de oeste a este esta zona.

Pertenciente a la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, se localiza en la parte media de la Cuenca, abarcando la mayor parte de la Masa de Agua Subterránea (MASub) Vegas Bajas del Guadiana.

El estudio agroclimático determina que la zona vulnerable de Vegas Bajas presenta un clima templado de tipo mediterráneo subtropical, con veranos cálidos y secos e inviernos suaves y húmedos. La pluviometría media anual se sitúa entre los 400 y 600 mm, teniendo un período seco con una duración media de entre 4 y 5 meses, comenzando en junio y alargándose hasta mediados de octubre. Las máximas precipitaciones se dan en los meses de noviembre y diciembre y es destacable la alta variabilidad de precipitaciones que pueden darse de unos años a otros.

En cuanto a los usos del suelo, actualmente, en la masa de agua subterránea de Vegas Bajas, más de la mitad de su superficie es ocupada por las tierras de cultivo en regadío; dentro de ellas, son los cultivos herbáceos los que adquieren una mayor importancia. Cabe destacar, dentro de este uso, la superficie dedicada a los cultivos herbáceos de maíz y tomate, ha disminuido ligeramente desde los años 80-90, y ha aumentado la superficie de frutales en regadío y arroz.

No se puede decir que exista una intensa actividad ganadera en esta zona de estudio. No obstante, el mayor censo lo representa el ganado ovino y porcino, aparte de las aves, que presentan un censo elevado pero en muy pocas explotaciones.

La figura siguiente muestra el mapa de cultivos y las explotaciones ganaderas.

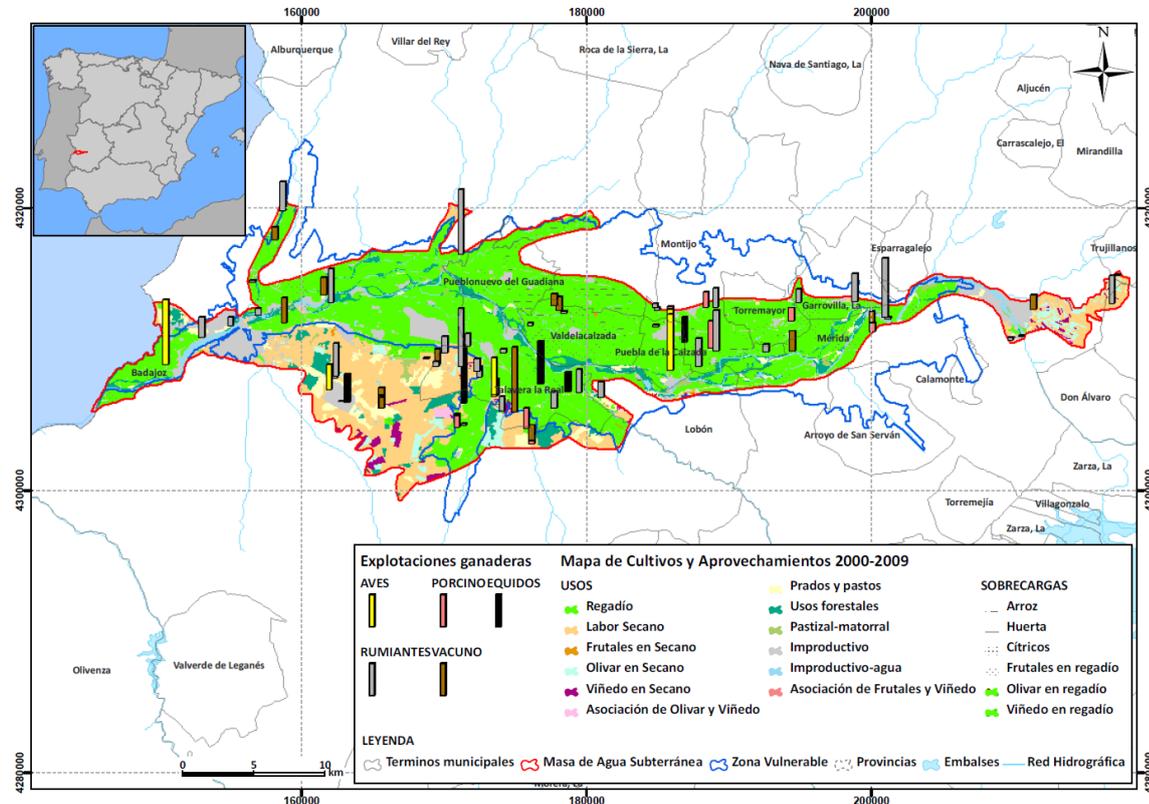


Figura 7.1. Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y localización de las principales explotaciones ganaderas. MASub Vega de Guadiana

Las encuestas realizadas para comprobar la adaptación de los agricultores de la zona al Programa de Actuación han señalado que las prácticas de fertilización se caracterizan por el uso principalmente de abono mineral, no realizándose abonado orgánico en ninguna de las encuestas realizadas.

El factor del Programa de Actuación con mayor cumplimiento para todos los cultivos encuestados es la Época de abonado mineral, que se cumple en todos los casos encuestados. El Grado de fraccionamiento es el factor que presenta un mayor porcentaje de incumplimiento en las encuestas realizadas, centrándose sobre todo los cereales de invierno y el maíz.

El tipo de abono mineral empleado se cumple en todos los cultivos, excepto en los cereales de invierno, en donde se utilizan abonados complejos en el abonado de fondo, incumpliendo lo establecido por el Programa de Actuación.

Por último señalar que las dosis máximas de N aportado en el suelo es el factor que presenta mayor diversidad de resultados en los cultivos encuestados. Este factor se cumple al 100% concretamente en los cultivos de frutales de hueso, en los cereales de invierno y en el arroz.

Según la caracterización geológica e hidrogeológica, la MASub está constituida por materiales detríticos cuaternarios de los aluviales (en su mayoría terrazas) de los ríos presentes, de permeabilidad muy alta. Los espesores se calculan en torno a 10 m, alcanzando en algunas columnas máximos de 16 m. Esta MASub limita al Norte y Sur con afloramientos de formaciones terciarias de permeabilidad moderadamente baja, tratándose de límites abiertos con sentidos de flujo de entrada. Concretamente, el límite meridional lo constituye la MASub Tierra de Barros.

El funcionamiento hidrogeológico de este acuífero detrítico Cuaternario es de carácter libre, en el que la recarga se produce fundamentalmente por la infiltración directa de la precipitación, por medio de aportes laterales desde la vecina MASb Tierra de Barros y a través de retornos de riego. El flujo del agua se produce hacia los ríos, siendo éstos la descarga natural de la formación.

La figura siguiente muestra la superficie piezométrica de la MASub generada por el IGME para el año 2006-2007.

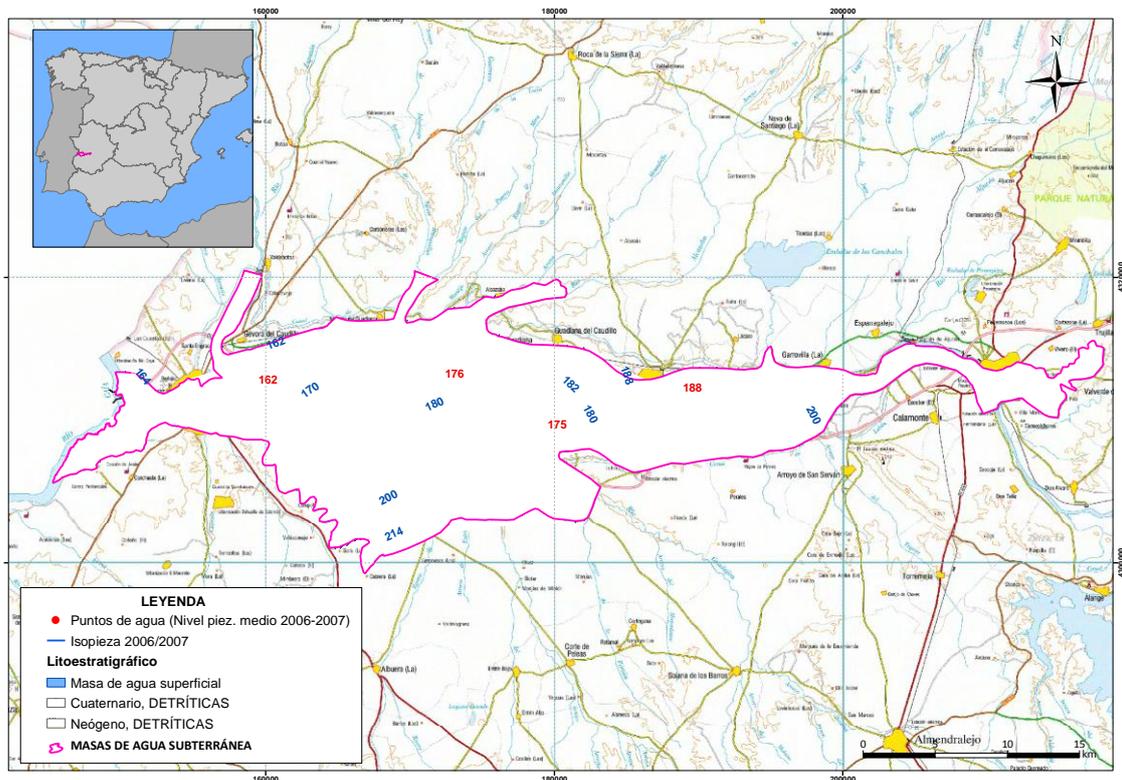


Figura 7.1. Mapa piezométrico para el año 2006-2007. MASub Vegas Bajas. Modificado del IGME

En la mitad occidental de la masa la dirección predominante de flujo es sureste-noroeste, mientras que en la mitad oriental el flujo se dirige hacia el río Guadiana. Las líneas de flujo convergen hacia la red de drenaje superficial y fundamentalmente hacia el río Guadiana. Se aprecian varios conos de descensos provocado por las extracciones.

El estudio de evoluciones piezométricas se ha observado como los niveles registrados por las redes oficiales presentan una tendencia general ligeramente descendente hasta el año 2009, con marcadas

variaciones estacionales. Las oscilaciones anuales del nivel piezométrico no son superiores a los 3 metros. Pero a partir noviembre de 2009, hay un cambio en la tendencia: los niveles registran un ascenso de orden métrico, llegando a los 5 metros en alguna zona. Tras analizar la piezometría con los registros pluviométricos de las estaciones del SIAR y de la AEMET de la zona se aprecia como este ascenso generalizado se debe al incremento de las precipitaciones registradas en el invierno del año hidrológico 2009/10, que recargaron este acuífero aumentando sus reservas de forma excepcional.

Los resultados obtenidos del estudio de contaminación por nitratos a partir de las redes oficiales de calidad, para la fecha de octubre de 2012, muestran que las mayores concentraciones de nitratos de esta MASub se localizan en la margen derecha del río Guadiana, al sur de la localidad de La Puebla de la Calzada.

En el estudio de la evolución de las concentraciones de nitratos desde marzo de 2002 hasta octubre de 2012 se ha observado que las concentraciones registradas están, en la mayoría de los casos, por encima de 50 mg/l. En esta evolución, los puntos con una mayor concentración de nitratos en todo el registro histórico (10 años) se localizan también en la margen derecha del río Guadiana.

Si se observa la evolución de los nitratos en el punto CA0409002, situado en Puebla de la Calzada, se aprecia como a partir del año 2006/07 los valores máximos de nitratos anuales se producen en junio. Estos incrementos regulares en esta fecha de finales de primavera se pueden asociar a prácticas agrarias en esta zona del acuífero. Por tanto, a priori, en base a los datos históricos, se puede determinar que el origen de la contaminación por nitratos en los últimos años y en esta zona del acuífero cuaternario tiene su origen en las prácticas de abonado.

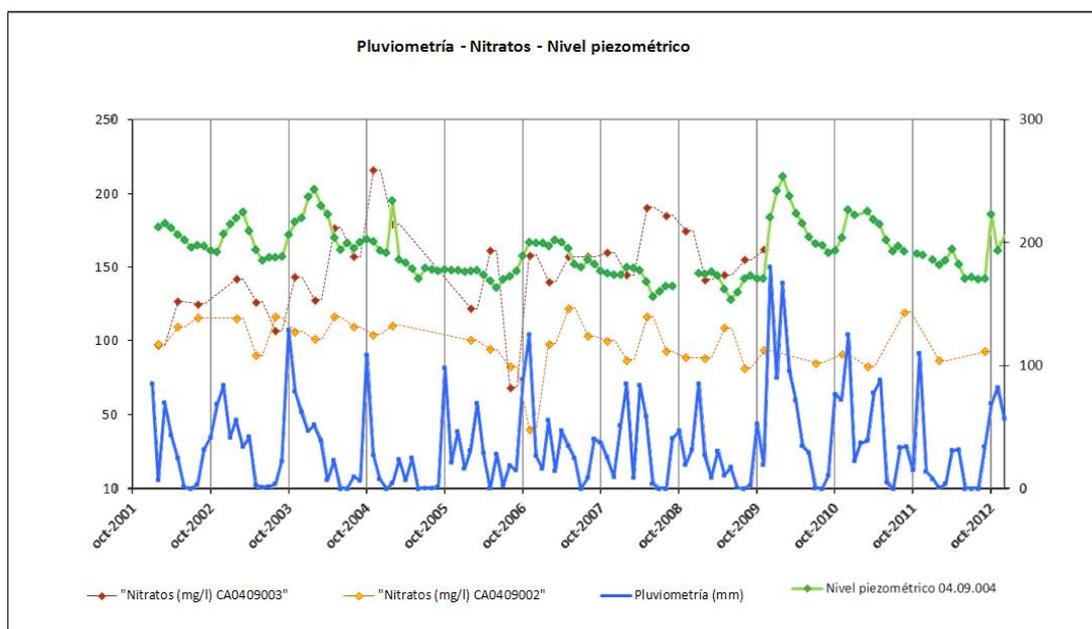


Figura 7.2. Comparación entre la evolución piezométrica, pluviométrica y de nitratos

Para corroborar, ampliar y completar estos estudios, se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de la zona vulnerable. Dado que la información obtenida del análisis histórico realizado a partir de las redes oficiales estaba limitada por la falta de registros, los resultados obtenidos en las campañas propias incrementan ampliamente esta información, obteniendo una distribución de los nitratos en las dos campañas mucho más detallada.

La primera campaña de campo tuvo lugar durante el mes de agosto de 2012, mientras que la segunda se llevó a cabo en junio de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua que caracterizan el acuífero cuaternario aluvial, como de aguas residuales (EDAR) o desagües de riegos (figura 7.3).

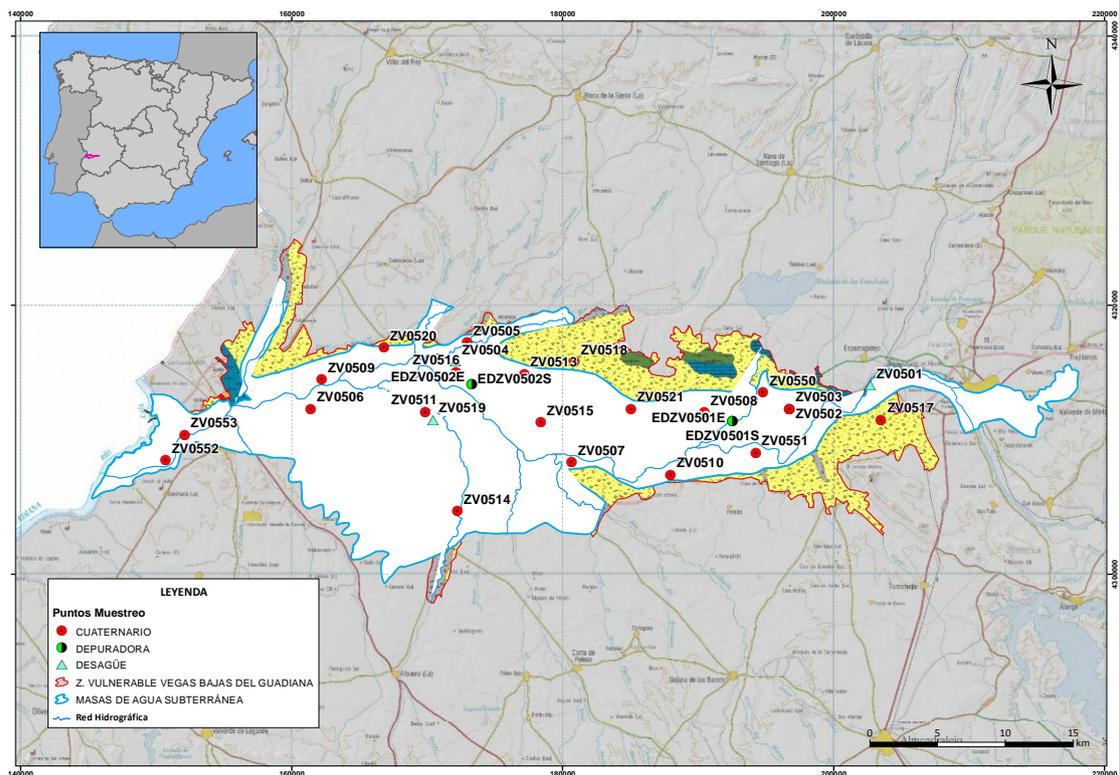


Figura 7.3. Situación de los puntos de la red de muestreo (agosto de 2012 y junio de 2014) de la Z. V. Vegas Bajas sobre cartografía litoestratigráfica de la MASub

A partir de los análisis de las muestras recogidas en estas dos campañas de campo, se han clasificado las aguas del acuífero cuaternario de Vegas Bajas, como facies mixtas, sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas, no apreciándose grandes variaciones de una campaña a otra, si bien en junio de 2014 las facies son más cálcicas.

Atendiendo al contenido en nitrato, las mayores concentraciones se presentan en el borde septentrional de la MASub, en la zona central, a ambos márgenes del río Guadiana, y en el extremo oriental de la misma, (figura 7.4). Se observan pequeñas áreas por toda la MASub, donde las concentraciones de nitratos son inferiores a los 50 mg/l, llegando incluso a registrar concentraciones inferiores a 2 mg/l, (Pueblonuevo del Guadiana). Algunas de estas zonas con bajo nivel de nitratos coinciden con zonas de depresión del nivel piezométrico asociado a extracciones.

En esta campaña de 2014 las concentraciones en la zona central y en el borde septentrional de la MASub han aumentado ligeramente respecto a los de agosto de 2012, concretamente los valores de nitratos obtenidos en la margen derecha del río Guadiana. Dada la época del año en la que se ha realizado este muestreo (junio de 2014), este ascenso pudiera deberse a las prácticas de abonado, ya que, como se expuso en el apartado 3 del presente documento, en esta zona del acuífero la evolución de los nitratos estaba influenciada por la fertilización.

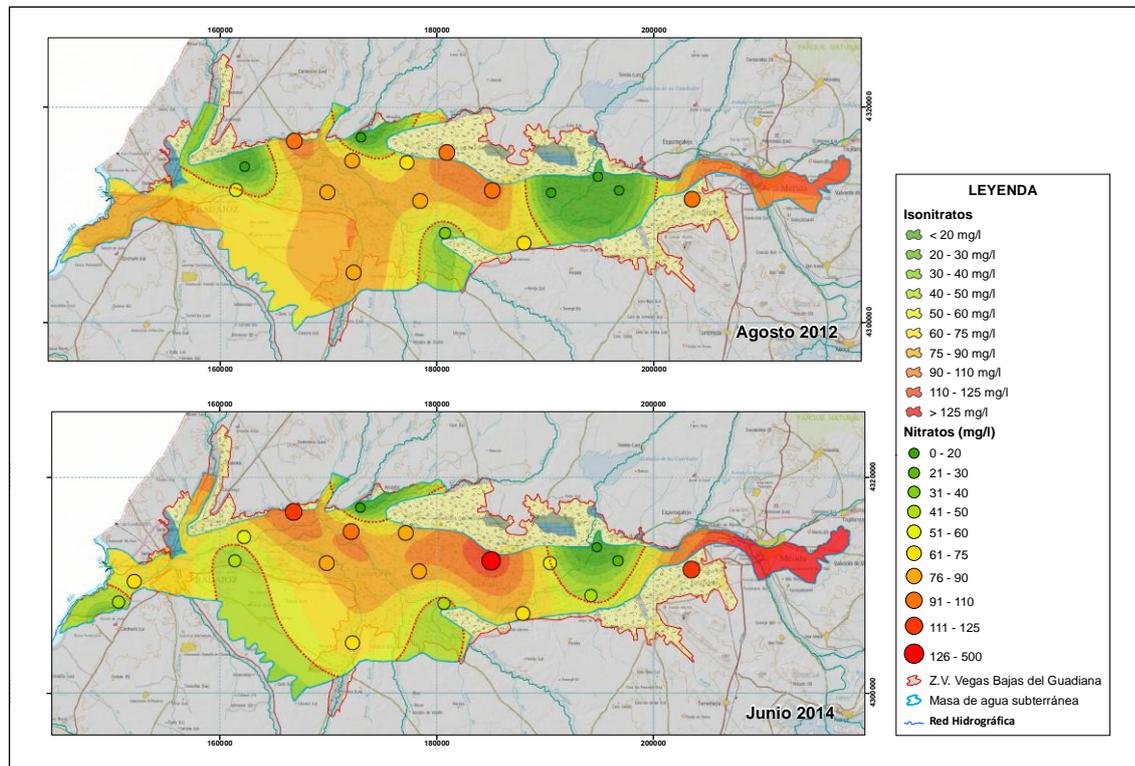


Figura 7.4. Mapas de concentración de nitratos. Campaña 2012 y 2014. Z. V. Vegas Bajas

Para determinar de forma más precisa el origen de la contaminación por nitratos en esta zona, además de las analíticas convencionales, se han llevado a cabo distintos análisis isotópicos, tanto de las aguas recogidas en las diferentes captaciones, como de las aguas residuales tomadas en las estaciones depuradoras.

A partir de estos análisis en la zona de estudio se ha podido identificar el origen del nitrato en la mayoría de muestras estudiadas. La mayor parte de las muestras situadas en la margen izquierda del río Guadiana tendría un origen ligado a los fertilizantes inorgánicos, en concreto a la nitrificación de fertilizantes amoniacales, excepto una de las muestras que presenta valores que sugieren una mezcla con fertilizantes nitrogenados (ZV0510).

El grupo de muestras de la margen derecha del río Guadiana tendría un origen del nitrato mixto. En algunas muestras el nitrato procede de la mezcla entre un nitrato orgánico y fertilizantes inorgánicos nitrogenados (no amoniacales) (ZV0520), mientras que en otras hay una mayor presencia de fertilizantes orgánicos y cierta influencia de aguas residuales (ZV0515 y ZV0516). Esta influencia orgánica ha sido confirmada utilizando isótopos de boro, aunque en la zona de estudio no ha sido posible distinguir con

claridad la posible influencia de residuos ganaderos y la de aguas residuales. Pese a ello, dada la situación de los puntos ZV0515 y ZV0516, aguas abajo y muy próximas a las poblaciones de Pueblonuevo de Guadiana y Valdelacalzada, y además el hecho de que entorno al punto ZV0516 no existan explotaciones ganaderas, hace que la hipótesis de la influencia de las aguas residuales cobre más peso.

Las bajas concentraciones de nitratos detectadas en algunas zonas de la margen derecha del río Guadiana tienen su explicación en los procesos de desnitrificación. Se ha estimado el grado de atenuación a través del fraccionamiento asociado a la desnitrificación con una eliminación superior al 80% para las muestras más desnitrificadas. La reacción parece estar relacionada con la oxidación de materia orgánica de la zona. Así mismo se han podido observar variaciones para algunas muestras entre los dos muestreos que sugieren que los procesos de desnitrificación varían temporalmente. Un seguimiento estacional en algunos puntos de esta zona permitiría una mejor comprensión de los factores que controlan el ciclo del nitrato, la evolución de la contaminación y especialmente los procesos de atenuación natural.

VEGA DE GRANADA

La zona vulnerable de Vega de Granada se localiza en las comarcas agrícolas de Vega de Granada y de Loja, ocupando una amplia llanura de inundación sin apenas relieves (a excepción de Sierra Elvira). Esta zona es atravesada por el río Genil y sus afluentes y se incluye casi en su totalidad dentro de la masa de agua subterránea Depresión de Granada.

El estudio agroclimático determina que el clima de esta zona es de tipo mediterráneo, caracterizado por un régimen de humedad mediterráneo seco, pero en el que las diferencias térmicas entre las zonas más bajas (Vega Baja) y las más altas (Vega Alta) producen tres subtipos climáticos diferentes (según la clasificación de Papadakis); Mediterráneo subtropical, mediterráneo continental y mediterráneo templado. No obstante el cambio entre unas zonas y otras es muy gradual y las diferencias entre las temperaturas son mínimas.

Las máximas precipitaciones se dan en los meses de noviembre y diciembre y, en promedio, se mantiene un nivel similar de precipitaciones durante el invierno y la primera mitad de la primavera. Hay que destacar la alta variabilidad de precipitaciones que pueden darse de unos años a otros. Las máximas precipitaciones registradas en el último decenio se han producido en 2009 y 2012.

La caracterización agronómica refleja que el uso predominante en la MASub es la agricultura de secano, pero en la zona declarada como zona vulnerable dentro esta MASub el uso principal es el regadío (cultivos herbáceos mayoritariamente). Son el maíz y el espárrago los cultivos predominantes, localizándose el espárrago en los municipios situados en la mitad oeste y el maíz en los municipios situados en la mitad este de la zona de estudio. El segundo cultivo predominante dentro del uso de regadío es el olivar, que en los últimos años ha registrado un gran aumento de la superficie, mientras que la superficie de secano se ha mantenido prácticamente constante con el paso de los años.

La figura siguiente muestra el mapa de cultivos y las explotaciones ganaderas.

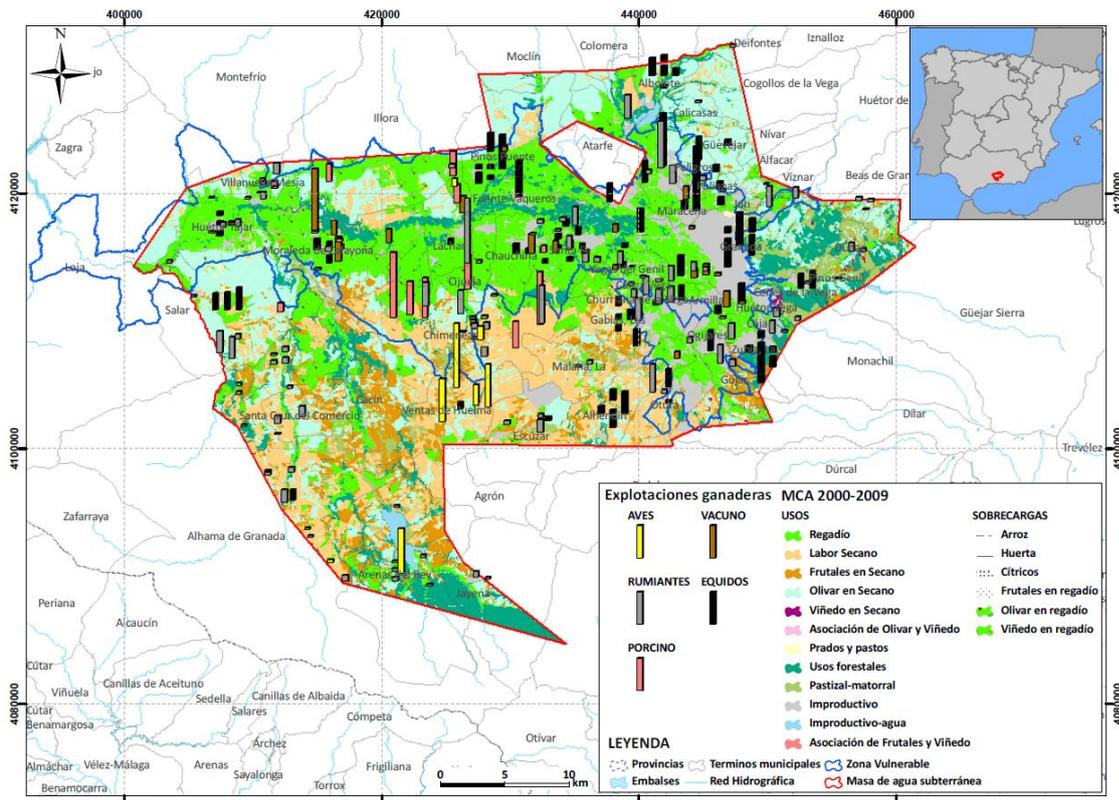


Figura 7.1. Mapa de Cultivos y Aprovechamientos y localización de explotaciones ganaderas. Vega de Granada

Las encuestas realizadas para comprobar la adaptación de los agricultores de la zona al Programa de Actuación, han determinado que la practica más habitual en la mayoría de los cultivos encuestados es el uso exclusivo de abono mineral (representando el 61% del total de los cultivos encuestados) o bien el uso de abono mineral y orgánico para un mismo cultivo (representando el 20% del total de los cultivos encuestados).

El factor que mejor cumple el Programa de Actuación de Andalucía para todos los cultivos encuestados en la zona es el *tipo y la época de abonado mineral*, mientras que el *grado de fraccionamiento* es el factor que presenta un mayor porcentaje de incumplimiento, aunque hay que señalar que lo establecido en el Programa de Actuación para este factor no es de obligado cumplimiento sino una recomendación. La *dosis máxima de N* aportado en el suelo es el factor que presenta mayor diversidad de resultados en los cultivos encuestados. Del total de las encuestas que presentan un incumplimiento de este factor es debido, en aproximadamente un 52% a un exceso de abono mineral y en un 48% a un exceso de abono de origen orgánico.

En cuanto a la actividad ganadera decir que las explotaciones avícolas con mayor censo corresponden a explotaciones de gallinas, perdices y pavos fundamentalmente que se localizan dentro de la MASub pero fuera de la zona vulnerable declarada. Los ruminantes se encuentran repartidos prácticamente por todos los municipios que conforman la masa de agua, concentrándose las explotaciones mayor censo dentro de la zona vulnerable, en superficies dedicadas al cultivo en regadío. El ganado porcino como el vacuno se concentra prácticamente en su totalidad dentro de los límites de la zona vulnerable declarada que se superpone sobre la masa de agua Depresión de Granada. El ganado equino está muy repartido por todos

los términos municipales de la MASub, tanto dentro como fuera de los límites de la zona vulnerable; sin embargo el mayor censo se encuentra en las explotaciones ubicadas en el interior de la zona vulnerable, concretamente en la mitad este de la misma.

Según la caracterización geológica e hidrogeológica, esta MASub es en general detrítica y permeable por porosidad intergranular, si bien existen horizontes acuíferos carbonatados y calcareníticos permeables por fisuración-karstificación o mixta. Se pueden diferenciar dos subunidades hidrogeológicas (figura 7.2):

Subunidad del Mioplioceno

En esta subunidad no se puede definir un único acuífero, si bien existen diversos materiales de interés acuífero sin conexión entre ellos. Entre los acuíferos existentes, destacar *el aluvial y terrazas del Río Genil* en el sector de Huétor Tájar-Villanueva de Mesía, cuyo comportamiento está estrechamente ligado al funcionamiento del río Genil.

Subunidad de la Vega de Granada

Se trata de un acuífero detrítico con dos sectores diferenciados según su comportamiento hidráulico, el sector de la Vega Baja, y el de la Vela Alta.

El primero de estos sectores es el tradicionalmente conocido como acuífero de Vega Baja, el cual está formado por el aluvial Holoceno, considerado como cuaternario con altas transmisividades. Está en conexión hidráulica con el sector nororiental denominado Vega Alta, la cual se comporta como un acuífero-acuitardo y presenta unas transmisividades menores.

En la subunidad de la Vega de Granada las entradas al sistema se producen fundamentalmente en el sector oriental, a través de infiltración de lluvia y de los cauces, por de las aportaciones laterales de borde procedentes de escorrentía de materiales menos permeables miopliocenos y por las entradas desde el sistema carbonatado de Sierra Elvira. Las salidas se producen en la mitad occidental mediante el drenaje natural a los ríos y manantiales y por bombeos. La circulación general en todo el acuífero es de este-oeste desde las zonas de alimentación hacia las zonas de descarga.

La figura siguiente muestra la superficie piezométrica generada por el IGME para el acuífero de la Vega de Granada, en el año 2008.

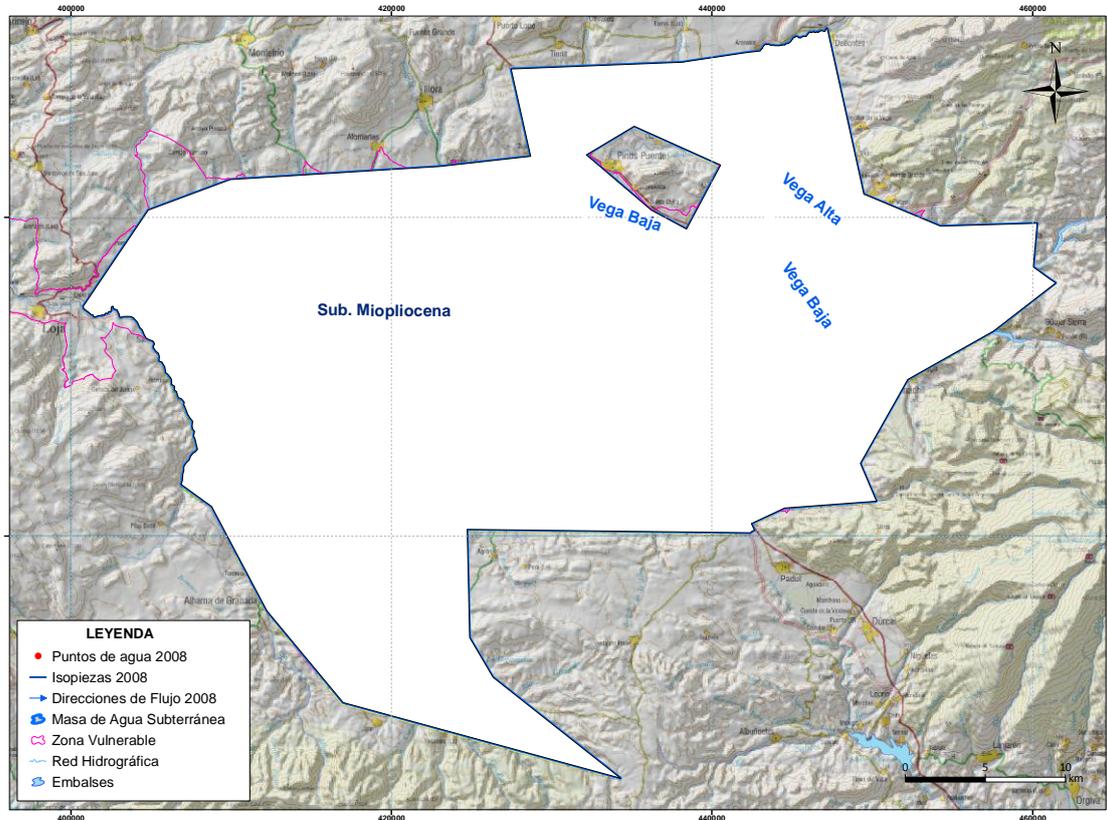


Figura 7.2. Mapa piezométrico para 2008 del acuífero de la Vega de Granada. Modificado del IGME

El estudio de evoluciones piezométricas ha puesto de manifiesto como el comportamiento, a escala interanual es bastante regular, dado que el acuífero responde claramente a los ciclos extractivos. En general, los máximos niveles (aguas altas) corresponden a los meses de mayo-junio-julio, y los mínimos a los de octubre-noviembre-diciembre. Las recuperaciones de los niveles tras cada ciclo de bombeo son en general rápidas, dados los altos valores de permeabilidad del acuífero.

Los descensos más acusados se dan en la zona de recarga del acuífero mientras que la zona de descarga, que posee una mayor modulación tanto inter como interanual, presenta unos descensos menores.

Hasta el año 2008-2009 la tendencia general del acuífero era de descenso, pero a partir del año 2008 los registros piezométricos permiten observar una recuperación de los niveles en todos los sectores. Este aumento de los niveles se puede relacionar con un incremento en las precipitaciones, con la consiguiente crecida en las aportaciones recibidas en el acuífero.

Los resultados obtenidos del estudio de contaminación por nitratos a partir de las redes oficiales de calidad, para la fecha de octubre de 2010, muestran como las mayores concentraciones de nitratos de esta MASub se dan en la subunidad Miopliocena, mientras que la subunidad Vega de Granada registra unas concentraciones más bajas. Dentro de esta subunidad, existe una diferenciación en la distribución de los nitratos en el sector de la Vega Baja: la zona norte o área de descarga del acuífero tiene una mayor

concentración, siendo el máximo de 95 mg/l, mientras que el área de recarga presenta unos valores de nitratos menores.

En el estudio de la evolución de las concentraciones de nitratos se ha observado como el valor promedio de los nitratos, tanto en la Vega Alta como en la zona de recarga de la Vega Baja, no han superado los 40 mg/l en todo el registro histórico del que se dispone (2004/05-2009/10), mientras que en la zona de descarga de la Vega Baja, los valores promedio registran mayor variabilidad, siendo en todos los casos superiores a los 40 mg/l llegando hasta los 87 mg/l.

Por otra parte, en el acuífero del río Genil de la subunidad Mioplíocena, los nitratos medios anuales son superiores a 50 mg/l.

Se ha observado una relación directa entre las precipitaciones y la evolución de la concentración de nitratos: Tras un período de lluvias intenso, como el observado en el año 2009/2010, los nitratos descienden, debido probablemente a la dilución del agua por la llegada de nuevos aportes. Este efecto se aprecia de manera rápida tanto en la zona de recarga del acuífero de la Vega Baja como en la zona de este acuífero que recibe los aportes laterales procedentes de Sierra Elvira. Sin embargo, en la zona de descarga se puede observar este mismo efecto pero con un periodo de retardo.

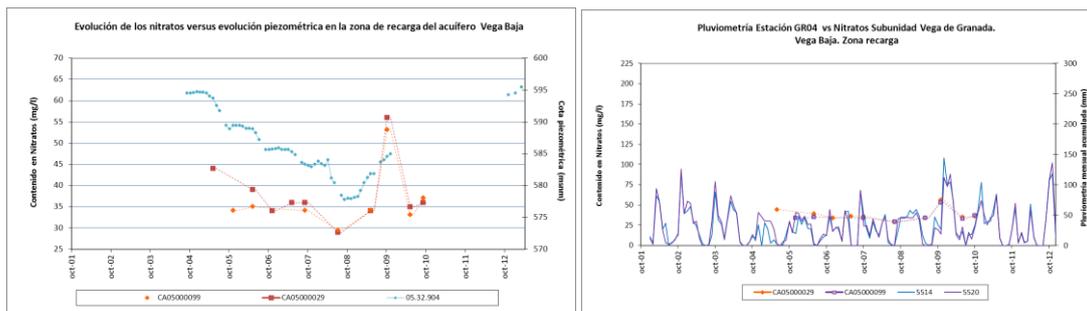


Figura 7.3. Comparaciones piezometría, concentración de nitratos y pluviometría en la zona de recarga de la Vega Baja

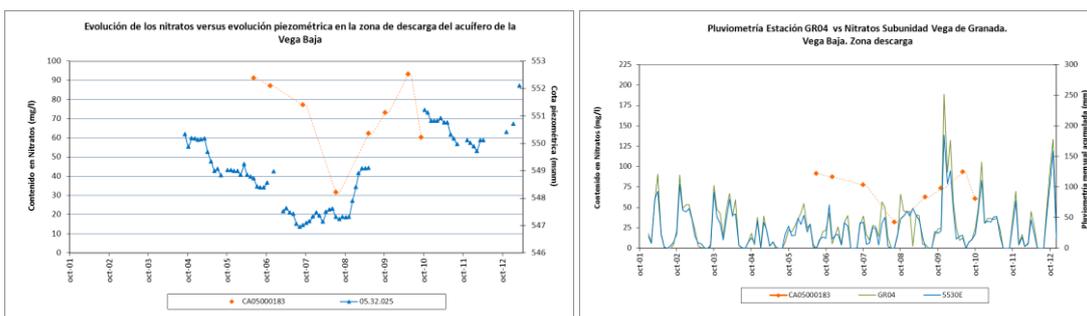


Figura 7.4. Comparaciones piezometría, concentración de nitratos y pluviometría en la zona de descarga de la Vega Baja

Para corroborar, ampliar y completar estos estudios, se han realizado dos campañas de muestreo dentro de los límites de la zona vulnerable. La primera de ellas tuvo lugar durante el mes de agosto de 2012, mientras que la segunda se llevó a cabo en junio de 2014. En ellas se tomaron muestras tanto de puntos de agua previamente seleccionados, como de aguas residuales (EDAR). La mayoría de los puntos

muestreados caracterizan el acuífero de la Vega Baja, pero también se han muestreado puntos en el acuífero de la Vega Alta y en el acuífero del aluvial y terrazas del río Genil de la subunidad Miopliocena.

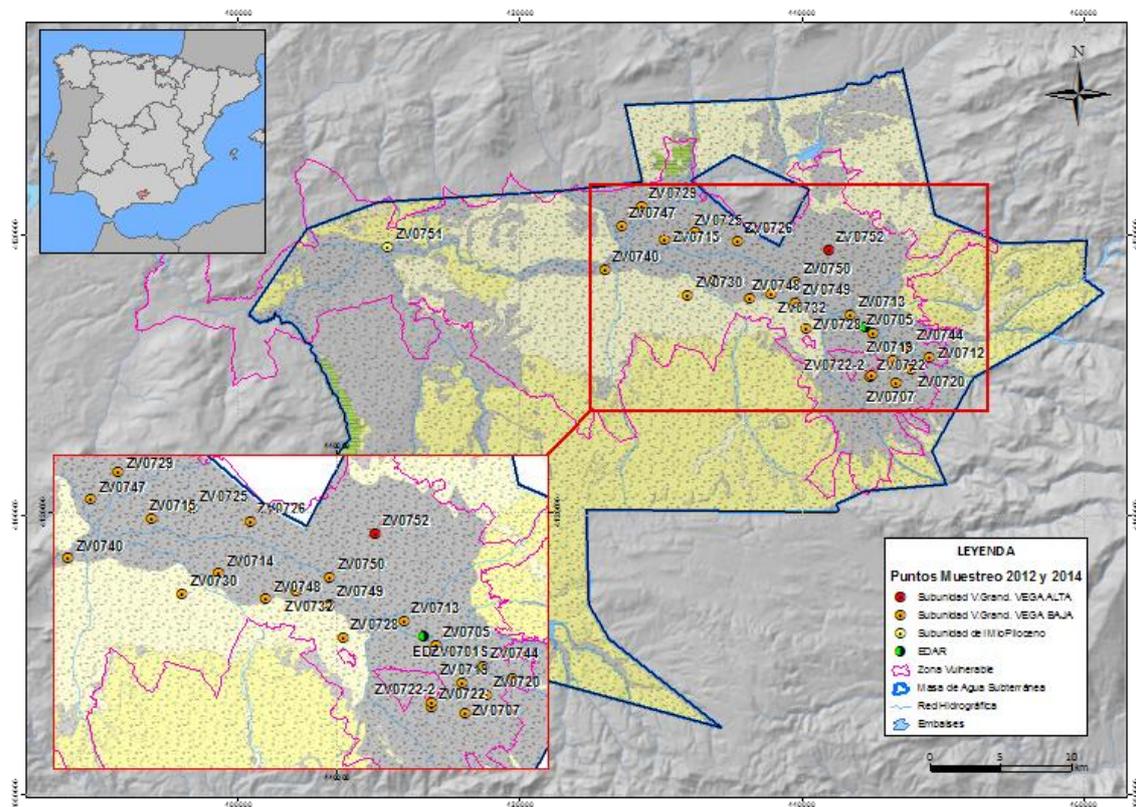


Figura 7.5. Situación de los puntos de la red de muestreo (agosto de 2012 y junio de 2014) de la Z. V. Vega de Granada sobre cartografía litoestratigráfica de la MASub Depresión de Granada

A partir de los análisis de las muestras recogidas en estas dos campañas de campo, se han clasificado las aguas del acuífero de la Vega Baja como bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas y en menor medida sulfatadas cálcicas. En líneas generales en la zona de recarga y en el área central del acuífero de la Vega Baja predominan las facies bicarbonatadas cálcicas, mientras que en la zona de descarga las facies tienen mayor proporción de sulfatos, presentando unas facies con componente aniónico mixto (bicarbonatos/sulfatados) o facies sulfatadas.

Respecto a la concentración en nitratos, los resultados obtenidos en las campañas propias corroboran la distribución obtenida en el acuífero de la Vega Baja mediante la red oficial de calidad. Las campañas de muestreo han arrojado nuevos datos de nitratos de la zona de descarga de este acuífero, en torno a las poblaciones de Santa Fe, Chauchina y Fuente Vaqueros, donde los valores de nitratos son inferiores a los 50 mg/l. Además se ha ampliado la información al acuífero de la Vega Alta, determinándose los valores de nitratos en junio de 2014, los cuales se sitúan entre 50 y 60 mg/l. Sin embargo, en el acuífero del aluvial y las terrazas del río Genil de la subunidad Miopliocena, los valores de nitratos detectados en esta fecha de 2014 discrepan de los obtenidos con la red oficial, con unos valores inferiores a los 20 mg/l, donde en octubre de 2010 se registró una concentración de 66 mg/l (punto ZV0751 también codificado como CA05000182)

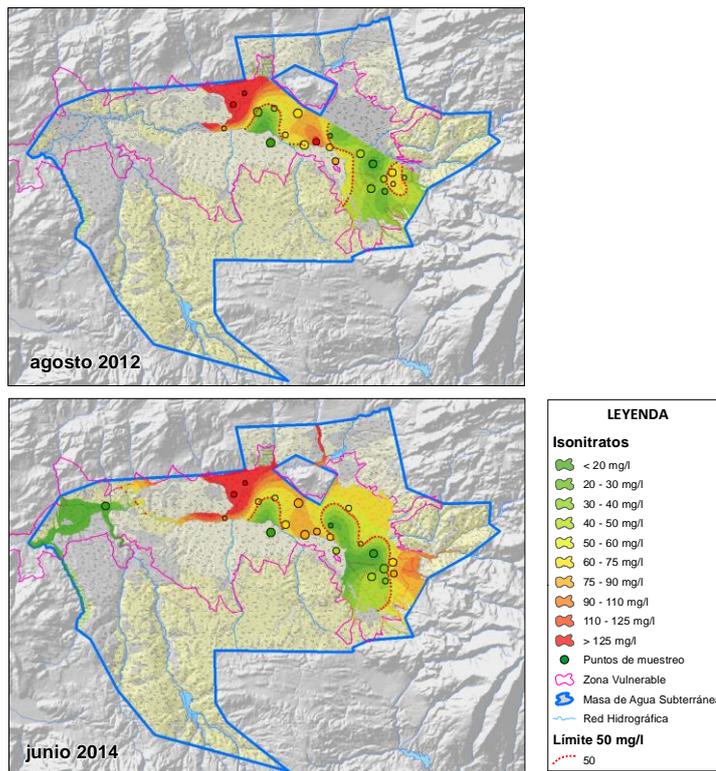


Figura 7.6. Mapas de concentración de nitratos. Campaña 2012 y 2014. Z. V. Vega de Granada

En el acuífero de la Vega Baja, se observa en ambas campañas una gradación de la concentración de nitratos de este a oeste, en el sentido del flujo subterráneo, de modo que en la zona de recarga del acuífero las concentraciones son menores, debido probablemente a los aportes de los ríos en esta zona, los cuales descargan de Sierra Nevada. A medida que se avanza hacia la zona de descarga del acuífero, las concentraciones aumentan superando en algunos casos los 200 mg/l.

En la zona de Chauchina - Fuente Vaqueros se registran unas concentraciones de nitratos menores al promedio de su entorno, debido probablemente al drenaje del acuífero que se produce en esta zona a través de los manantiales.

Según el estudio isotópico realizado, en la mayoría de las muestras pertenecientes a la zona sur de la Vega Baja, el nitrato puede tener un origen mixto (fertilizantes sintéticos amoniacales volatilizados, residuos ganaderos o aguas residuales). Las muestras de la Vega Alta (ZV0752) y el Mioplioceno (ZV0751) también están afectadas por un origen mixto de la contaminación, sobre todo, aguas residuales y fertilizantes sintéticos.

Para las muestras de la zona norte de la Vega Baja, el nitrato también tiene origen mixto en la mayor parte de las muestras, pero cabe destacar una zona entre Torre Abeca y Fuente Vaqueros en la que la contaminación está claramente causada por las aguas residuales.

Los procesos de desnitrificación se producen de manera puntual y limitada. No se ha observado una correlación química o isotópica que permita identificar el papel de la materia orgánica y de los sulfuros como catalizadores de la atenuación.

