



**A LA MESA DE LA COMISIÓN DE POLÍTICA TERRITORIAL, MEDIO
AMBIENTE, AGRICULTURA Y AGUA**

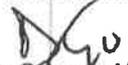
Diego Conesa Alcaraz, portavoz del Grupo Parlamentario Socialista, al amparo de artículo 128.7 del vigente Reglamento de la Cámara, presenta informe pormenorizado de las reuniones y contactos con particulares y colectivos que se han mantenido para la elaboración de las enmiendas al Proyecto de Ley n.º 1 de Protección Integral del Mar Menor.

- Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena
- Fundación Ingenio
- Plataforma SOS Mar Menor
- ANSE
- Pacto por el Mar Menor
- Colegio Oficial de Biólogos de la Región de Murcia
- UPCT

Se adjunta documentación facilitada en las reuniones mantenidas con los colectivos y particulares.

Cartagena, 30 de junio de 2020

El Portavoz

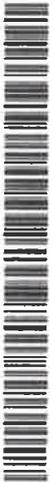

Diego Conesa Alcaraz

Paseo Alfonso XIII, 53
30203 Cartagena
Tfno. 968 326 886

GRUPO
PARLAMENTARIO
SOCIALISTA

FIRMADO POR
SELLO.ASAMBLEAMURCIA.ES

FECHA FIRMA
01-07-2020 11:57:31



**La Agricultura del Futuro en el Campo de
Cartagena: innovadora, eficiente y
ambientalmente sostenible.**



**FUNDACIÓN
INGENIO**
Enraizados con la tierra

Resumen ejecutivo

Junio 2020

1- Importancia socioeconómica del campo de Cartagena.

La Comarca del Campo de Cartagena presenta uno de los regadíos más tecnificados y productivos del mundo, con una importante industria agroalimentaria asociada al mismo que abastece los mercados nacionales e internacionales. La contribución al PIB de la agricultura y de la industria agroalimentaria asociada al mismo se estima en más de 1.000 millones de euros en la Comarca, generando empleo directo a más de 40.000 personas. La importancia de la agricultura sobrepasa estos indicadores económicos. La renta agraria proporciona capacidad económica a la población y supone un empuje vía consumo a la renta de la región, además de la incidencia económica de las actividades indirectamente relacionadas con la agricultura.

El gran valor de la agricultura del Campo de Cartagena y del resto del sector agrícola es incuestionable: potenciador de las exportaciones nacionales, generador de empleo y riqueza, fijador de la población a los territorios y dinamizador de la actividad social del entorno donde se desarrolla. Estas virtudes se han puesto especialmente de manifiesto durante la crisis sanitaria causada por el covid-19, periodo en el que se ha mantenido la actividad para surtir de alimentos de primera necesidad a la población confinada.

2- Retos y ejes de acción para conseguir una agricultura sostenible

El crecimiento de la población hará que la demanda de alimentos crezca entre un 50 y 70 % en 2030. Esto implica tener que aumentar la producción de alimentos en un contexto de disminución de los recursos hídricos, energéticos y suelos utilizados, teniendo que garantizar al mismo tiempo la seguridad alimentaria.

Los agricultores del Campo de Cartagena han asumido este desafío desde hace tiempo, como demuestra la inversión en innovación y tecnificación que ha permitido conseguir un mayor aprovechamiento de los recursos. No obstante, hay varios factores que ponen en riesgo la actividad agrícola en la Comarca: la situación del Mar Menor, la concentración de nutrientes en los acuíferos, la calidad y cantidad de agua disponible, y la contaminación de los suelos por salinización.

La Fundación Ingenio pretende alcanzar una agricultura productiva y sostenible sustentando su actividad en los tres pilares estratégicos propuestos por la FAO: uso eficiente de los recursos, protección y conservación del medio ambiente, con especial énfasis en el Mar Menor, y desarrollo de una agricultura climáticamente sostenible.

3- Uso eficiente de los recursos

a) **Conservación de los suelos.** El Campo de Cartagena disfruta de suelos fértiles y bien conservados gracias a la baja erosión por la poca pendiente del terreno. Sin embargo, las frecuentes lluvias torrenciales y la decreciente calidad del agua suponen una amenaza. La protección de los suelos conlleva medidas hidrológicas encaminadas a la retención de escorrentías de lluvia y al mantenimiento de infraestructuras de drenaje, que se concretarán a través de la promoción de actuaciones hidrológico-forestales y al mantenimiento y limpieza de canales de drenaje. Se impulsarán también buenas prácticas agrícolas que impidan la degradación del suelo y su enriquecimiento en carbono. En este sentido, la disponibilidad de fuentes de agua de calidad es primordial para garantizar la salud de los suelos. Estas actuaciones están además directamente

relacionadas con la salvaguarda del Mar Menor, pues la mayor retención del suelo puede evitar la descarga de sedimentos cargados con nutrientes.

b) Estado de los recursos hídricos. Uno de los mayores retos de la agricultura del Campo de Cartagena es la cantidad y calidad de agua disponible para el riego, siendo su escasez un factor limitante para el cultivo de alimentos. El regadío del Campo de Cartagena funciona a pleno rendimiento con unos 295 hm³ de agua aproximadamente, si bien lo normal es que no opere al 100% todo el año. Los recursos hídricos proceden de fuentes de diversa calidad, siendo las aguas del Traspase Tajo-Segura las más adecuadas, mientras que las aguas desalinizadas, subterráneas y las procedentes de las EDARs presentan una alta conductividad eléctrica que no las hace aptas para el riego, por sí solas.

La Fundación Ingenio plantea avanzar hacia un modelo de garantía del agua de calidad como recurso hídrico multi-origen apoyado en una serie de principios y actuaciones, que permitirán un aumento en la disponibilidad de los recursos hídricos de cerca de 275 hm³.

- Mantenimiento del sistema del Traspase Tajo-Segura como pilar fundamental y necesario para el desarrollo de la actividad agrícola. Cabe destacar que el consumo de energía es cuatro veces superior si se utiliza agua salinizada en lugar de agua del trasvase. Es necesario establecer una interconexión de cuencas que posibilite la redotación de las cabeceras de aquellas que fueran deficitarias. Un estudio sobre el aporte de recursos complementarios al Acueducto Tajo-Segura establece la viabilidad socioeconómica y medioambiental de derivar 500 hm³ desde el Duero Medio y el Ebro a la Cabecera del Tajo.
- Mantenimiento y potenciación de los sistemas de reutilización de aguas como mecanismo para acceder a la economía circular del agua, lo cual comprende las siguientes medidas:
 - Aumentar la capacidad de regulación de las aguas depuradas mediante:
 - i) la construcción de un tanque de tormenta y balsa en la EDAR de Torre Pacheco (obras en licitación pendientes de la disponibilidad de terrenos),
 - ii) Construcción de una balsa junto a la EDAR de San Javier.
 - iii) construcción de balsas junto al Canal Principal del Campo de Cartagena para aguas procedentes de las EDARs de Los Alcázares y de San Pedro.
 - Reparación y adecuación de la red de saneamiento de Los Alcázares, San Pedro del Pinatar y Torre Pacheco, para reducir la alta conductividad eléctrica que presenta el agua depurada, que dificulta considerablemente su reutilización para riego.
 - Reparación y adecuación de la red de saneamiento a la que presta servicio a la EDAR Mar Menor Sur.
- Potenciación de los recursos hídricos procedentes de la desalación de agua de mar a un precio justo que pueda ser asumido por los regantes. Se estima necesario un volumen adicional de 140 hm³ de agua desalada, lo cual podría alcanzarse con:

- Concesión de 70 hm³ de la Desaladora de Torrevieja y de 20 hm³ de la Desaladora de Valdelelentsico (AcuaMed está estudiando la ampliación de ambas desaladoras).
- Ampliación de la Desaladora de Escombreras en unos 20 hm³.
- Construcción de una desaladora propia de unos 30 hm³.
- Gestión integral, normalizada y sostenible del agua de los acuíferos del Campo de Cartagena, con unos volúmenes disponibles de unos 90 hm³, para evitar una excesiva o deficiente explotación que motive flujos de agua subterránea hacia el Mar Menor y como método para impedir los procesos de intrusión o extrusión marina, que acarrea consecuencias sobre el Mar Menor y la salinización de los acuíferos. Asimismo, la descarga y recarga con agua de calidad de los acuíferos ayudaría a su recuperación cualitativa y dotaría a su vez a la agricultura de un recurso estable y controlado, permitiendo la sostenibilidad del sistema a largo plazo. Para ello, la Fundación Ingenio propone las siguientes actuaciones:
 - Aplicación de las TIC's para la monitorización en tiempo real del acuífero cuaternario y poder determinar sus necesidades de explotación.
 - Desarrollo normativo del régimen de explotación y aprovechamiento del acuífero, a nivel cuantitativo y cualitativo.
 - Apertura y explotación de pozos particulares y puesta en marcha de desalobradoras particulares para mejorar la calidad del agua subterránea.
 - Puesta en marcha de nuevos pozos y sondeos para captar mayor cantidad de agua subterránea, controlando no provocar intrusión marina.
 - Proyecto del colector del Mar Menor (Actuación 5 del Plan de Vertido Cero).
 - Puesta en marcha de la desalobradoras del Mojón, reapertura de la desalobradoras de Arco Sur, proyecto de ampliación de la desalobradoras del Mojón e impulsión al Canal del Campo de Cartagena.
 - Desarrollar herramientas y metodologías de desnitrificación, y en concreto: desarrollo normativo, desnitrificación de salmuera de rechazo con sistemas de eficiencia demostrada en parcelas de origen, eliminación de salmuera resultante por evaporización y creación de una planta de desnitrificación en el Mojón, con el fin de desnitrificar la salmuera de rechazo procedente de las desalobradoras de parcelas en origen y las aguas superficiales.
 - Recogida y eliminación de las salmueras procedentes de la red de desalobradoras del Campo de Cartagena (actuación recomendada por la Universidad Politécnica de Cartagena) aprovechando infraestructuras existentes y emitiendo menos gases de efecto invernadero que la propuesta del Plan de Vertido Cero.
 - Desarrollo y construcción de un emisario al Mar Mediterráneo donde poder depositar las salmueras resultantes libres de nutrientes. Temporalmente, se podría conectar la Desalobradoras del Mojón con el emisario submarino de las Desaladoras de San Pedro del Pinatar, actuación que ya fue considerada por AcuaMed.
- Obtención de recursos superficiales vía la adopción de medidas para el control de escorrentías en la cabecera de las ramblas, con la instalación de elementos

de retención y captación de agua, y balsas durante su recorrido, así como elementos de captación de agua superficial y de pluviales en parcela.

- Optimización del uso de los recursos hídricos disponibles, a través de la reducción de la demanda por implementación de las TIC's, el análisis de *Big Data* y el Internet de las cosas. La Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC) fue pionera en el empleo de sistemas de automatización y telecontrol para maximizar la eficiencia en el uso de agua. El 96% de los agricultores utilizan sistemas de riego por goteo y de fertirrigación, minimizando las pérdidas de agua y fertilizantes por lixiviación. Si los regantes del Campo de Cartagena disponen de agua de calidad, se podrían conseguir ahorros adicionales de agua entre 10-15 hm³ anuales y reducir los retornos de riego a la mínima expresión.

c) **Conservación y uso sostenible de la biodiversidad.** La Fundación Ingenio es consciente del importante papel que juega la biodiversidad asociada (gama de organismos que viven en los sistemas de producción alimentarios y agrícolas, manteniéndolos y contribuyendo a la producción de los mismos) y de la necesidad de conservar el mayor número de recursos fitogenéticos para asegurar la viabilidad de los cultivos, ante un medio ambiente cambiante. En este sentido, los agricultores del Campo de Cartagena practican la producción integrada para el control de plagas, promoviendo la lucha biológica, para lo cual usan comunidades naturales de insectos e innumerables especies vegetales que sirven tanto de refugio para los depredadores de dichas plagas como de fuente de alimento alternativo y atrayente para numerosos polinizadores de determinadas especies cultivadas. Es necesario seguir mejorando los conocimientos sobre la biodiversidad asociada y su función en la prestación de servicios ecosistémicos.

En relación a la reducción en la variedad de especies hortícolas, la Fundación Ingenio considera imprescindible su conservación, pues pueden suponer una reserva de genes para hacer frente a las nuevas plagas y enfermedades, o a las nuevas condiciones climáticas. En este ámbito, es esencial potenciar el estudio y mejora de la biodiversidad y, en particular, aquella asociada a los cultivos, así como la recuperación de los recursos fitogenéticos, fomentando la colaboración entre los centros especializados en la conservación de dichos recursos, los fitomejoradores y los agricultores. Las actuaciones a emprender serían:

- Promoción del estudio de la biodiversidad asociada a los cultivos del Campo de Cartagena.
- Implementación de programas de conservación de la biodiversidad asociada.
- Fomento de la recuperación de recursos fitogenéticos propios del Campo de Cartagena, a través de la creación de una red de fincas que lleven a cabo la recuperación de variedades tradicionales, bajo el asesoramiento y la tutela de los centros de conservación de semillas.

4- Protección y conservación del Mar Menor

Uno de los principales problemas que afronta el Mar Menor es la entrada agua dulce tanto por vía superficial como subterránea. Esta situación se ha visto especialmente agravada en los últimos meses a causa de las lluvias torrenciales y de la prohibición de

extracciones de agua del acuífero del cuaternario para el regadío. Para evitar la entrada de agua dulce, se hace urgente la adopción de las siguientes medidas:

- Ampliación de la desaladora de El Mojón y su red de colectores, permitiendo una mayor captación de agua subterránea y reduciendo el impacto sobre el acuífero.
- Obras de recogida y eliminación de las salmueras procedentes de la red de desaladoras del Campo de Cartagena y su vertido al Mar Mediterráneo.
- Programa de Medidas del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura 2009-2015 y 2015-2021 (plan actual), que incluye:
 - Construcción de salmueroductos que recojan los vertidos de las desalinizadoras privadas.
 - Defensa de actuaciones frente a avenidas y protección de Mar Menor en el Campo de Cartagena Horizonte 2021 y 2027.
 - Ejecución de una batería de pozos perimetrales en la línea de costa del acuífero para la extracción de volúmenes anuales.
 - Actuación de desnitrificación de los recursos subterráneos captados por la batería de pozos perimetral del Campo de Cartagena.

De acuerdo con el "Informe integral sobre el estado ecológico del Mar Menor", las fuentes principales causantes de la eutrofización del Mar Menor son: las aguas de origen agrícola, las residuales urbanas y las procedentes de escorrentías causadas por lluvias torrenciales, además de la deposición seca de los óxidos nitrosos de motores de combustión interna y del hierro aportado por los vientos saharianos. Históricamente, el 50% del nitrógeno inorgánico disuelto proviene de fuentes agrícolas (regadío y ganadería), mientras que el 70% del fósforo y el 91% del carbono orgánico provienen de fuentes puntuales urbanas. El alto contenido de nutrientes presente en el acuífero se debe a malas prácticas agrícolas ya erradicadas, a la ganadería y al vertido de aguas urbanas.

Para la Fundación Ingenio, la **protección medioambiental de Mar Menor pasa por reducir al máximo la descarga de agua subterránea y superficial al Mar Menor, así como avanzar en la aplicación de buenas prácticas agrícolas en parcela**. Algunas de las medidas necesarias para conseguir esto ya han sido mencionadas anteriormente, si bien habría que prever adicionalmente las siguientes acciones:

- Caracterización hidráulica de la Red de Drenaje Natural y estudio de su compatibilización para la reducción de la erosión hídrica, para lo cual la CRCC ha llegado a un acuerdo con la UPCT.
- Desarrollo de procesos de desnitrificación que comprende: la desnitrificación en parcela de las aguas subterráneas, creación de la planta de desnitrificación en el Mojón y la desnitrificación de aguas superficiales

Hay que tener en cuenta que las medidas propuestas para disminuir los nutrientes en el Decreto-Ley 2/2019, de Protección Integral del Mar Menor, como en la Resolución de 31 de marzo de 2020 de la Secretaría de Estado de Medioambiente, solo surtirán sus efectos en el largo plazo. Es más, la evidencia muestra la inviabilidad técnica de conseguir el buen estado por nitratos de la masa de agua subterránea del Campo de Cartagena en 2027, aunque se cese el 100% de la actividad agraria.

Por otra parte, la Fundación Ingenio fomenta un conjunto de medidas agronómicas y tecnológicas para mejorar la eficiencia del riego y la fertilización de los cultivos:

- Utilización de nutrientes en agricultura, que se materializará a través de la colaboración con centros especializados de la región, promoviendo estudios sobre nuevas técnicas de fertirrigación sostenible en cultivos intensivos, para favorecer el uso más eficiente del agua, fertilizantes y energía.
- Monitorización en tiempo real de los regadíos del Campo de Cartagena, a través de un proyecto de ejecución para la implantación de tecnología de agricultura de precisión, que incluye la instalación de 500 sondas de humedad.
- Apoyo a la investigación y desarrollo de las TIC's en explotaciones agrícolas, bajo el lema de "producir más con menos".
- Monitorización de la red superficial (canales de riego, red de tuberías, balsas de riego, ramblas) y modernización de las estaciones agroclimáticas.
- Desarrollo y validación de Indicadores medioambientales.

5- Desarrollo de una agricultura climáticamente sostenible

Las políticas que afecten a la agricultura de nuestra zona deben contribuir a garantizar la conservación del medio ambiente y garantizar la seguridad alimentaria, en un escenario de integración con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. El agua es un elemento clave al plantear medidas adaptativas o mitigadoras de los efectos del cambio climático dada la fuerte interrelación entre el agua y la energía, y entre el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, que en último término son las responsables del calentamiento global. Por ello, la racionalización del uso del agua y la energía es fundamental para combatir el cambio climático.

La Fundación Ingenio considera que las líneas de actuación para contribuir a la gobernanza del modelo de agricultura sostenible en el Campo de Cartagena son:

Implantación de medidas de gestión inteligente del agua y digitalización de su uso.

En la agricultura de regadío las variaciones de consumo energético son muy amplias y dependen del origen del agua: las aguas superficiales presentan los menores consumos energéticos; las aguas subterráneas, reutilizadas y del trasvase valores similares e intermedios, y las aguas desalinizadas los mayores consumos.

La agricultura del Campo de Cartagena debe fomentar la gestión inteligente de los recursos basada en la digitalización y la toma de decisiones en un entorno multi-criterio. Entre las medidas relacionadas con este bloque destacan:

- Uso eficiente del agua y los fertilizantes, que contribuye a la sostenibilidad de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.
- Innovación para la monitorización y optimización del uso de los recursos hídricos.
- Fomento de la recogida de agua de viales, invernaderos y otras fuentes haciendo uso de infraestructuras artificiales, ayudando a reducir la huella de carbono.

Fomentar una agricultura de vanguardia para una economía baja en carbono. La agricultura del Campo de Cartagena debe asumir en las próximas décadas esfuerzos

concretos para reducir las emisiones, a través de medidas relacionadas con el transporte, el aprovechamiento de recursos locales, la conservación del suelo o la implementación de estrategias como el desarrollo de la Agricultura Climáticamente Inteligente o la estrategia 4x1000, cuyo objetivo es incrementar el nivel de carbono en los suelos. Se prevé llevar a cabo un estudio de la huella de carbono y el fomento de actuaciones de mitigación y compensación.

Fomento de medidas específicas para compatibilizar a largo plazo la agricultura de regadío con alta vulnerabilidad al cambio climático. El regadío como sumidero de CO₂. Los territorios de campo de Cartagena están catalogados como de alta vulnerabilidad frente al cambio climático. En este sentido, se debe realizar una verdadera planificación hidrológica nacional que optimice la gestión de todas las fuentes de agua e infraestructuras disponibles (incluso con nuevos trasvases si fuera necesario), con el fin de priorizar el uso en función del menor consumo de energía. Para ello, reivindicamos la elaboración de un Plan Hidrológico Nacional por parte del Gobierno de España. Asimismo, pretendemos continuar con la reducción de la demanda de agua del regadío, con medidas de ahorro y eficiencia energética, y fomentando la incorporación de las energías renovables.

En consonancia con el Pacto Verde propuesto por la UE, la Fundación Ingenio fomentará el estudio científico y el desarrollo tecnológico, así como la sensibilización de los consumidores para que demanden alimentos sostenibles, a través del desarrollo de acciones de divulgación y concienciación, siendo consciente del papel de máximo protagonismo que deben jugar los agricultores para preservar la biodiversidad, proteger el medio ambiente y combatir el cambio climático. Se fomentará la participación de expertos en la elaboración de planes de adaptación y se potenciarán los servicios de asesoramiento agrícola sobre las posibles acciones de adaptación a aplicar.

Adaptación basada en los ecosistemas, generando resiliencia climática y biológica haciendo uso de la biodiversidad. La implementación de medidas de adaptación basada en los ecosistemas, a través de actuaciones como la incorporación de nodos o corredores biológicos, la introducción de setos naturales entre cultivos o el fomento de la vegetación para atraer los polinizadores, fomentan claramente un aumento de la biodiversidad, a la vez que se genera resiliencia para defender de plagas y enfermedades a los cultivos de regadío. El aumento de la biodiversidad entomológica consigue un control biológico de plagas y enfermedades en cultivos de regadío, pudiendo prescindir de los tratamientos fitosanitarios.

Fomento y reconocimiento de los servicios ecosistémicos generados por la agricultura del Campo de Cartagena. Los cultivos agrícolas retiran CO₂ de la atmósfera por su capacidad fotosintética, actuando como sumideros de gases de efecto invernadero. Las medidas deben contribuir a disminuir la erosión del suelo y frenar la desertificación. A su vez, han de mejorar la infiltración y retención de agua en el suelo, favoreciendo el incremento de biodiversidad, la resiliencia de los ecosistemas, el sumidero de CO₂ en el suelo, la calidad del paisaje y la salud ambiental. Se ha de promover la mejora constante de las buenas prácticas agrícolas a través de la actualización constante de decálogos, así como la formación continua de los agricultores.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA DEL AGUA Y MEDIO AMBIENTE

Medidas para la recuperación del acuífero del Campo de Cartagena y reducción de los aportes de nitrógeno al Mar Menor

Versión final, abril de 2020

Convenio entre Sers-Fulcrum (SERS CONSULTORES, S.A.U. Y FULCRUM
PLANIFICACIÓN, S.A.U., en UTE) y la Universitat Politècnica de Valencia:

“Obtención de la concentración de nitrato en las aguas subterráneas de España”

Correspondiente a los trabajos con clave 21.803.0951/0411:

*“Trabajos de apoyo para la coordinación de la actualización de los Planes Especiales de
Sequía y del Seguimiento e Inicio de la revisión de los Planes Hidrológicos”*

Informe elaborado por:

Miguel Ángel Pérez Martín

Profesor Titular de Universidad

Investigador del Instituto de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, IIAMA-UPV.

Universitat Politècnica de València

ÍNDICE

1	Introducción	1
2	Concentración de nitrato y aplicación de nitrógeno	9
3	Medidas para la recuperación del acuífero del Campo de Cartagena y reducción de los aportes de nitrógeno al Mar Menor	29
4	Referencias.....	33

Índice detallado

1	Introducción	1
1.1	Modelo de simulación Patrical	3
1.2	Aplicación del modelo Patrical en la Planificación Hidrológica	6
2	Concentración de nitrato y aplicación de nitrógeno	9
2.1	Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena	9
2.2	Aplicación de fertilizantes	11
2.3	Aportes de agua al Mar Menor superficiales y subterráneos, y extensión de las medidas a las zonas 1 y 2.....	17
2.4	Limitación de la actividad agrícola en terrenos próximos al dominio público marítimo-terrestre	20
2.5	Aplicación de fertilizantes y exceso de nitrógeno.....	22
3	Medidas para la recuperación del acuífero del Campo de Cartagena y reducción de los aportes de nitrógeno al Mar Menor	29
4	Referencias	33

Índice de figuras

Figura 1. Metodología para la determinación de las medidas necesarias y el tiempo de recuperación de las masas de agua subterráneas en relación a la concentración de nitrato (Miteco, 2019).	1
Figura 2. Precipitación, temperatura y aportación en la red fluvial en octubre de 2000 y esquema de funcionamiento del modelo Patrical (Pérez-Martin <i>et al.</i> , 2014).	3
Figura 3. Ajuste entre los resultados del modelo y los caudales observados o restituidos a régimen natural, criterios de Moriasi <i>et al.</i> (2007).	4
Figura 4. Caudales mensuales en régimen natural al embalse del Tranco de Beas en el río Guadalquivir (m ³ /s), y niveles piezométricos en la masa de agua subterráneas de Rus-Valdelobos (m.s.n.m.). Contraste entre el modelo y los datos históricos.	5
Figura 5. Modelo de simulación de nitrato Patrical (Perez-Martin, 2016).	5
Figura 6. Informe de nitratos del primer ciclo de Planificación (MARM, 2009). .	6
Figura 7. Informe de nitratos del segundo ciclo de Planificación (Magrama, 2015).	7
Figura 8. Informe de nitratos del tercer ciclo de Planificación (Miteco, 2019).	8
Figura 9. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena 2014 (MAPA, 2019).	9
Figura 10. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena.	9
Figura 11. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena; ajuste entre en el modelo de simulación (línea verde) y las concentraciones observadas (puntos).	10
Figura 12. Informe con el Balance de nitrógeno en la agricultura española (Mapama, 2018).	11
Figura 13. Distribución espacial del exceso de nitrógeno en la región de Murcia.	13
Figura 14. Evolución anual de la aplicación de fertilizantes y del exceso de nitrógeno en la zona del Campo de Cartagena.	14
Figura 15. Contenido de nitrógeno en el suelo obtenido con el modelo de simulación Patrical en la zona centro del del Campo de Cartagena.	16
Figura 16. Cuenca vertiente de la Rambla del Albujón (UCM, 2019).	17
Figura 17. Modelo de flujo de aguas subterráneas de la franja limítrofe con el Mar Menor y esquema de aportes de agua al Mar Menor (Tragsatec, 2020).	18
Figura 18. Definición de zonas 1 y 2 en el Decreto-ley 2/2019, de 26 de diciembre, de Protección Integral del Mar Menor de la Región de Murcia	

(izqda.) y superposición de la cuenca vertiente de la Rambla del Albuñón y de las áreas contributivas a las principales descargas subterráneas (dcha.)	19
Figura 19. Limitación de la actividad en las zonas próximas al dominio público marítimo-terrestre.....	20
Figura 20. Relación entre el aporte total de nitrógeno y el exceso anual de nitrógeno (Millones de tnN/año) (Miteco, 2019).....	22
Figura 21. Relación entre el aporte de fertilizantes y el exceso anual de nitrógeno (Millones de tnN/año) (Miteco, 2019).....	23
Figura 22. Evolución del contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero.	24
Figura 23. Evolución del contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero, serie completa y los primeros años.	25
Figura 24. Contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero.....	25
Figura 25. Límite del acuífero, zona más amplia que rodea el Mar Menor, y borde de contacto con el Mar Menor.	26
Figura 26. Evolución de la concentración de nitrato en el acuífero, tras la reducción de un 80% de la presión aplicada obtenida con el modelo de simulación Patrical.	26

Índice de tablas

Tabla 1. Máxima dosis a aplicar por el agricultor en la Comunidad Valenciana por hectárea y año (Orden GVA, 2018).	2
Tabla 2. Balance de nitrógeno en la Región de Murcia (Mapama, 2018).	12
Tabla 3. Balance de nitrógeno en la Región de Murcia para los cultivos de hortalizas, cítricos y frutales (Mapama, 2018).	12
Tabla 4. Balance de nitrógeno en los municipios de San Pedro del Pinatar, Torre-Pacheco, Los Alcaceres, San Javier, Cartagena, Fuente-Álamo y Murcia.	14
Tabla 5. Aporte de nitrógeno del agua de riego en los municipios de San Pedro del Pinatar; Torre-Pacheco, Los Alcaceres, San Javier, Cartagena, Fuente-Álamo y Murcia.	14
Tabla 6. Concentración del agua de riego para las diferentes UDAs y concentración media.	15
Tabla 7. Estimación del aporte de nitrógeno para diferentes concentraciones del agua de riego.	15
Tabla 8. Superficie sujeta a limitaciones en las zonas próximas al dominio público marítimo-terrestre (Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura, teledetección 2017/18).	21
Tabla 9. Escenarios de reducción de la presión considerados (Miteco, 2019).	23
Tabla 10. Número de años requeridos desde la implantación de la reducción del 80% en la presión en el acuífero hasta alcanzar los diferentes umbrales de concentración de nitrato.	27
Tabla 11. Aplicación total de nitrógeno por hectárea y año, y dosis aplicar por el agricultor en kgN/ha/año.	28
Tabla 12. Aporte total de nitrógeno por hectárea y año, y dosis máxima a aplicar por el agricultor, en kgN/ha/año.	28



1 Introducción

Desde el año 2007, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha desarrollado, a través de la Dirección General del Agua y con la colaboración de la Universitat Politècnica de Valencia (UPV), un modelo de simulación hidrológica con transporte de nitrato, para reproducir las concentraciones de nitrato en acuíferos y en ríos (Pérez-Martín *et al.*, 2014). El modelo establece, de forma matemática, la relación entre la aplicación de nitrógeno, el exceso de nitrógeno y la concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales (Miteco, 2019).

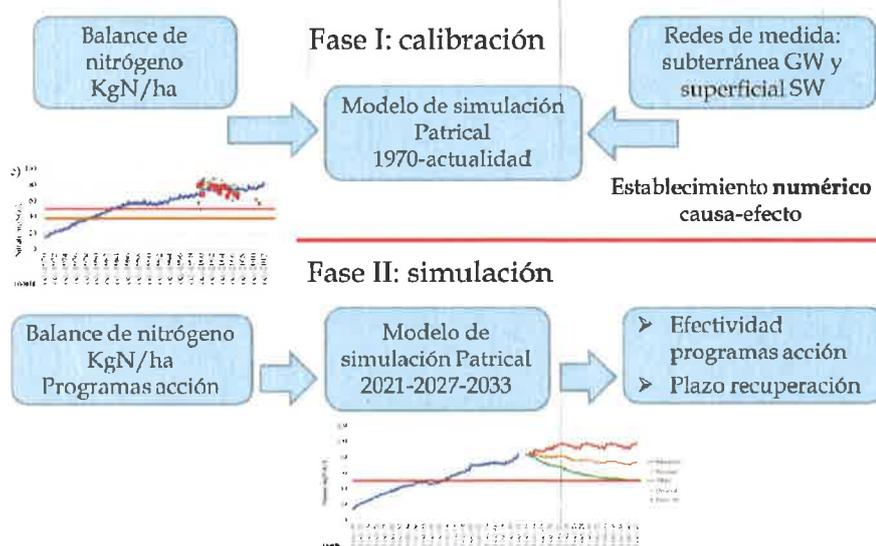


Figura 1. Metodología para la determinación de las medidas necesarias y el tiempo de recuperación de las masas de agua subterráneas en relación a la concentración de nitrato (Miteco, 2019).

Este modelo se ha continuado utilizando y mejorando desde ese año hasta la actualidad, con lo que se cuenta con una experiencia de más de 10 años en el establecimiento de la relación entre la aplicación de nitrógeno, la generación del exceso de nitrógeno y la concentración de nitrato en las aguas subterráneas y superficiales.

Este trabajo es una actualización de los trabajos realizados, a partir de los nuevos datos disponibles, dentro del convenio entre Sers-Fulcrum (SERS CONSULTORES, S.A.U. Y FULCRUM PLANIFICACIÓN, S.A.U., en UTE) y la Universitat Politècnica de Valencia, titulado "Obtención de la concentración de nitrato en las aguas subterráneas de España", correspondiente a los trabajos con clave 21.803.0951/0411 "Trabajos de apoyo para la coordinación de la actualización de los Planes Especiales de Sequía y del Seguimiento e Inicio de la revisión de los Planes Hidrológicos".

Por su parte, la colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Júcar y la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo

Rural de la Comunidad Valenciana, en base a los resultados del modelo de simulación, permitió la incorporación de los criterios para la recuperación del buen estado en las masas de agua subterráneas en la elaboración del Programa de Actuación de la Comunidad Valencia, ORDEN 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunitat Valenciana (Orden GVA, 2008).

Esta orden indica en su preámbulo: *Dentro de los trabajos del Comité de Autoridades Competentes en el marco de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrológicas de la Comunitat Valenciana destaca el trabajo de coordinación entre la Generalitat Valenciana y el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la Confederación Hidrográfica del Júcar, con el objetivo de adecuar el Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Comunitat Valenciana para la protección de las aguas contra la contaminación causada por los nitratos de origen agrario y el Programa de Actuación en las zonas vulnerables designadas en la Comunitat Valenciana, no solo a los requerimientos de la Directiva 91/676/CEE, sino además a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Con tal fin, ambas administraciones han colaborado con el objetivo de impulsar el Código de Buenas Prácticas y el Programa de Actuación en zonas vulnerables como la principal herramienta para lograr alcanzar los objetivos ambientales en las masas de agua subterránea de la Comunitat Valenciana que superan la norma ambiental de nitratos.*

Los resultados de esta colaboración representaron la **incorporación** en esta Orden de **dos ideas fundamentales**. La primera, la **identificación de forma clara de la máxima cantidad de nitrógeno por cultivo, por hectárea y año**, teniendo en cuenta todos los posibles aportes, y la **máxima dosis aplicable por el agricultor por hectárea y año**. En segundo lugar, la **reducción en la dosis de nitrógeno aplicable respecto a decretos anteriores**.

El resultado se sintetiza en la siguiente tabla, donde se indica de forma clara la máxima cantidad de nitrógeno a aplicar por el agricultor, por hectárea y año, para los dos principales cultivos de la Comunidad Valenciana, los cítricos y los frutales intensivos. Para el caso de los cítricos con riego localizado, la máxima dosis a aplicar sería de 185 kgN/ha, y para los frutales intensivos de 155 kgN/ha.

DOSIS MÁXIMAS DE NITRÓGENO A APLICAR (kg N/ha y año)		
Valores para: N disponible en suelo de 20 kg/ha y 15 mg NO ₃ ⁻ /l en agua de riego		
CULTIVO	RIEGO INUNDACIÓN	RIEGO LOCALIZADO
Cítricos	160-210	145-185
Frutales intensivos	160-200	125-155

Tabla 1. Máxima dosis a aplicar por el agricultor en la Comunidad Valenciana por hectárea y año (Orden GVA, 2018).

1.1 Modelo de simulación Patrical

El módulo “Patrical” (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua) (Pérez-Martín, 2005; Perez Martín *et al.*, 2014), permite construir modelos distribuidos de simulación del ciclo hidrológico y calidad de las aguas para cuencas hidrográficas de tamaño mediano y grande (de 1.000 km² a 500.000 km²), integrados en un sistema de información geográfica (SIG). Los modelos hidrológicos construidos con esta herramienta son utilizados por las administraciones encargadas de la Planificación y Gestión de los recursos hídricos en España y en proyectos de investigación, en la evaluación de recursos hídricos superficiales y subterráneos de cuencas hidrográficas, en la evaluación de los impactos de cambio climático en los recursos hídricos, en la determinación de las concentraciones de nitrato y la conductividad eléctrica del agua en las masas de agua subterráneas y superficiales, y en la determinación de los objetivos ambientales en las masas de agua subterráneas frente a la contaminación por nitratos. Actualmente, se aplica en cuencas hidrográficas de España y México, con simulaciones de paso de tiempo mensual que abarcan periodos de tiempo superiores a 70 años. En el caso de España, se utiliza en las cuencas hidrográficas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (43.000 km²), considerando más de 250 acuíferos, y en el conjunto de todo el país (500.000 km²) incluyendo la simulación con más de 800 acuíferos.

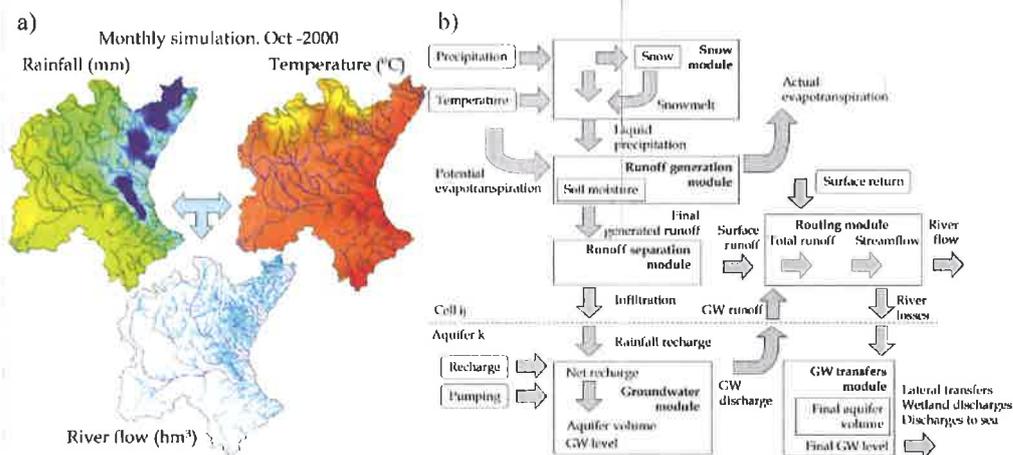


Figura 2. Precipitación, temperatura y aportación en la red fluvial en octubre de 2000 y esquema de funcionamiento del modelo Patrical (Pérez-Martín *et al.*, 2014).

El software o módulo “Patrical” permite construir modelos del ciclo hidrológico y calidad de las aguas distribuidos espacialmente, con paso de tiempo de simulación mensual. Los modelos que se construyan realizan la simulación del ciclo hidrológico, en régimen natural o en régimen alterado, por la actividad antrópica, aplicando la formulación de Témez (1977) en cada pequeño elemento (p.e. resolución de 1 km x 1 km) en que discretiza la cuenca hidrográfica, incluyendo la menor posibilidad de evapotranspiración de la vegetación con contenidos bajos de humedad en el suelo, las transferencias laterales entre

acuíferos, el movimiento del agua a través de la red fluvial, las relaciones río-acuífero (incluyendo la posibilidad de pérdidas en cauces), y la evolución de la piezometría media de los acuíferos.

Los resultados del modelo se contrastan con las series aforadas o con las series restituidas a régimen natural, y se evalúa la bondad de este ajuste con los criterios establecidos por Moriasi *et al.* (2007), basados en la desviación media del modelo, bias relativo, y en el coeficiente de Nash.

Puntos de control:

**Aforos, entradas embalses
y series restituidas**

- Ajuste
- Muy bueno
- Bueno
- Satisfactorio
- Próximo a Satisfactorio
- Distante a Satisfactorio
- Mal ajuste

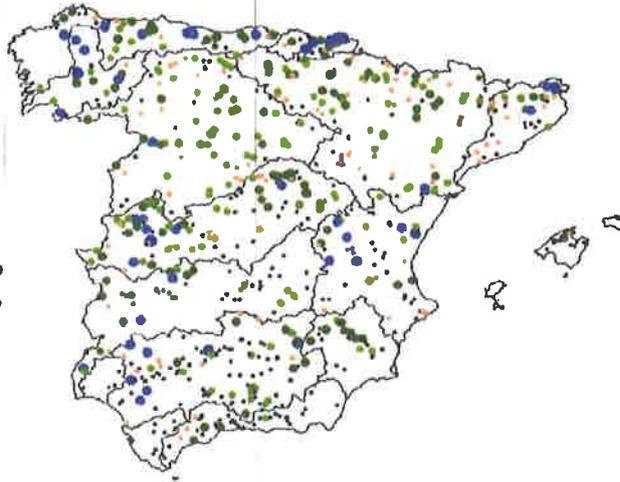


Figura 3. Ajuste entre los resultados del modelo y los caudales observados o restituidos a régimen natural, criterios de Moriasi *et al.* (2007).

El módulo “Patrical” puede funcionar, como se ha indicado, en régimen natural o en régimen alterado antrópicamente. En este último caso, incluye la evolución temporal y distribución espacial de los retornos de riego que recargan los acuíferos, las extracciones de aguas subterráneas (agrícolas y urbanas), y adicionalmente, para el caso de simulación de la calidad del agua, también los retornos de riego superficiales y los retornos urbanos superficiales. Debe tenerse en cuenta que el modelo reproduce el ciclo hidrológico natural, y parte del ciclo hidrológico alterado, ya que no incluye la gestión de embalses ni las modificaciones que se producen en el régimen de caudales por ellos.

El modelo de simulación permite conocer los flujos y almacenamientos de agua que se producen en la cuenca, tanto en régimen natural como en régimen alterado.

La versión actual del modelo de simulación incluye 837 masas de agua subterránea y lagos, parte de las cuales, debido a su gran tamaño o su diferente comportamiento, están divididas en sectores, de forma que existen más de 2000 sectores.

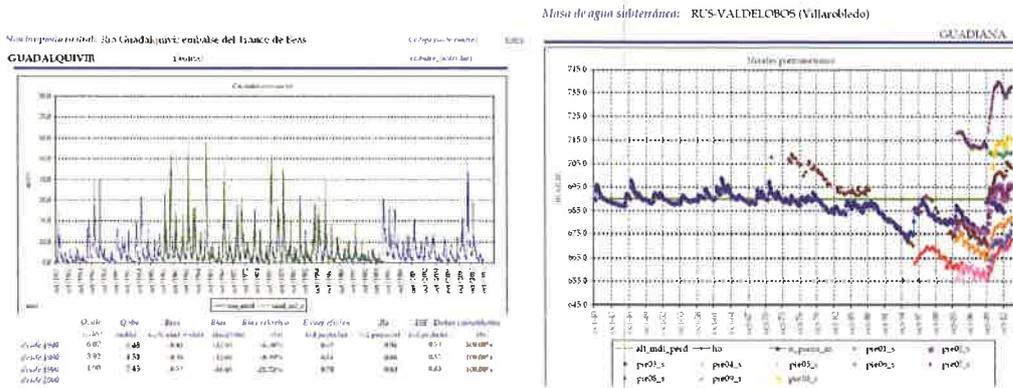


Figura 4. Caudales mensuales en régimen natural al embalse del Tranco de Beas en el río Guadalquivir (m³/s), y niveles piezométricos en la masa de agua subterráneas de Rus-Valdelobos (m.s.n.m.). Contraste entre el modelo y los datos históricos.

La simulación de la calidad del agua, en aguas superficiales y aguas subterráneas, incluye: el transporte de nitrógeno, en su forma movilizable “nitrato”; la generación de erosión y el transporte de sólidos; el transporte de fósforo, y la conductividad eléctrica del agua a 25 °C. Para estos parámetros químicos, se consideran tanto los focos de contaminación puntual como la contaminación difusa.

Para simular el transporte de sustancias químicas se definen tres zonas en la cuenca hidrográfica: la zona superficial del suelo, donde existe agua en forma de humedad del suelo y las sustancias químicas que pueden ser arrastradas por la escorrentía superficial o por la infiltración al acuífero; el medio no saturado, y el acuífero, medio saturado donde se ha considerado que se produce el mezclado total del agua.

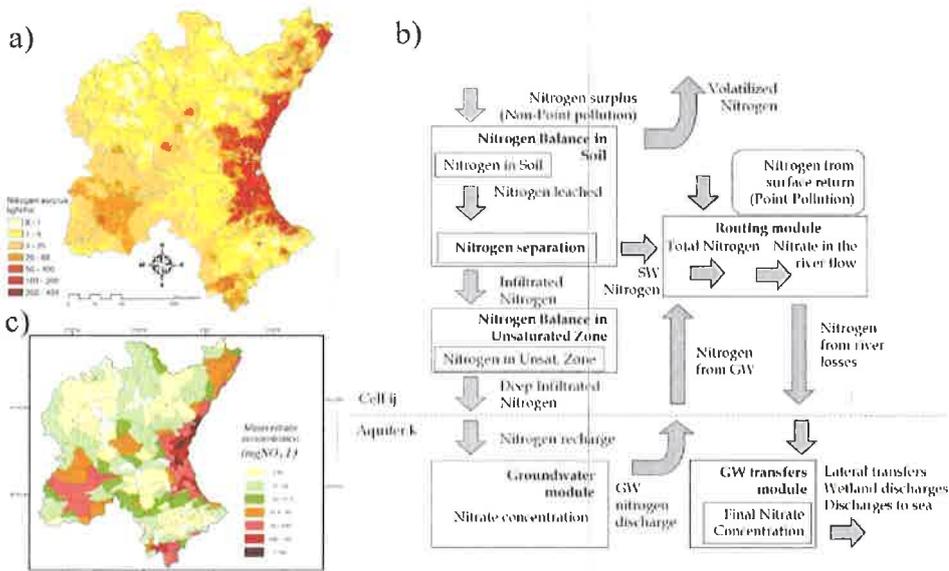


Figura 5. Modelo de simulación de nitrato Patricial (Perez-Martin, 2016).

1.2 Aplicación del modelo Patrical en la Planificación Hidrológica

Durante el primer ciclo de Planificación Hidrológica 2009-2015, se desarrolló el modelo de simulación, mediante el proyecto "Modelo de simulación para el análisis de la concentración de nitratos en las masas de aguas subterráneas de España", que concluyó con la elaboración del informe de nitratos de noviembre de 2009, "Definición de la concentración objetivo de nitrato en las masas de agua subterráneas de las cuencas intercomunitarias" (MARM, 2009).

En dicho informe se realizó la evaluación del estado y la definición de los objetivos de nitrato para 2015, 2021 y 2027; el establecimiento las masas que cumplen los objetivos en 2015, las masas que requieren prorrogas a 2021 o 2027, y las masas en que se establecen objetivos menos rigurosos. Y, además, las medidas a aplicar para alcanzar estos objetivos.

Para este trabajo se realizó la simulación mensual desde octubre de 1971 hasta septiembre de 2006, utilizando para ello los datos de balance de nitrógeno desde 1996 hasta 2006. El balance, para el resto de años, fue reconstruido a partir de la información disponible.

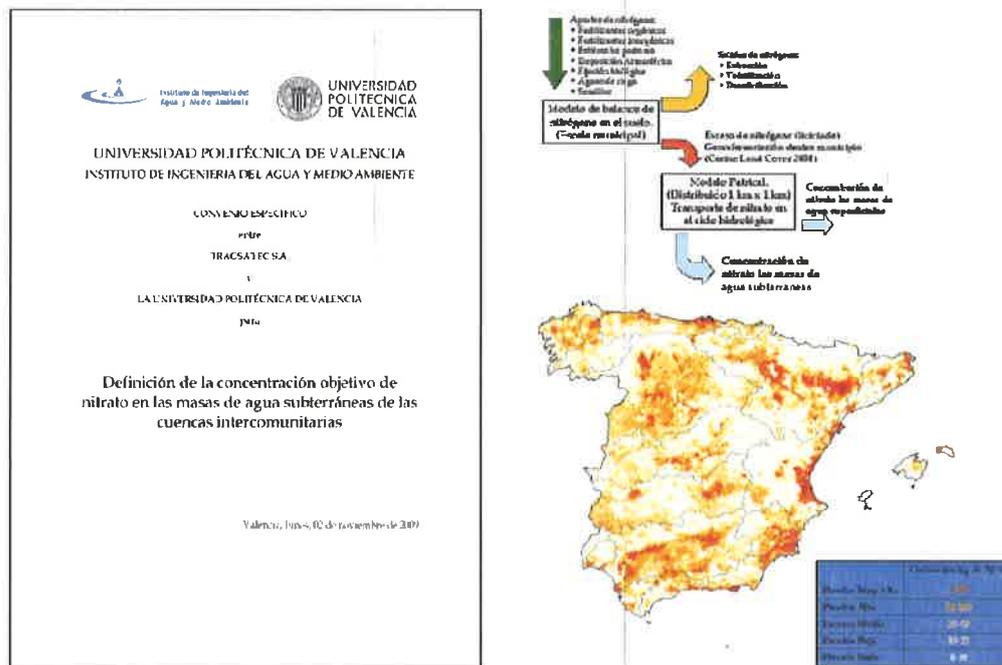


Figura 6. Informe de nitratos del primer ciclo de Planificación (MARM, 2009).

En el segundo ciclo de Planificación Hidrológica 2015-2021, se desarrolló el proyecto “Desarrollo de modelos de simulación para el análisis de la concentración de nitratos en las masas de aguas subterráneas de España empleando el módulo Patricial”, que también concluyó con el Informe de Nitratos (marzo de 2015) “Evaluación de los objetivos de concentración de nitrato en las masas de agua subterráneas de España (2015, 2021 y 2027) con el modelo de simulación Patricial” (Magrama, 2015).

En este trabajo se realizó la actualización del modelo de simulación, la evaluación del estado y definición de los objetivos de nitrato para 2015, 2021 y 2027, el establecimiento las masas que cumplen en 2015, las masas que requieren prorrogas a 2021 o 2027, y las masas que requieren excepción temporal. Y, finalmente, las medidas a aplicar para alcanzar estos objetivos.

Para este trabajo se realizaron simulaciones mensuales desde octubre de 1970 hasta septiembre de 2012. Con datos de balance de nitrógeno desde 2000 hasta 2011, el balance para el resto de años fue reconstruido. Además, se realizaron reuniones con 7 Demarcaciones durante el desarrollo del proyecto, para contrastar y validar los resultados obtenidos del modelo de simulación con el juicio de experto de la Demarcación. Para estos ámbitos se indicó que los resultados se consideraban con alta fiabilidad: Demarcación del Duero; Demarcación del Tajo; Demarcación del Guadiana; Demarcación del Guadalquivir; Demarcación del Segura; Demarcación del Júcar; Demarcación del Ebro; Demarcación de Cuencas Internas de Cataluña.

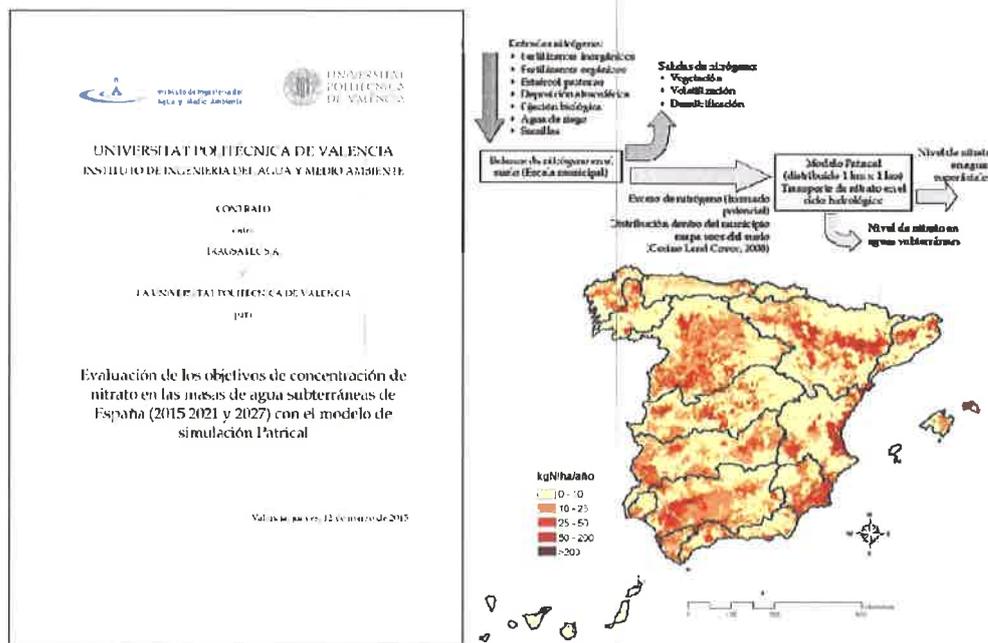


Figura 7. Informe de nitratos del segundo ciclo de Planificación (Magrama, 2015).

En el tercer ciclo de Planificación hidrológica se ha actualizado el ajuste del modelo de simulación para el periodo de simulación octubre de 1970 hasta septiembre de 2018 (Miteco, 2019), realizando reuniones con las Demarcaciones Hidrográficas, para validar los resultados del modelo de simulación. Se realizaron reuniones presenciales con las demarcaciones hidrográficas del Segura, Júcar, Ebro, Duero y Tajo, y contactos con las demarcaciones del Guadiana y Guadalquivir.

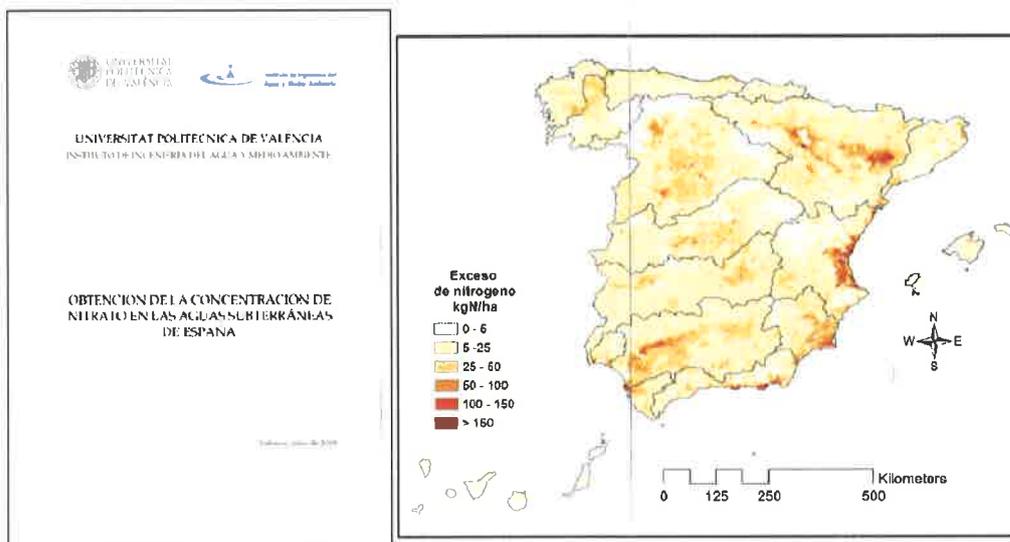


Figura 8. Informe de nitratos del tercer ciclo de Planificación (Miteco, 2019).

2 Concentración de nitrato y aplicación de nitrógeno

2.1 Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena

La concentración de nitrato en la masa de agua del Campo de Cartagena en el año 2014 es superior a los 100 mgNO₃/l, en amplias zonas de esta masa de agua subterránea (MAPA, 2019).

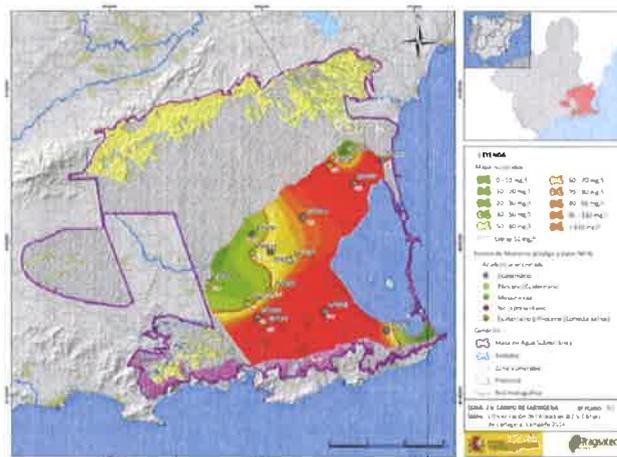


Figura 9. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena 2014 (MAPA, 2019).

El análisis zonal de las concentraciones de nitrato muestra valores en el entorno de los 200 mgNO₃/l en la zona norte y sur del Campo de Cartagena y valores en el entorno de los 100 mgNO₃/l en la zona central donde se sitúa la Rambla del Albuñón.

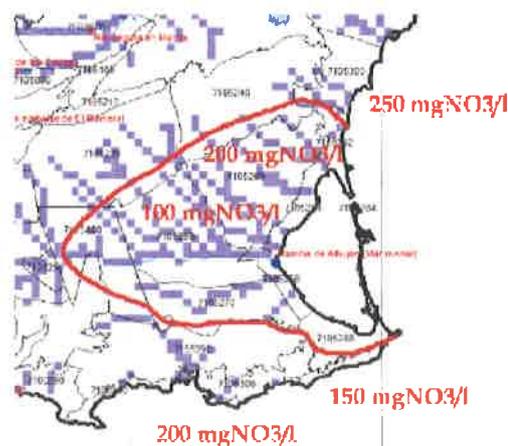


Figura 10. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena.

Estos niveles de concentración de nitrato en el acuífero han sido reproducidos con el modelo de simulación hidrológica (Perez-Martín *et al.*, 2014) con transporte de nitrato Patrical (Pérez-Martín *et al.*, 2016), aplicando el exceso de nitrógeno que se produce en esta zona (Miteco, 2019).

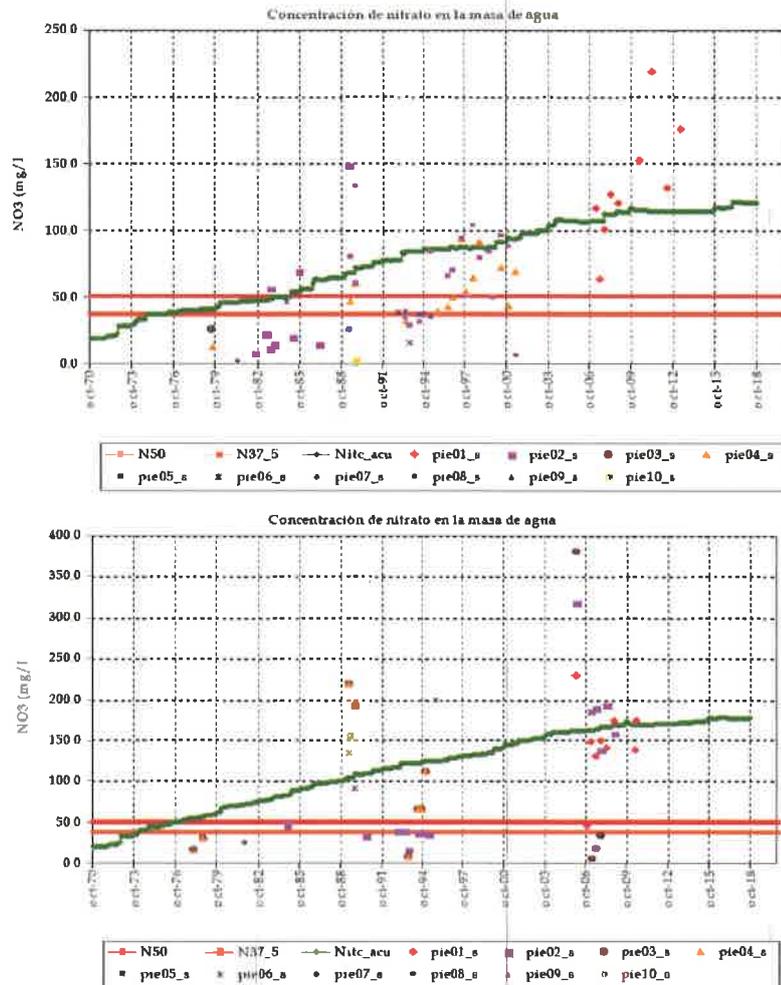


Figura 11. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena; ajuste entre en el modelo de simulación (línea verde) y las concentraciones observadas (puntos).

2.2 Aplicación de fertilizantes

Las concentraciones de nitrato observadas en el Campo de Cartagena son compatibles y resultado del exceso de nitrógeno determinado en esta zona.

El balance de nitrógeno en la Región de Murcia del informe procede del Balance de nitrógeno en la Agricultura Española, que elabora y publica el Ministerio cada año. El último documento disponible es el balance del nitrógeno del año 2016.

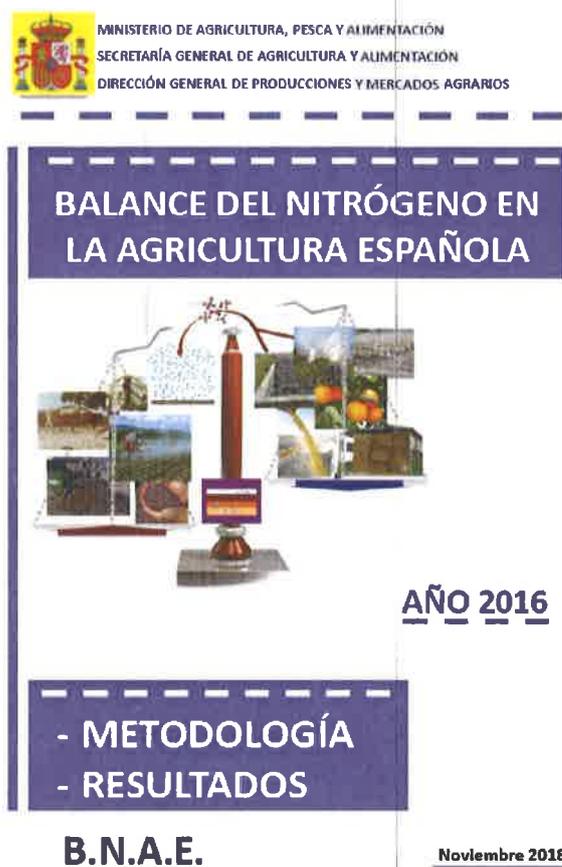


Figura 12. Informe con el Balance de nitrógeno en la agricultura española (Mapama, 2018).

El balance de nitrógeno publicado en este informe corresponde con el valor agregado de toda la Región de Murcia. Este balance de nitrógeno indica un exceso de nitrógeno global medio de 36.6 kgN/ha, con 84 kgN/ha en el conjunto de cultivos de herbáceos y de 42 kgN/ha en el conjunto de cultivos de leñosos.

Balance de Nitrógeno por Grupos de Cultivos y CCA 2016

Región de Murcia

Concepto	Cereales	Legum. grano	Tubérculos	Cubitos Indus.	Grasos	Cultivos forrajeros	Hortalizas	Frutas	Total Hortalizas	Cítricos	Frutales	Almendros	Olivos	Uvales	Otros C. Refrescos	Total de Hojas	Zonas de Pastoreo	TOTAL
Superficie	14 988,0	710,0	5 188,0	1 431,0	87,0	780,0	53 099,0	788,0	130 904,0	37 867,0	27 098,0	73 335,0	19 616,0	79 714,0	969,0	188 719,0	574 314,0	643 937,0
Fertilización Mineral	4 127,1	7,6	711,2	112,0	0,2	5,0	7 933,1	19,1	15 752,8	8 449,1	3 589,1	1 786,5	816,8	818,8	5,0	14 937,8	0,0	28 096,6
Abonado Estiercoles	511,5	0,0	454,7	18,8	0,4	313,2	1 829,4	1,4	6 430,1	2 588,1	1 812,1	1 361,0	210,1	201,0	9,8	6 376,9	0,0	12 557,0
Fertilización Otros Orgánicos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1 829,4	0,0	1 829,4	543,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	543,1	0,0	1 372,1
Extracciones de Pastoreo	721,7	0,0	0,0	31,4	0,4	7,6	1 263,0	0,0	2 020,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1 263,0	3 283,0
Extracción de Pastoreo	290,5	1,1	39,0	0,0	0,0	1,1	3,8	0,0	291,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	291,7	0,0
Fijación Biológica	0,0	8,8	39,9	0,0	0,0	152,8	112,1	0,0	375,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	237,4	512,4
Deposición Atmosférica	781,8	3,3	55,5	19,4	0,8	8,2	169,8	3,1	1 028,8	407,1	291,0	798,6	210,7	319,3	10,4	2 031,7	3 482,8	8 915,3
TOTAL ENTRADAS	7 140,7	11,0	1 256,2	169,5	1,6	488,1	10 268,5	24,6	26 088,0	11 406,1	4 697,1	2 955,9	740,1	1 838,6	25,3	23 034,3	5 060,9	34 128,2
Retirada de Cosechas	3 155,1	6,5	405,0	38,8	1,8	191,7	6 734,9	18,1	9 657,0	7 281,1	3 022,0	712,4	681,6	840,6	12,5	6 238,4	0,0	15 887,4
Retirada de Paja	775,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	422,1	0,0	1 197,4	1 385,1	5,1	0,0	0,0	0,0	2,5	1 478,1	0,0	2 675,5
Retirada por Pastoreo	121,7	1,4	0,0	4,0	0,1	0,6	1 263,0	0,0	1 488,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1 263,0	3 751,6
Extracción de Pastoreo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1 701,2	402,5	1 178,1	94,3	94,3	2,9	1 413,7	0,0	2 412,7
Extracción de Pastoreo (Ovino y Caprino)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,0	196,1	112,4	162,8	149,1	3,5	1 478,8	0,0	1 495,9
Volatilización del abonado	235,0	0,6	226,5	11,4	0,2	843,9	2 618,1	0,2	3 316,0	1 736,1	934,1	428,1	94,7	96,8	0,0	3 299,6	0,0	6 606,6
Volatilización del pastoreo	86,1	0,0	0,0	2,7	0,1	0,4	165,4	0,0	726,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	156,6	389,2
Exceso del abonado	218,1	0,1	315,5	1,1	0,0	5,8	181,8	0,0	709,8	175,4	59,8	78,2	7,3	10,4	0,0	231,1	0,0	640,9
Exceso del pastoreo	15,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1	26,5	0,0	40,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,5	78,9
Exceso de nitrógeno (kgN/ha)	7,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	5,0
TOTAL SALIDAS	4 081,9	10,1	731,6	51,5	1,9	542,3	9 377,3	18,1	15 068,1	8 841,1	3 620,1	1 402,9	1 378,7	1 911,6	22,3	19 144,7	423,9	30 574,9
BALANCE	7 668,4	8,9	524,7	138,1	0,5	145,8	7 519,4	11,1	10 998,9	3 565,1	3 075,8	3 553,0	151,8	743,0	0,0	7 888,8	4 637,4	23 545,9
BALANCE (kgN/ha)	51,1	12,5	101,5	9,7	0,6	18,9	141,8	108,3	84,0	88,3	113,4	71,2	17,6	9,4	3,1	41,8	14,4	36,6

Tabla 2. Balance de nitrógeno en la Región de Murcia (Mapama, 2018).

El análisis detallado por tipo de cultivo, considerando los cultivos de hortalizas cítricos y frutales, de los datos recogidos en el balance de nitrógeno en España (Mapama, 2018) para el conjunto de la Región de Murcia, muestra que se produce un exceso de nitrógeno (balance) de 118 kgN/ha en estos cultivos, correspondiendo a: 140 kgN/ha en las hortalizas, 88 kgN/ha en los cítricos y 113 kgN/ha en los frutales. La deposición atmosférica se calcula en 11 kgN/ha.

	Hortalizas	Cítricos	Frutales	Suma	Porcentaje
superficie (ha)	53,039	37,867	27,098	118,004	
F mineral (tn)	7,933	8,449	3,589	19,972	58%
Ab estiercoles (tn)	5,130	2,588	1,812	9,529	
F otros org (tn)	1,829	543	0	2,372	
Ex pastoreo (tn)	1,263	0	0	1,263	
Suma orgánico (tn)	8,222	3,130	1,812	13,165	38%
Orgánico por kgN/ha	155	83	67	112	
Fijación biológica (tn)	117	0	0	117	
Deposición (tn)	570	407	291	1,267	
Total entradas (tn)	16,847	11,986	5,692	34,525	100%
Retirada cosechas (tn)	5,735	2,881	1,022	9,638	
Volatilización (tn)	2,618	1,736	934	5,288	
Retirada paja (tn)	422	1,385	5	1,812	
Pastoreo (tn)	217	0	0	217	
Total salidas (tn)	9,327	8,644	2,621	20,591	
Balance (tn)	7,519	3,343	3,072	13,934	
exceso sobre aplicación	45%	28%	54%	40%	
Aplicación unitaria kgN/ha	317.6	316.5	210.1	292.6	
Exceso unitario kgN/ha	141.8	88.3	113.4	118.1	

Tabla 3. Balance de nitrógeno en la Región de Murcia para los cultivos de hortalizas, cítricos y frutales (Mapama, 2018).

Los datos del balance indican que este exceso de nitrógeno está asociado a una aplicación total de nitrógeno en la Región de Murcia, para estos tres cultivos, de 292 kgN/ha, variando desde 318 kgN/ha en las hortalizas hasta 210 kgN/ha en los frutales. Según los datos del balance de nitrógeno publicado, el exceso de nitrógeno representa aproximadamente el 40% del nitrógeno aplicado, variando desde un 28% en cítricos hasta un 45-54% en hortalizas y frutales.

En relación con la fertilización orgánica en la Región de Murcia, el 38% de los aportes totales de nitrógeno son de origen orgánico (112 kgN/ha), que incluye los estiércoles, los lodos de depuración y los excrementos del pastoreo. Por tipos de cultivo, la fertilización orgánica varía desde 155 kgN/ha en las hortalizas, a 83 kgN/ha en cítricos y 67 kgN/ha en frutales.

El Ministerio elabora la desagregación de estos valores a escala municipal, incluyendo también el aporte de nitrógeno a través del agua de riego, lo cual permite conocer la distribución espacial de estos valores en la Región de Murcia. Esta desagregación espacial muestra que el mayor exceso de nitrógeno se produce en la zona del Campo de Cartagena, con valores entre 80-120 kgN/ha, seguida de la zona de la Vega del Segura y del Guadalentín con 60 kgN/ha.

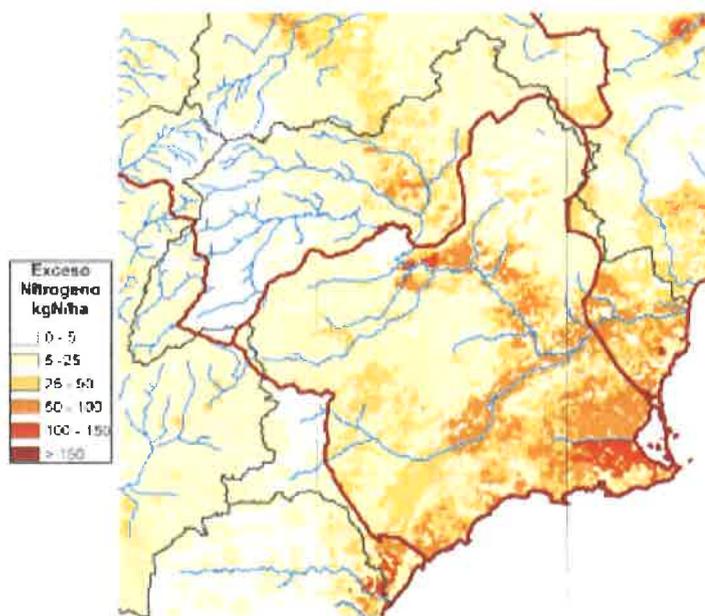


Figura 13. Distribución espacial del exceso de nitrógeno en la región de Murcia.

Los valores de exceso de nitrógeno en la zona del Campo de Cartagena, están asociados a una mayor aplicación de nitrógeno. La aplicación se sitúa en 350 kgN/ha, la cual produce un exceso de 183 kgN/ha.

	Superficie	Aporte	Balace	Aporte	Balace
	Regadío	Regadío	Regadío	Regadío	Regadío
	ha	tn/año	tn/año	kgN/ha	kgN/ha
Herbaceo	29,211	10,150	5,664	347.5	193.9
Leñoso	21,104	7,369	3,551	349.2	168.3
Herbaceo_y_leñoso	50,316	17,520	9,216	348.2	183.2

Tabla 4. Balance de nitrógeno en los municipios de San Pedro del Pinatar, Torre-Pacheco, Los Alcaceres, San Javier, Cartagena, Fuente-Álamo y Murcia.

La evolución temporal de la aplicación del nitrógeno en la zona del Campo de Cartagena muestra que los valores están estabilizados, tanto para los cultivos herbáceos como leñosos en el entorno de los 350-400 kgN/ha, y que igualmente el exceso de nitrógeno se sitúa en 180 kgN/ha para los cultivos herbáceos, siendo algo menor para los cultivos leñosos con un valor de 150-180 kgN/ha.

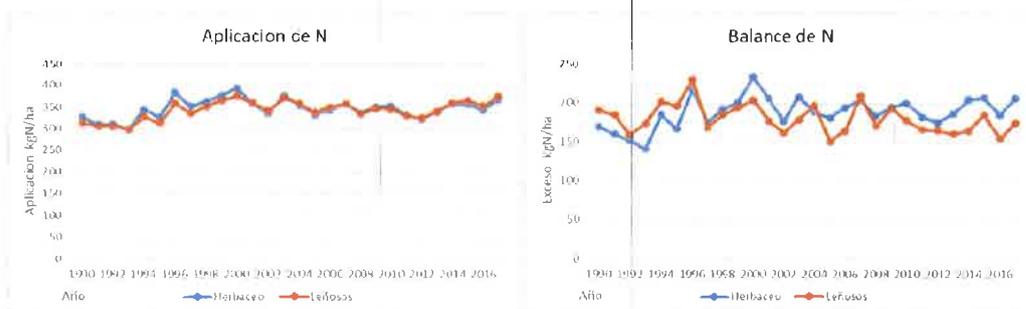


Figura 14. Evolución anual de la aplicación de fertilizantes y del exceso de nitrógeno en la zona del Campo de Cartagena.

Con la misma metodología de este balance también se elabora el balance de nitrógeno incluyendo el agua de riego, de forma que puede determinarse la cantidad de nitrógeno que aporta el agua de riego al cultivo. Los datos indican que el aporte de nitrógeno con el agua de riego es de 48 kgN/ha, variando entre 40 y 60 kgN/ha según el tipo de cultivo.

	Aporte nitrógeno	Aporte de nitrógeno	Aporte total de nitrógeno
	Cultivo de regadío	en el agua de riego	Cultivo de regadío
	kgN/ha	kgN/ha	kgN/ha
Herbaceo	308.9	38.5	347.5
Leñoso	287.3	61.9	349.2
Herbaceo y leñoso	299.9	48.3	348.2

Tabla 5. Aporte de nitrógeno del agua de riego en los municipios de San Pedro del Pinatar; Torre-Pacheco, Los Alcaceres, San Javier, Cartagena, Fuente-Álamo y Murcia.

Por otra parte, el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura indica que las tres principales Unidades de Demanda Agrícola (UDA) en el Campo de Cartagena son las UDAs 57, 58 y 75, en las que se aplican unos recursos en año medio de 203 hm³/año. Entre estos recursos se encuentran las aguas del trasvase (30%), las subterráneas y superficiales propias (50%), las depuradas (9%) y las desalinizadas (11%). La UDA58 tiene su principal aporte de agua del trasvase Tajo-Segura con bajas concentraciones de nitrato, con valores entre 5 y 10 mgNO₃/l. Esta UDA también incluye una parte de aportes de agua subterránea con las concentraciones medias del Campo de Cartagena (120 mgNO₃/l). Por otra parte, las otras dos UDAs, UDA57 y UDA75, utilizan aguas subterráneas, con altas concentraciones de nitratos, depuradas y desalinizadas. Se ha considerado una concentración media representativa de 30 mgNO₃/l, con el objetivo de obtener un valor conservador del aporte de nitrógeno procedente del agua de riego.

UDA	Nombre	hm ³	C_NO ₃ /l	C_NO ₃ /l	C_NO ₃ /l	tnNO ₃	tnNO ₃	tnNO ₃
UDA57	Resto Campo de Cartagena, regadío mixto de acuíferos, depuradas y desalinizadas	87	40	45	100	3,480	3,915	8,700
UDA58	Regadíos redotados del TTS de la ZRT Campo de Cartagena	79	4	6	15	316	474	1,185
UDA75	Cota 120 Campo de Cartagena	37	40	45	100	1,480	1,665	3,700
	Conjunto	203	26	30	67	5,276	6,054	13,585

Tabla 6. Concentración del agua de riego para las diferentes UDAs y concentración media.

La aplicación de agua de riego, con las dotaciones de riego establecidas en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura, determina una cantidad de nitrógeno por hectárea procedente del agua de riego entre 16 y 57 kgN/ha. Utilizando la concentración del agua de riego anterior como valor de referencia, de 30 mgNO₃/l, el aporte de nitrógeno es de 54 kgN/ha en los cultivos de hortalizas y de 42 kgN/ha en los cultivos de cítricos, con un valor medio ponderado de 49 kgN/ha, valor este último similar al obtenido en el balance de nitrógeno.

	Hortalizas	Cítricos	Ponderado
reparto	57%	43%	
m ³ /ha/año	7,950	6,150	
mgNO ₃ /l	kgN/ha	kgN/ha	kgN/ha
35	63	49	57
30	54	42	49
25	45	35	40
20	36	28	32
15	27	21	24
12	22	17	19
10	18	14	16

Tabla 7. Estimación del aporte de nitrógeno para diferentes concentraciones del agua de riego.

Otro de los aportes de nitrógeno a tener en consideración es el nitrógeno almacenado en el suelo, al inicio del ciclo del cultivo. El modelo de simulación Patrical estima que el contenido de nitrógeno en la zona del Campo de Cartagena varía entre 30 y 60 kgN/ha, alcanzando un valor mínimo en invierno de 30 kgN/ha. Los fuertes eventos de lluvia lavan el suelo y reducen el contenido de nitrógeno en el suelo, como aparece en el resultado de la simulación para el mes de diciembre de 2016.

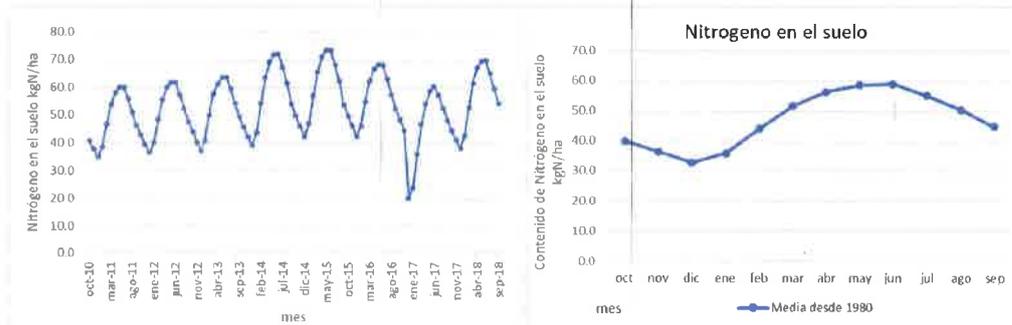


Figura 15. Contenido de nitrógeno en el suelo obtenido con el modelo de simulación Patrical en la zona centro del del Campo de Cartagena.

2.3 Aportes de agua al Mar Menor superficiales y subterráneos, y extensión de las medidas a las zonas 1 y 2

Los principales aportes de agua continental al Mar Menor se producen como aportes superficiales a través de la Rambla del Albujón, y como aportes subterráneos directamente del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena.

La cuenca de la Rambla del Albujón tiene una superficie de 543 km² y representa la principal red de drenaje de la comarca del Campo de Cartagena (UCM, 2019). La parte final de esta Rambla drena el acuífero Cuaternario del Campo de Cartagena con concentraciones de nitrato en el entorno de los 150 mgNO₃/l.

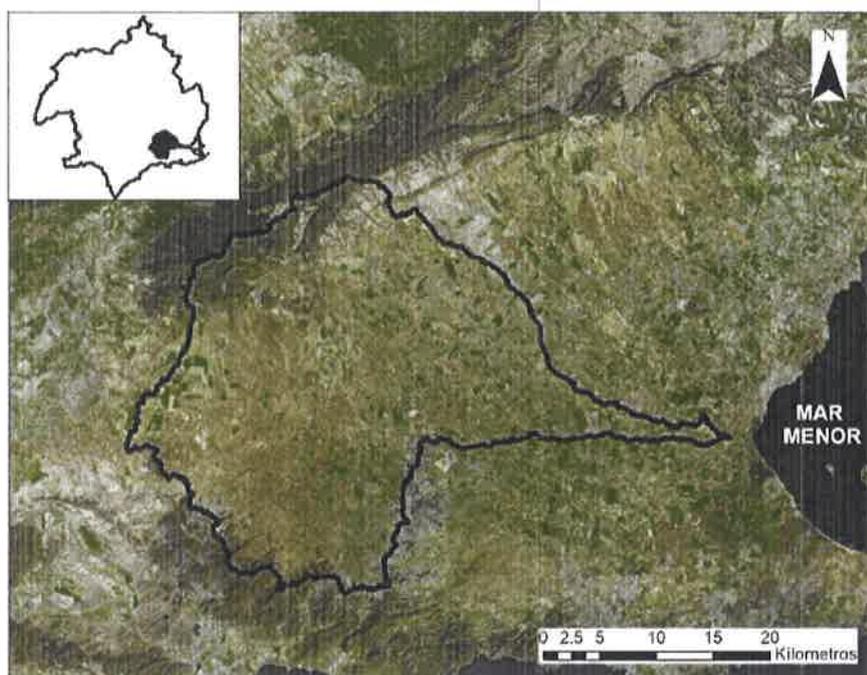


Figura 16. Cuenca vertiente de la Rambla del Albujón (UCM, 2019).

En relación con las aguas subterráneas, los resultados obtenidos con el modelo matemático de simulación de aguas subterráneas de la franja limítrofe con el Mar Menor (Tragsatec, 2020), indican que los aportes de agua subterránea al Mar Menor del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena en el año 2018-2019 son de 8.5 hm³. El 80% de los aportes de aguas subterráneas se producen por la zona norte del acuífero, 7 hm³, mientras que el resto de los aportes de agua subterránea, 1.5 hm³, se producen por su mitad sur (Tragsatec, 2020). La concentración de nitrato del acuífero de cuaternario del Campo de Cartagena se sitúa en valores de 200 mgNO₃/l.

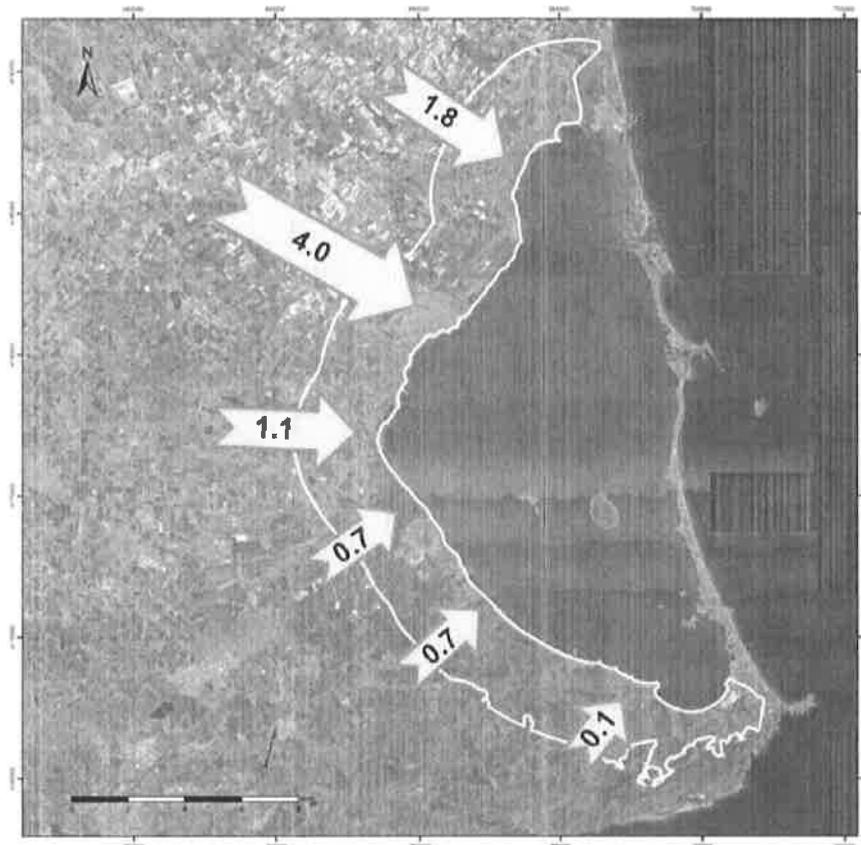


Figura 17. Modelo de flujo de aguas subterráneas de la franja limítrofe con el Mar Menor y esquema de aportes de agua al Mar Menor (Tragsatec, 2020).

El Decreto-ley 2/2019, de 26 de diciembre, de Protección Integral del Mar Menor de la Región de Murcia, establece dos zonas (Zona 1 y Zona 2) a efectos de la aplicación de un conjunto importante de medidas para prevenir la contaminación por nitrógeno. Las explotaciones agrícolas situadas en la Zona 1 incluyen un conjunto de medidas adicionales a las aplicadas en las explotaciones agrícolas situadas en la Zona 2, al objeto de reducir el aporte de nitrógeno al Mar Menor.



Figura 18. Definición de zonas 1 y 2 en el Decreto-ley 2/2019, de 26 de diciembre, de Protección Integral del Mar Menor de la Región de Murcia (izqda.) y superposición de la cuenca vertiente de la Rambla del Albujón y de las áreas contributivas a las principales descargas subterráneas (dcha.).

Tanto la Rambla del Albujón, que es el principal aporte de agua superficial y subsuperficial (procedente del acuífero) al Mar Menor, como los principales aportes de agua subterránea procedentes del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena, que se producen por la zona norte, están situados en la zona 2 definida por el Decreto-ley 2/2019. Dado que estas zonas son las que contribuyen de una forma más significativa a los aportes de nitrato al Mar Menor, es necesario extender las medidas adicionales definidas en la zona 1, cuyo objetivo es reducir los aportes de nitrógeno al Mar Menor, a aquellas superficies que presenten una mayor vulnerabilidad de la zona 2. Y, dado que abarca la mayor parte de esta zona, se recomienda su extensión al conjunto de la zona 2.

2.4 Limitación de la actividad agrícola en terrenos próximos al dominio público marítimo-terrestre

Para evitar la contaminación por nutrientes de origen agrario y su afección al Mar Menor y su entorno, sin prejuzgar el alcance final del texto actualmente en trámite legislativo en el Parlamento de Murcia, resulta conveniente recomendar la prohibición cautelar de la aplicación de todo tipo de fertilizantes, estiércoles o abonado en verde, en aquellas áreas que se encuentren a menos de 1,500 metros del límite interior de la ribera del Mar Menor. En el Decreto-Ley 2/2019, de 26 de diciembre, de Protección Integral del Mar Menor, la anchura de esa franja está definida en un umbral de los 500 metros, dentro de la cual la superficie de regadío es relativamente pequeña, en relación con la que genera aportes de nutrientes hacia la laguna salada.



Figura 19. Limitación de la actividad en las zonas próximas al dominio público marítimo-terrestre.

La superficie de terrenos regados permanentemente para diferentes distancias se adjunta en la tabla siguiente. Mediante la definición de 1,500 m de anchura de franja alrededor del Mar Menor, la superficie de riego afectada por la limitación es de 1,400 ha, según la información de teledetección del año 2017/18

proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Segura. En la tabla 8 se puede observar que el incremento de anchura de la franja desde los 500 a los 1,500 m supone multiplicar prácticamente por 10 la superficie afectada por la limitación, lo que puede contribuir de manera sustancial a la reducción de los aportes de nutrientes a la laguna salada. En el caso de la franja de 1,000 m, el efecto es notablemente inferior. Por esta razón, se sugiere ampliar hasta los 1,500 la anchura de esa franja de terreno en la que no se realizaría la aplicación de fertilizantes, estiércoles o abonados en verde.

Superficies en las franjas alrededor del Mar Menor			
	0-500m	0-1,000m	0-1,500m
Cultivos bajo plástico (ha)	0.1	6.0	36.8
Herbáceos (ha)	101.4	425.6	1,044.8
Leñosos (ha)	25.2	116.4	302.6
Total teledetección (ha)	126.7	548.0	1,384.2
Total Sup. Aprov. Registro Aguas (ha)	136.4	574.0	1,359.0

Tabla 8. Superficie sujeta a limitaciones en las zonas próximas al dominio público marítimo-terrestre (Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura, teledetección 2017/18).

2.5 Aplicación de fertilizantes y exceso de nitrógeno

En base a los trabajos previos realizados con el análisis de la información de toda España (Miteco, 2019) y el análisis en la zona del Campo de Cartagena, es posible establecer una relación entre la aplicación de fertilizantes y el exceso de nitrógeno que se produce.

El análisis realizado con los datos anuales de la presión por nitrógeno - exceso de nitrógeno-, respecto de los aportes totales de nitrógeno de toda España (Miteco, 2019), muestra una alta relación entre ambas variables ($r=0.79$). Esta relación establece de forma media que 2.3 millones de toneladas de aporte de nitrógeno en el suelo generan un exceso de nitrógeno de 0.64 MtnN/año, mientras que 2.4 MtnN/año de aporte total de nitrógeno generan aproximadamente 0.72 MtnN/año.

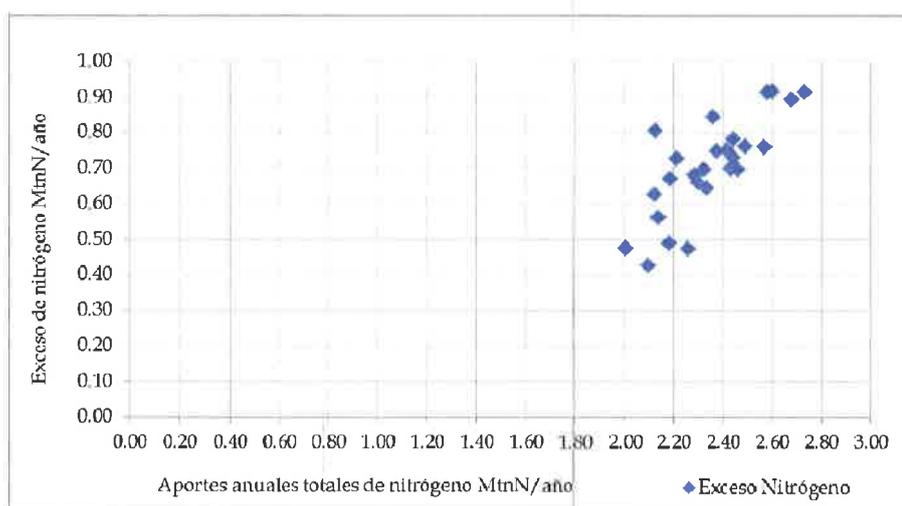


Figura 20. Relación entre el aporte total de nitrógeno y el exceso anual de nitrógeno (Millones de tnN/año) (Miteco, 2019).

El análisis de los diferentes aportes de nitrógeno con el exceso de nitrógeno, muestra que la variable que presenta mayor relación con el exceso es la aplicación de fertilizantes ($r=0.77$). De esta forma, los aportes totales de 2.3 MtnN/año se corresponden con 1.0 MtnN/año de aplicación de fertilizantes y con el mencionado exceso de nitrógeno de 0.64 MtnN/año. La aplicación de fertilizantes en los últimos dos años de datos disponibles, 2014-2015, se ha situado en 1.13 MtnN/año, teniendo un aporte total de 2.43 MtnN/año y produciéndose un exceso de nitrógeno de 0.77 MtnN/año.

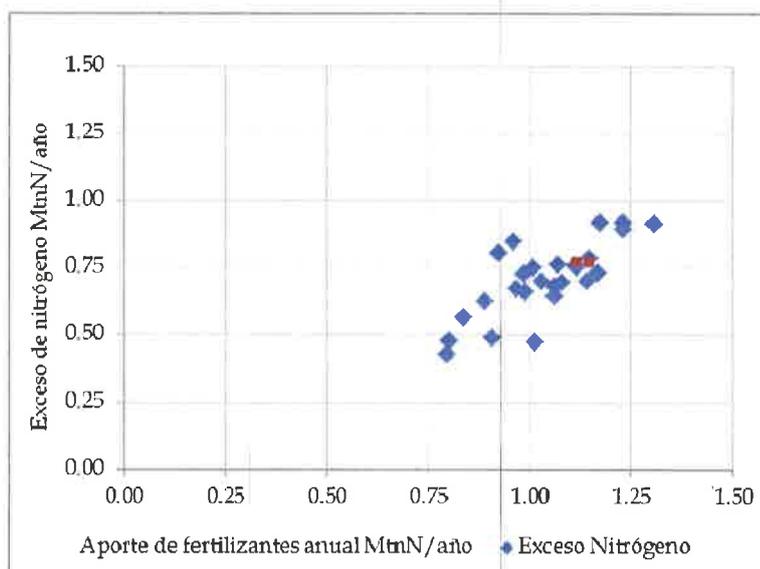


Figura 21. Relación entre el aporte de fertilizantes y el exceso anual de nitrógeno (Millones de tnN/año) (Miteco, 2019).

Aplicando esta misma relación, una reducción de la presión de un 25% equivaldría a una aplicación total de nitrógeno de 2.2 MtnN/año, con una aplicación de fertilizantes de algo menos de un millón de toneladas, 0.9 MtnN, siendo estos valores similares a los producidos durante el periodo 2008-2013.

La reducción de la presión de un 50% está asociada a una reducción de los aportes totales de nitrógeno del 18% hasta dos millones de toneladas de nitrógeno al año, 1.98 MtnN/año, con una reducción en la aplicación de fertilizantes del 35% a valores de 0.73 MtnN/año, tal y como se describe en la tabla 9.

Escenarios	Exceso de nitrógeno (MtnN/año)	Aporte total de nitrógeno (MtnN/año)	Porcentaje de reducción	Aplicación de fertilizantes asociada (MtnN/año)	Porcentaje de reducción
Base (tendencial)	0.77	2.43		1.13	
Reducción 25% presión	0.58	2.22	9%	0.93	18%
Reducción 50% presión	0.38	1.98	18%	0.73	35%
Reducción 100% presión	0	-	-	-	-

Tabla 9. Escenarios de reducción de la presión considerados (Miteco, 2019).

Como síntesis, el análisis de la información de toda España muestra que la reducción de un 18% en la aplicación de nitrógeno produce una reducción en la presión por nitrógeno -exceso de nitrógeno-, del 50%.

La reducción en el contenido nitrógeno en el suelo se produce de forma rápida en el primer y segundo año años tras la aplicación de las medidas, de forma que el sistema reducirá rápidamente los aportes de nitrógeno que puedan generar episodios de lluvia futuros.

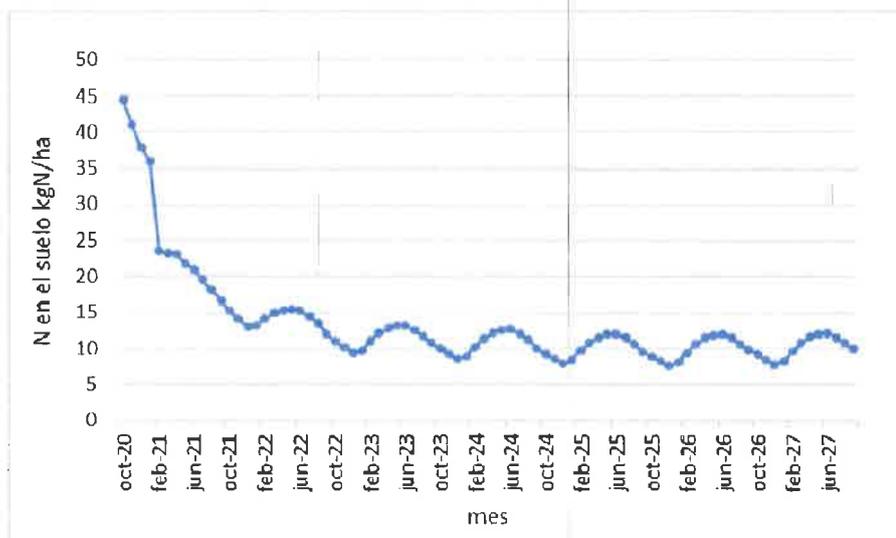


Figura 23. Evolución del contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero, serie completa y los primeros años.

En valores medios, los resultados obtenidos con el modelo de simulación muestran que el contenido de nitrógeno en el suelo varía, a lo largo del año, entre 8 kgN/ha y 13 kgN/ha.

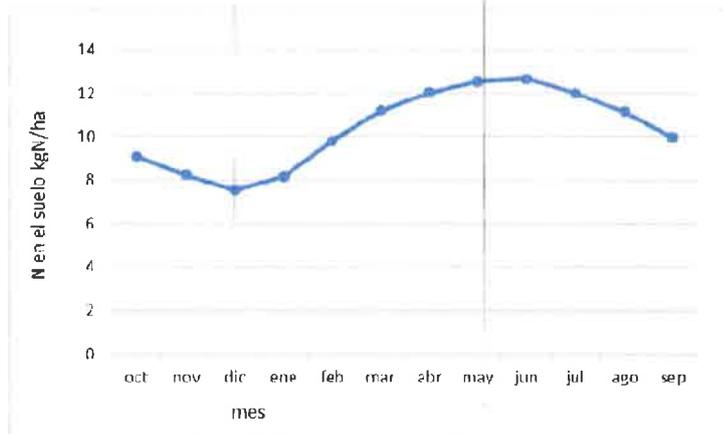


Figura 24. Contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero.

Para el caso de la zona de estudio, el Campo de Cartagena, la reducción de un 20% en la aplicación total de nitrógeno (de 350 kgN/ha a 280 kgN/ha), representa una reducción en la presión de nitrógeno -exceso de nitrógeno-, entre el 30 y el 35%. Esta reducción en la aplicación total de nitrógeno es de 70 kgN/ha, y los análisis realizados con el modelo de simulación muestran que se reduciría la concentración de nitrato a valores medios en el entorno de los 100 mgNO₃/l, valor superior a los 50 mgNO₃/l que representa el buen estado de la masa.

Para conseguir concentraciones medias en el acuífero en el entorno de los 50 mgNO₃/l, es necesaria una reducción mayor en la aplicación total de nitrógeno del 40% (de 350 kgN/ha a 210 kgN/ha), además de la desaparición del regadío en las parcelas sin concesión de agua definidas por la Confederación Hidrográfica del Segura.

La reducción en el aporte total de nitrógeno es de 140 kgN/ha, y produce una reducción en la presión por nitrógeno del 75%. Si, además, se reduce la superficie de regadío con las parcelas que no cuentan con concesión administrativa, la reducción en la presión obtenida es del 80%. Con esta reducción en la presión los resultados obtenidos con el modelo de simulación muestran que es posible alcanzar valores en el entorno de los 50 mgNO₃/l.

Los resultados de la simulación muestran que el contenido de nitrógeno en el suelo se reduce significativamente, pasando de valores en el entorno de 30-40 kgN/ha a valores en el entorno de 5-15 kgN/ha. Esta reducción contribuye a reducir, de forma significativa, los aportes de nitrógeno al Mar Menor producidos por las escorrentías superficiales y sedimentos en los eventos de lluvia, dado que la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo es significativamente inferior.

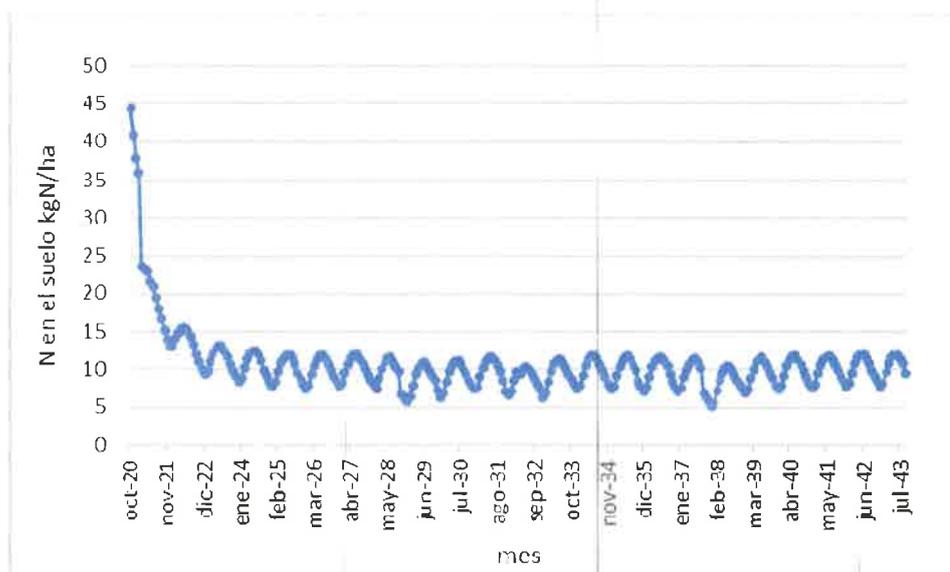


Figura 22. Evolución del contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero.

En relación con el acuífero, los resultados obtenidos con el modelo de simulación Patrical muestran que la recuperación del acuífero presenta una inercia mucho más elevada, dado que tiene que renovarse paulatinamente el contenido de nitrato actualmente almacenado en el acuífero. Los resultados del modelo muestran que, para alcanzar una concentración media de 50 mgNO₃/l, es necesaria la aplicación de una reducción del 80% en la presión, y que la reducción de la concentración de nitrato en las diferentes zonas del acuífero tenderá de forma asintótica hacia el valor de 50 mgNO₃/l. Actualmente, las concentraciones de la zona de borde del acuífero cuaternario con el Mar Menor son superiores a la concentración media en el acuífero, al valor de una zona más amplia que rodea el Mar Menor y al valor medio del conjunto del acuífero.

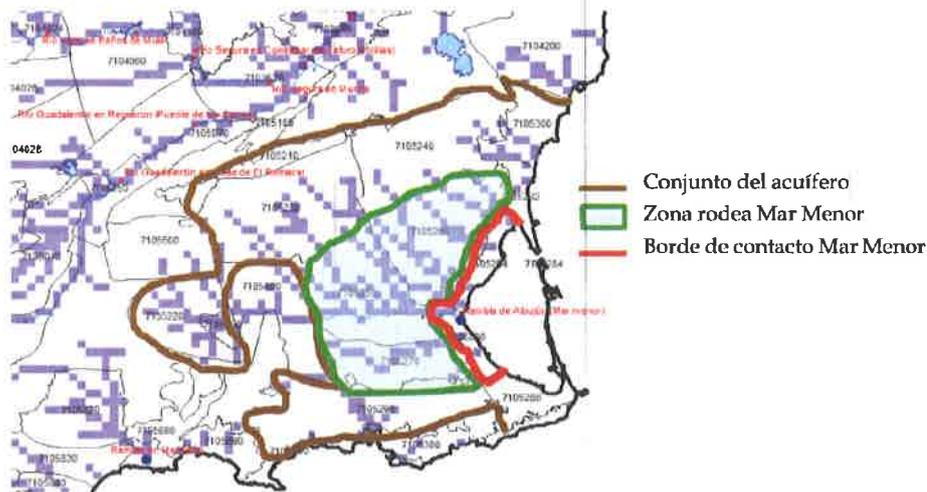


Figura 25. Límite del acuífero, zona más amplia que rodea el Mar Menor, y borde de contacto con el Mar Menor.

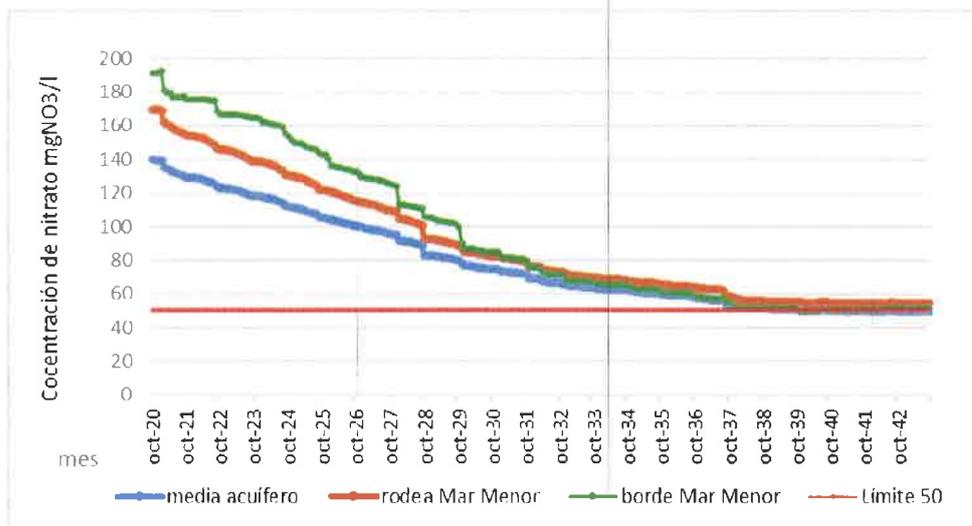


Figura 26. Evolución de la concentración de nitrato en el acuífero, tras la reducción de un 80% de la presión aplicada obtenida con el modelo de simulación Patrical.

En base a los resultados obtenidos con el modelo de simulación, tras la implantación de las medidas, la concentración media en el acuífero cuaternario bajaría de 100 mgNO₃/l en 6 años, de 75 mgNO₃/l en 10 años y de 50 mgNO₃/l en 17 años.

Analizando este resultado por zonas, hay que tener en consideración que las concentraciones se aproximan, de forma asintótica, al valor de 50 mgNO₃/l, por lo que en algunas zonas el resultado de los tiempos de recuperación en las proximidades de 50 mgNO₃/l es muy sensible al valor de referencia utilizado. Para evitar esta distorsión en la estimación de la recuperación a largo plazo, se ha incluido también el umbral de 55 mgNO₃/l como valor de referencia adicional.

La parte extendida del acuífero cuaternario que rodea el Mar Menor, requiere un periodo de 8 años para tener una concentración inferior a 100 mgNO₃/l, y de 19 años para alcanzar una concentración aproximada de 50 mgNO₃/l. Finalmente, la zona de contacto entre el acuífero cuaternario y el Mar Menor, que es la zona que aporta agua con nitrato al Mar Menor, bajaría su concentración de nitrato a 100 mgNO₃/l en 9 años, a 75 mgNO₃/l en 11 años, y se encontraría en concentraciones en el entorno de los 50 mgNO₃/l en 17 años.

	Concentración actual Nitrato (mgNO ₃ /l)	100 mgNO ₃ /l	75 mgNO ₃ /l	55 mgNO ₃ /l	50 mgNO ₃ /l
Media acuífero	145	6	10	17	21
Zona extensa rodea Mar Menor	170	8	12	19	23
Borde con el Mar Menor	190	9	11	17	22

Tabla 10. Número de años requeridos desde la implantación de la reducción del 80% en la presión en el acuífero hasta alcanzar los diferentes umbrales de concentración de nitrato.

Los resultados muestran que la concentración de nitrato en los aportes de agua subterránea al Mar Menor se reducirá a la mitad en 9 años, tras la implantación de la reducción en la presión sobre el acuífero de un 80%. En relación con los aportes de nutrientes al Mar Menor, desde el inicio de la implantación de las medidas, se produce una reducción progresiva en la concentración de nitrato en el acuífero, lo que genera a su vez, una reducción también progresiva de los aportes de nitrato al Mar Menor, y consecuentemente, una reducción paulatina de los aportes de nutrientes a la laguna que contribuye a reducir el riesgo de eutrofización.

Teniendo en cuenta los resultados del modelo de simulación, se han actualizado los valores correspondientes a la deposición atmosférica, el aporte de nitrógeno con el agua de riego y el nitrógeno almacenado en el suelo. La deposición atmosférica está calculada para el año 2016 en el Balance de Nitrógeno de la Agricultura Española (Mapama, 2018), siendo para la Región de Murcia de 11 kgN/ha. La deposición atmosférica depende de la aplicación total de nitrógeno, de forma que, a mayor aplicación, se produce mayor volatilización atmosférica y, consecuentemente mayor deposición atmosférica. A partir de los datos anuales de aplicación de nitrógeno y de deposición atmosférica del Balance de nitrógeno de la Agricultura Española, desde el año 1990 hasta el año 2015, se ha establecido la relación entre la aplicación y la deposición atmosférica. De esta forma, al reducir la aplicación de nitrógeno en el Campo de Cartagena, también se reduce la volatilización a la atmósfera y por lo tanto también la deposición atmosférica. En base al análisis de los datos anuales anteriores, la deposición atmosférica se reduce de 11 a 6 kgN/ha. El nitrógeno aplicado en el agua de riego se reduce, quedando en 26 kgN/ha, y el nitrógeno contenido en el suelo, en base a los resultados anteriores, queda en 8 kgN/ha.

	Valor actual	Valor futuro tras la reducción en la aplicación de fertilizantes
Deposición atmosférica (kgN/ha)	11	6
Agua de riego (kgN/ha)	49	26
Nitrógeno en el suelo (kgN/ha)	30	8
	90	40

Tabla 11. Aplicación total de nitrógeno por hectárea y año, y dosis aplicar por el agricultor en kgN/ha/año.

La recuperación del acuífero para alcanzar el buen estado se obtendría con un aporte total de nitrógeno de 210 kgN/ha y año, el cual, junto con la reducción de las parcelas sin concesión de agua, implicará una reducción de la presión sobre el acuífero del 80%.

Este aporte total de nitrógeno incluye la dosis aplicada por el agricultor, la deposición atmosférica, el aporte de nitrógeno con el agua de riego y el nitrógeno contenido en el suelo al inicio del ciclo. Descontando el resto de componentes, **la dosis máxima a aplicar por el agricultor, por hectárea y año, es de 170 kgN/ha/año.**

Aporte máximo total (kgN/ha)	210
Deposición atmosférica (kgN/ha)	6
Agua de riego (kgN/ha)	26
Nitrógeno en el suelo (kgN/ha)	8
Aplicación agricultor (kgN/ha)	170

Tabla 12. Aporte total de nitrógeno por hectárea y año, y dosis máxima a aplicar por el agricultor, en kgN/ha/año.

3 Medidas para la recuperación del acuífero del Campo de Cartagena y reducción de los aportes de nitrógeno al Mar Menor

En base a los análisis realizados, se recomienda **incorporar de forma clara y explícita, en el Programa de Actuación, la cantidad máxima de aporte total de nitrógeno por hectárea y año en la zona del Campo de Cartagena.** Este valor no debe superarse en el conjunto del año, mediante la aplicación de un ciclo de cultivo, o como máximo de los 2 ciclos de cultivo permitidos en el Campo de Cartagena, según establece el Decreto-ley 2/2019, de 26 de diciembre, de Protección Integral del Mar Menor.

El valor de la máxima cantidad de aporte de nitrógeno por hectárea y año, con las superficies de riego actuales con concesión y compatible con la recuperación de la masa de agua subterránea del Campo de Cartagena, es de 210 kgN/ha. Este valor de aporte máximo de nitrógeno total, por hectárea y año, incluye la deposición atmosférica, el nitrógeno aplicado en el agua de riego, el nitrógeno existente en el suelo y la dosis a aplicar por el agricultor. Teniendo en cuenta el nitrógeno aportado por estas componentes, se recomienda que **la dosis máxima de nitrógeno aplicado por el agricultor sea de 170 kgN/ha/año.**

Se recomienda que el Programa de Actuación **incorpore, de forma clara y explícita, la dosis máxima a aplicar por el agricultor por hectárea y año, siendo el valor máximo de 170 kgN/ha/año, para que sea compatible la recuperación del acuífero.**

Las cifras de aporte máximo y de dosis máxima que puede aplicar el agricultor por hectárea y año, compatibles con la recuperación del acuífero, representan una reducción respecto de la aplicación actual total de nitrógeno. Esta reducción puede obtenerse mediante la **eliminación de la fertilización de fondo aplicada en los cultivos, mayoritariamente ligada a la fertilización orgánica** a través de estiércoles y de lodos de depuradora, pero también a la fertilización mineral de fondo.

Adicionalmente, con el objetivo de no superar los 170 kgN/ha/año antes mencionados, se recomienda el establecimiento de una **reducción en los cultivos de cítricos de la aplicación de la fertilización mineral, a través de fertirrigación, de al menos un 20%, respecto a las aplicaciones actuales.**

La aplicación de estas medidas representa una **reducción global de la presión de nitrógeno sobre el acuífero del 80%, que produce la recuperación del acuífero** y que las concentraciones de nitrato en el Campo de Cartagena se sitúen en el entorno de los 50 mgNO₃/l. Por otra parte, la reducción en el aporte de nitrógeno genera que **el contenido de nitrógeno en el suelo se reduzca significativamente durante el primer y segundo año** tras la aplicación de las medidas, lo que **implica que los aportes de agua superficial durante los**

eventos de lluvias, que generen arrastres de agua y sedimentos, contengan una cantidad significativamente menor de nitrógeno.

En relación a la **recuperación del acuífero**, y en base a los resultados del modelo de simulación Patrical, es necesaria la **reducción de la presión en un 80% para que las concentraciones de nitrato tiendan asintóticamente hacia el valor límite de 50 mgNO₃/l**. Reducciones menores a este valor de la presión no son compatibles con la recuperación del acuífero. La aplicación de estas medidas, que representan una reducción de la presión sobre el acuífero de un 80%, producirán que las **concentraciones actuales de nitrato, de 150-190 mgNO₃/l, desciendan de 100 mgNO₃/l en un plazo de 7 años en el valor medio del conjunto del acuífero, y en un plazo de 9 años en la zona de contacto del acuífero cuaternario con el Mar Menor**. En base a los resultados del modelo, y teniendo en cuenta todas las incertidumbres asociadas a estimaciones a largo plazo, las concentraciones de nitrato serán inferiores a 75 mgNO₃/l entre 10 y 12 años, tras la implantación de las medidas y, finalmente, las concentraciones permitirían la recuperación del acuífero (concentración menor 50 mgNO₃/l), en un plazo de 18 años. En relación con la conexión con el Mar Menor, desde el inicio de la implantación de las medidas se produce una reducción progresiva en la concentración de nitrato en el acuífero, lo que genera, a su vez, una reducción también progresiva de los aportes de nitrato al Mar Menor, y consecuentemente, la **reducción paulatina de los aportes de nutrientes a la laguna que contribuye a reducir el riesgo de eutrofización**.

El Decreto-ley 2/2019, de 26 de diciembre, de Protección Integral del Mar Menor del Región de Murcia, establece dos zonas (Zona 1 y Zona 2) a efectos de la aplicación de un conjunto importante de medidas. Las explotaciones agrícolas situadas en la Zona 1 incluyen un conjunto de medidas adicionales a las aplicadas en las explotaciones agrícolas situadas en la Zona 2. En este sentido, tanto la Rambla del Albujón, que es el principal aporte de agua superficial y subsuperficial (procedente del acuífero) al Mar Menor, como el área contributiva de los aportes subterráneos directos del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena al Mar Menor se encuentran en la zona 2 definida por el Decreto-ley 2/2019. Parece, por todo lo expuesto, que **es recomendable extender cautelarmente las medidas adicionales definidas en la zona 1 a aquellas superficies que presenten una mayor vulnerabilidad de la zona 2. Y, dada la extensión de estas áreas, se recomienda extender estas medidas al conjunto de las zonas 1 y 2**.

Para evitar la contaminación por nutrientes de origen agrario y su afeción al Mar Menor y su entorno, sin prejuzgar el alcance final del texto actualmente en trámite legislativo en la Asamblea de la Región de Murcia, **se recomienda ampliar cautelarmente la aplicación de todo tipo de fertilizantes, estiércoles o abonado en verde, a aquellas áreas que se encuentren a menos de 1,500 metros del límite interior de la ribera del Mar Menor**, con el objeto de mejorar la efectividad de la medida, dado que abarcaría una superficie de regadío de aproximadamente 1,400 hectáreas, según los datos obtenidos por teledetección para el año 2017/18. En el Decreto-Ley 2/2019, de 26 de diciembre, de Protección Integral del Mar Menor, la anchura de esa franja está definida en un

umbral de los 500 metros, dentro de la cual la superficie de regadío es relativamente pequeña, 127 hectáreas de regadío, en relación con la que genera aportes de nutrientes hacia la laguna salada.

4 Referencias

- Magrama, 2015. *Evaluación de los objetivos de concentración de nitrato en las masas de agua subterráneas de España (2015 2021 y 2027) con el modelo de simulación Patrical*. Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua. Dirección General del Agua. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Mapama, 2018. "Balance del Nitrógeno en la Agricultura Española, 2016". Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPA, 2019 Marzo. *Análisis de soluciones para el vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena. Estudio de Impacto Ambiental después de la Información Pública. APÉNDICE 1. Diagnóstico de la problemática del Mar Menor*
- MARM 2009. (Ministerio Medio Ambiente, Medio Rural y Marino). *Definición de la concentración objetivo de nitrato en las masas de agua subterráneas de las cuencas intercomunitarias*. Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua del Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino. 2009
- Miteco, 2019. *Obtención de la concentración de nitrato en las aguas subterráneas de España. Realizado por la Universitat Politècnica de València, UIPV, con el modelo Patrical*.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL (2007) *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(3):885–900, doi:10.13031/2013.23153
- Nash JE, Sutcliffe JV (1970) *River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles*, *J. Hydrol.*, 10:282-290
- Pérez-Martín MA, Estrela T, Andreu J and Ferrer J. (2014). *Modeling Water Resources and River-Aquifer Interaction in the Júcar River Basin, Spain*. *Water Resource Management* (2014) 28:4337–4358 DOI 10.1007/s11269-014-0755-3.
- Perez-Martin, Miguel A.; Estrela, Teodoro; del-Amo, Patricia. 2016. *Measures required to reach the nitrate objectives in groundwater based on a long-term nitrate model for large river basins (Jucar, Spain)*. *Science of the Total Environment* Volume: 566 Pages: 122-133. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.20
- Tragsatec, 2020. *Modelo de flujo. Acuífero cuaternario del Campo de Cartagena: "cuantificación, control de la calidad y seguimiento piezométrico de la descarga de agua subterránea del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena al mar menor*
- UCM, 2019. *Modelización hidrológica distribuida de la cuenca de la rambla del Albuñón mediante el uso de datos de teledetección*.