



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

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

Servicios de consultoría y asistencia técnica para la simulación bajo distintos escenarios y mediante modelo hidrológico, de la evolución del contenido en nitratos de la masa de agua subterránea 070.052 Campo de Cartagena. (TTMM: Varios. Provincias: Murcia y Alicante)

Septiembre de 2021

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	Antecedentes	3
3	Seguimiento indicadores	11
4	Modelo de simulación de nitratos en el Campo de Cartagena	43
5	Modelo de clorofila del Mar Menor	61
6	Resumen y conclusiones	71
7	Referencias	79

Índice detallado

1	Introducción	1
2	Antecedentes	3
2.1	Modelo de simulación Patrical	5
2.2	Aplicación del modelo Patrical en la Planificación Hidrológica	8
3	Seguimiento indicadores	11
3.1	Concentración histórica de nitrato y clorofila en el Lago	11
3.2	Valores de referencia de nitrato y clorofila en el Lago	14
3.3	Análisis de los aportes de agua al Mar Menor.	15
3.3.1	Datos registrados por ESAMUR.....	15
3.3.2	Red SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura	20
3.4	Bombeo del Albuñón.....	29
3.5	Seguimiento de indicadores clorofila en el Lago 2020 y 2021.....	34
3.6	Mortandad producida en agosto de 2021.	38
4	Modelo de simulación de nitratos en el Campo de Cartagena	43
4.1	Aplicación de fertilizantes	43
4.2	Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena	49
4.3	Escenarios de aplicación de fertilizantes y exceso de nitrógeno	51
4.4	Aportes de nitrato de las aguas superficiales	59
5	Modelo de clorofila del Mar Menor	61
5.1	Calibración del modelo, simulación condiciones 2018	63
5.2	Influencia del bombeo del Albuñón.....	65
5.3	Resultados con la recuperación del acuífero del Campo de Cartagena 67	
6	Resumen y conclusiones.....	71
6.1	Análisis de los indicadores.....	71
6.2	Recomendaciones	74
6.2.1	Ampliación de la red de observación	74
6.2.2	Reducción del riesgo de eutrofización	75
6.2.3	Mejora del conocimiento	78
7	Referencias.....	79

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).	3
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).	5
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).	6
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.	7
Figura 5. Modelo de simulación de nitrato Patrical (Perez-Martin, 2016).	7
Figura 6. Informe de nitratos del primer ciclo de Planificación (MARM, 2009). .	8
Figura 7. Informe de nitratos del segundo ciclo de Planificación (Magrama, 2015).	9
Figura 8. Informe de nitratos del tercer ciclo de Planificación (Miteco, 2019)....	10
Figura 9. Valores de clorofila, a partir de imágenes satélite y datos registrados (IEO, 2019).....	11
Figura 10. Valores de clorofila entre 2016 y 2019 (IEO, 2019).	11
Figura 11. Datos de concentración clorofila, nitrato y fosfato en el Mar Menor.	12
Figura 12. Datos de concentración de nitrato en la red de puntos de control en el mediterráneo.	12
Figura 13. Detalle de los datos de concentración clorofila, nitrato y fosfato en el Mar Menor.	13
Figura 14. Valores de referencia del RD 817/2015 para el Mar Menor.	14
Figura 15. Valores de referencia para el Mar Báltico.	14
Figura 16. Aportes del a Rambla del Albuñón tramo medio y canal.	15
Figura 17. Aportes de la Rambla del Albuñón correspondientes al tramo medio y el canal (Esamur).	16
Figura 18. Caudales medidos en el aforo situado en la desembocadura de Rambla del Albuñón (Esamur).	16
Figura 19. Caudales registrados en el aliviadero del bombeo del Albuñón (Esamur).	17
Figura 20. Concentración de nitrato (mgNO ₃ /l) en el aliviadero del bombeo del Albuñón cuando la compuerta de toma está cerrada (Eamur).	17

Figura 21. Caudales semanales (l/s) Rambla de Miranda y Rambla de las Matildes.....	18
Figura 22. Caudales semanales (l/s) Los Urrutias y Rambla de las Matildes en la corriente sur.....	18
Figura 23. Aportes de agua en el entorno de la Rambla del Albuñón y concentraciones de Nitrato.....	19
Figura 24. Marcos de control y estación de aforos en la desembocadura de la Rambla del Albuñón.....	20
Figura 25. Estación de Aforo “06A18 Desembocadura Rambla del Albuñón” tras la toma del Bombeo del Albuñón.	20
Figura 26. Caudales medios diarios (m ³ /s) en la desembocadura de la Rambla del Albuñón (06A18Q01).....	21
Figura 27. Caudal horario (m ³ /s) de junio y julio de 2021 en la desembocadura de la Rambla del Albuñón (06A18Q01).	21
Figura 28. Caudales cinco-minutales de la crecida del 8 de marzo de 2021 y del 23 y 24 de mayo de 2021 en la desembocadura del bombeo del Albuñón (06A18Q01).	22
Figura 29. Caudales cinco-minutales de la crecida del 8 de marzo de 2021 y del 23 y 24 de mayo de 2021 en los marcos de control del SAIH situados aguas arriba de la desembocadura de la Rambla del Albuñón.....	22
Figura 30. Crecidas registradas en la Rambla del Albuñón en la estación de Puebla en los años hidrológicos 2018/19, 2019/20 y 2020/21.	23
Figura 31. Crecidas registradas en la Rambla del Albuñón en la estación de Pozo Estrecho en los años hidrológicos 2016/17 y 2018/19.	23
Figura 32. Caudales medios diarios (m ³ /s) en la desembocadura del bombeo del Albuñón (06A18Q01).....	24
Figura 33. Red SAIH de aguas subterráneas en el entorno del Mar Menor, con datos de niveles y conductividad eléctrica del agua.	25
Figura 34. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 11 de Los Alcázares y el sondeo 9 sur Rambla del Albuñón.	25
Figura 35. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 17 y el sondeo 19.	26
Figura 36. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 13 y el sondeo 15.	26
Figura 37. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 9 y el sondeo 11.	27
Figura 38. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 5 y el sondeo 6.	27
Figura 39. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 1 y el sondeo 2.	28

Figura 40. Esquema de funcionamiento del bombeo del Albuñn dentro del esquema de bombeos (CHS).	29
Figura 41. Conexiones y monitoreo de los bombeos y conexi3n con la C.R. del Campo de Cartagena (CHS).	30
Figura 42. Desalobradora del Moj3n y desaladoras de San Pedro I y II.....	30
Figura 43. Esquema de entradas y salidas del dep3sito situado en el Moj3n.....	31
Figura 44. Drenes y estaciones de bombeo actuales. Bombeo del Albuñn, Bombeo de Punta Calera, desalobradora del Moj3n y emisarios marinos actuales (CHS).	32
Figura 45. Datos horarios del bombeo del Albuñn y de los vertidos en el aliviadero (m ³ /s).....	32
Figura 46. Datos horarios del bombeo a la CR del Campo de Cartagena (m ³ /s).	33
Figura 47. Volumen bombeado y estimaci3n de volumen vertido procedente de los drenes (m ³).	33
Figura 48. Concentraci3n de Clorofila-a media en el Mar Menor y valor de referencia de 2µgCl _a /l, serie disponible desde mayo de 2017 hasta julio de 2021. Fuente UPCT.	34
Figura 49. Concentraci3n de Clorofila-a media en el Mar Menor y valor de referencia de 2µgCl _a /l desde mayo de 2020 hasta julio de 2021. Fuente UPCT.	35
Figura 50. Concentraci3n de Clorofila en la capa superficial (0.5 m) y en la capa profunda (4 m), julio de 2021. Fuente:UPCT	35
Figura 51. Perfil vertical t3pico de concentraci3n de Clorofila julio de 2021. Fuente:UPCT	36
Figura 52. Nivel de clorofila y crecidas registradas desde mayo de 2020.....	36
Figura 53. Mapas de nivel de clorofila en la crecida de 7 de marzo de 2021.	37
Figura 54. Mapas de clorofila en la crecida de 23 de mayo de 2021.....	37
Figura 55. Concentraci3n de Clorofila-a media en el Mar Menor y de ox3geno disuelto en el agua. Fuente UPCT.	38
Figura 56. Concentraci3n de Clorofila-a µgCl _a /l en superficie, 0.5m, en el Mar Menor. Fuente UPCT.	38
Figura 57. Concentraci3n de ox3geno en profundidad, 4 m, en el Mar Menor. Fuente UPCT.	39
Figura 58. Playas cerradas debido a la mortandad de peces.....	39
Figura 59. Concentraci3n de clorofila µgCl _a /l en superficie y de ox3geno en profundidad, 4 m, en el Mar Menor el 19 de agosto de 2021. Fuente UPCT.	40
Figura 60. Concentraci3n de clorofila µgCl _a /l en superficie y de ox3geno en profundidad, 4 m, en el Mar Menor el 19 de agosto de 2021. Fuente UPCT.	40

Figura 61. Concentración de clorofila $\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ en superficie (color negro indica superior a 4 $\mu\text{gCl}_a/\text{l}$) y de oxígeno en profundidad, 4 m, en el Mar Menor el 2 de septiembre de 2021. Fuente UPCT.	41
Figura 62. Informe con el Balance de nitrógeno en la agricultura española (Mapama, 2018).....	43
Figura 63. Distribución espacial del exceso de nitrógeno en la región de Murcia.	45
Figura 64. Evolución anual de la aplicación de fertilizantes y del exceso de nitrógeno en la zona del Campo de Cartagena.	46
Figura 65. Contenido de nitrógeno en el suelo obtenido con el modelo de simulación Patrical en la zona centro del del Campo de Cartagena.....	48
Figura 66. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena 2014 (MAPA, 2019).....	49
Figura 67. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena.....	49
Figura 68. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena; ajuste entre en el modelo de simulación (línea verde) y las concentraciones observadas (puntos).	50
Figura 69. Relación entre el aporte total de nitrógeno y el exceso anual de nitrógeno (Millones de $\text{tnN}/\text{año}$) (Miteco, 2019).....	51
Figura 70. Relación entre el aporte de fertilizantes y el exceso anual de nitrógeno (Millones de $\text{tnN}/\text{año}$) (Miteco, 2019).....	52
Figura 71. Evolución del contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero.	53
Figura 72. 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.	54
Figura 73. Contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero.	54
Figura 74. Límite del acuífero, zona más amplia que rodea el Mar Menor, y borde de contacto con el Mar Menor.	55
Figura 75. 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.....	55
Figura 76. Evolución de la concentración de nitrato en el acuífero, tras la reducción de un 90% de la presión aplicada obtenida con el modelo de simulación Patrical.....	56
Figura 77. Aportes de agua superficial al Mar Menor.	59
Figura 78. Aportes de agua superficial al Mar Menor por la Rambla del Albujón en La Puebla obtenidos con el modelo de simulación.	59

Figura 79. Relación entre las aportaciones por la Rambla del Alujón en La Puebla y la concentración de nitrato de dichas aportaciones.....	60
Figura 80. Modelo conceptual Campo de Cartagena y aporte de nitrógeno al Mar menor.....	61

Índice de tablas

Tabla 1. Máxima dosis a aplicar por el agricultor en la Comunidad Valenciana por hectárea y año (Orden GVA, 2018).	4
Tabla 2. Balance de nitrógeno en la Región de Murcia (Mapama, 2018).....	44
Tabla 3. Balance de nitrógeno en la Región de Murcia para los cultivos de hortalizas, cítricos y frutales (Mapama, 2018).	44
Tabla 4. Balance de nitrógeno en los municipios de San Pedro del Pinatar, Torre-Pacheco, Los Alcázares, San Javier, Cartagena, Fuente-Álamo y Murcia.	46
Tabla 5. Aporte de nitrógeno del agua de riego en los municipios de San Pedro del Pinatar; Torre-Pacheco, Los Alcázares, San Javier, Cartagena, Fuente-Álamo y Murcia.	46
Tabla 6. Concentración del agua de riego para las diferentes UDAs y concentración media.	47
Tabla 7. Estimación del aporte de nitrógeno para diferentes concentraciones del agua de riego.	47
Tabla 8. Escenarios de reducción de la presión considerados (Miteco, 2019)....	52
Tabla 9. 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.	56
Tabla 10. Número de años requeridos desde la implantación de la reducción del 90% en la presión en el acuífero hasta alcanzar los diferentes umbrales de concentración de nitrato.	57
Tabla 11. Aplicación total de nitrógeno por hectárea y año, y dosis aplicar por el agricultor en kgN/ha/año.	57
Tabla 12. Aporte total de nitrógeno por hectárea y año, y dosis máxima a aplicar por el agricultor, en kgN/ha/año, para una reducción de la presión del 80% y del 90%.	58
Tabla 13. Concentración química del agua característica de la crecida.	60
Tabla 14. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación.....	63
Tabla 15. Concentración de nitrato disponible y nitrato residual en el agua (mgNO ₃ /l), para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación.	64
Tabla 16. Aportes de nitrato y concentración de Clorofila en el Mar Menor. Bombeo del Algujón B=0 hm ³ /año.	65
Tabla 17. Aportes de nitrato y concentración de Clorofila en el Mar Menor. Bombeo del Algujón B=1.5 hm ³ /año.....	65

Tabla 18. Aportes de nitrato y concentración de Clorofila en el Mar Menor. Bombeo del Alujón B=2.5 hm ³ /año.....	65
Tabla 19. Aportes de nitrato y concentración de Clorofila en el Mar Menor. Bombeo del Alujón B=4.5 hm ³ /año.....	66
Tabla 20. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 250 mgNO ₃ /l y 180 mgNO ₃ /l los superficiales.....	68
Tabla 21. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 150 mgNO ₃ /l y 108 mgNO ₃ /l los superficiales.....	68
Tabla 22. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 75 mgNO ₃ /l y 54 mgNO ₃ /l los superficiales.....	69
Tabla 23. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 55 mgNO ₃ /l y 39 mgNO ₃ /l los superficiales.....	69
Tabla 24. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 45 mgNO ₃ /l y 32 mgNO ₃ /l los superficiales.....	70

1 Introducción

La Confederación Hidrográfica del Segura encargo en octubre de 2020 al Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente IIAMA el estudio: Servicios de consultoría y asistencia técnica para la simulación bajo distintos escenarios y mediante modelo hidrológico, de la evolución del contenido en nitratos de la masa de agua subterránea 070.052 Campo de Cartagena. TT.MM. (Varios. Provincias: Murcia y Alicante).

Tal y como se indica en el encargo realizado al IIAMA, la masa de agua subterránea 070.052 Campo de Cartagena es una masa con elevadas concentraciones de nitratos en sus aguas, que proceden en buena parte de la actividad agrícola intensiva que se desarrolla en la zona regable del Campo de Cartagena.

La masa de agua subterránea está declarada en mal estado químico en el vigente Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura, debido a la elevada concentración de nitratos y el 16 de julio de 2020, la Junta de Gobierno de la CHS Segura declaró el acuífero del Campo de Cartagena “en riesgo de no alcanzar el buen estado químico” por la elevada presencia de nitratos en su agua.

Los resultados de este trabajo contribuyen al plan de ordenación de extracciones que se deriva de la declaración de en riesgo cuantitativo o químico de la masa de agua subterránea 070.052 Campo de Cartagena y a los trabajos de revisión del vigente plan hidrológico de la demarcación, que deben concluir a finales del año 2021 con la elaboración del plan hidrológico para el tercer ciclo, el que va del año 2021 a 2027.

Los principales contenidos de este trabajo son:

- Análisis de los datos de balance de nitrógeno y de la aplicación de nitrógeno en el Campo de Cartagena.
- Simulación de diferentes alternativas de aplicación de nitrógeno en el Campo de Cartagena, obteniéndose: la evolución de la concentración de nitrato en el acuífero, la evolución del contenido de nitrógeno en el suelo, y la concentración de nitrato en las aguas superficiales durante los eventos de lluvia.
- Análisis de los datos del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura de estaciones de aforo en la Rambla del Albuñón y de la red de control piezométrico en las proximidades de la desembocadura de la Rambla del Albuñón. Análisis las entradas de agua a la laguna aforadas por ESAMUR y del seguimiento de la evolución de los parámetros químicos del Mar Menor determinados por la CARM
- Elaboración de un modelo de simulación de la concentración de clorofila en condiciones estacionarias.

2 Antecedentes

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), está utilizando 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).

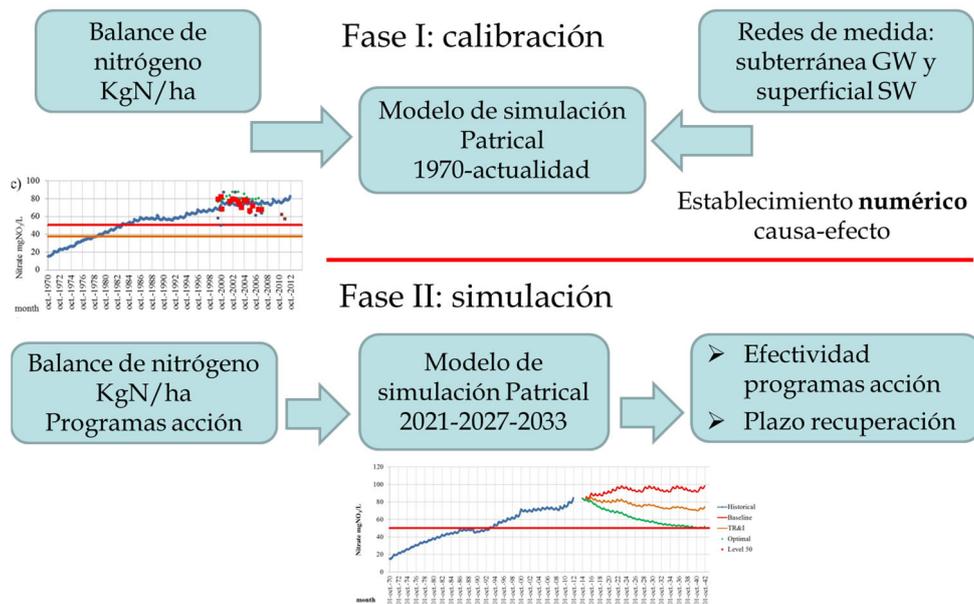


Figura 1. Metodología para la determinación de las medidas necesarias y el tiempo de recuperación de las masas de agua subterráneas en relación a la concentración de nitrato (Miteco, 2019).

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.

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).

2.1 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.

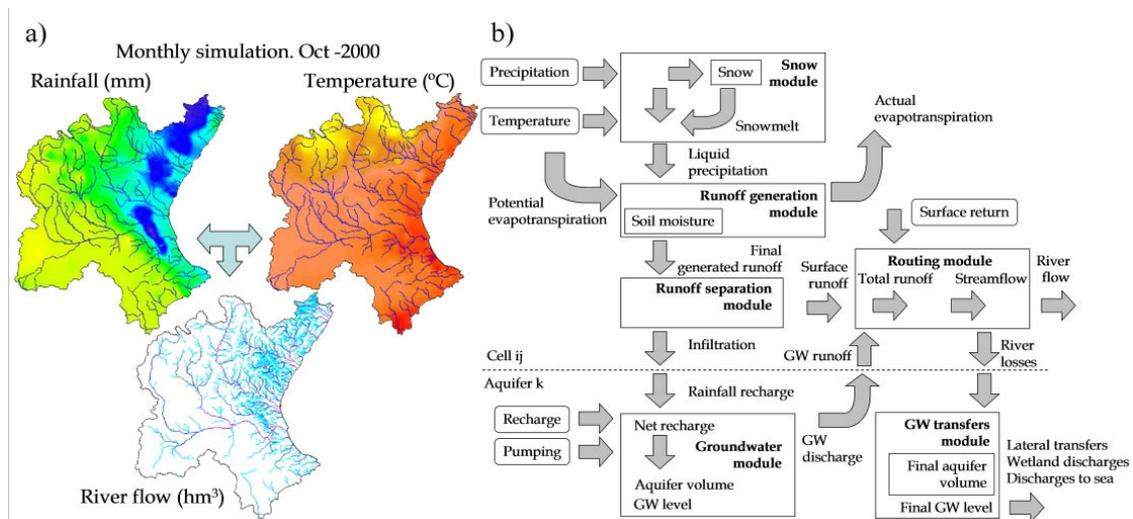


Figura 2. Precipitación, temperatura y aportación en la red fluvial en octubre de 2000 y esquema de funcionamiento del modelo Patrical (Pérez-Martín *et al.*, 2014).

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.

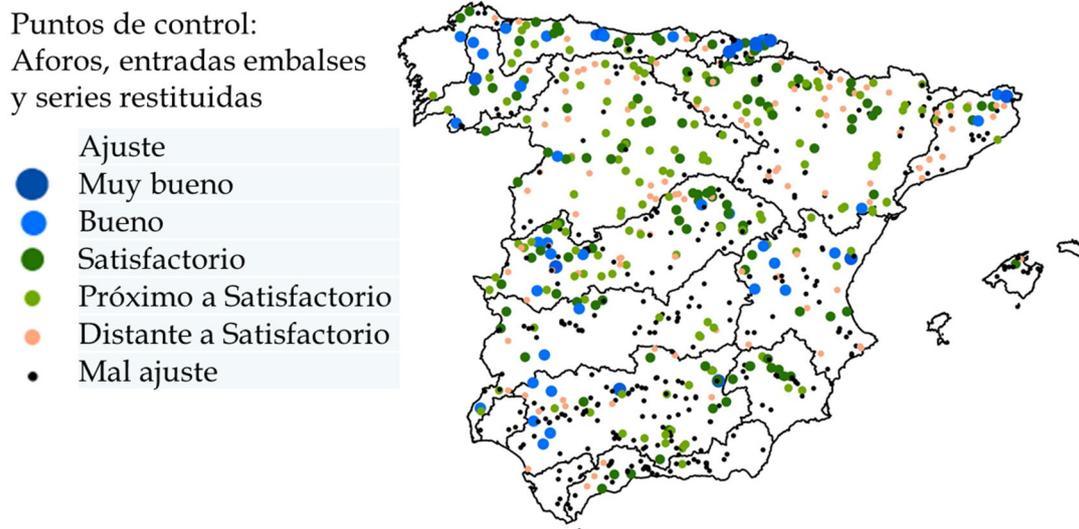


Figura 3. Ajuste entre los resultados del modelo y los caudales observados o restituidos a régimen natural, criterios de Moriasi *et al.* (2007).

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.

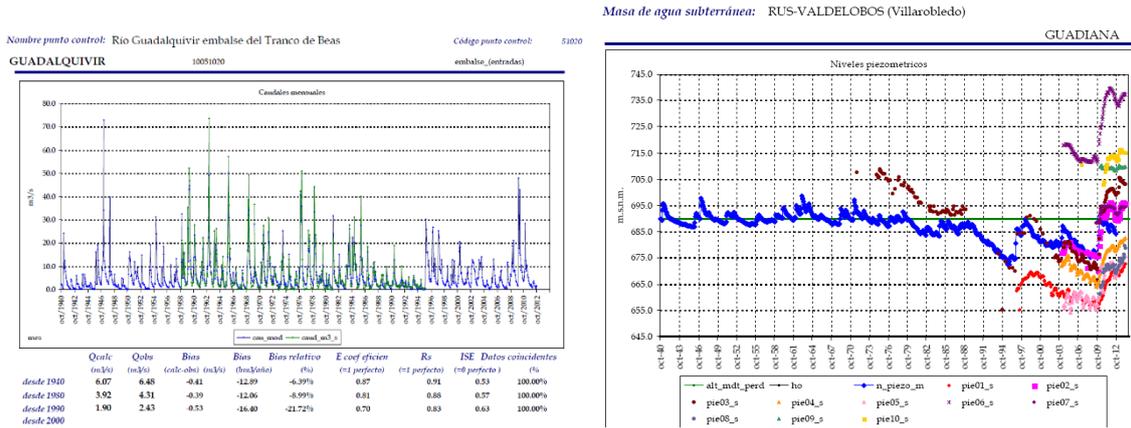


Figura 4. Caudales mensuales en régimen natural al embalse del Tranco de Beas en el río Guadalquivir (m³/s), y niveles piezométricos en la masa de agua subterráneas de Rus-Valdelobos (m.s.n.m.). Contraste entre el modelo y los datos históricos.

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.

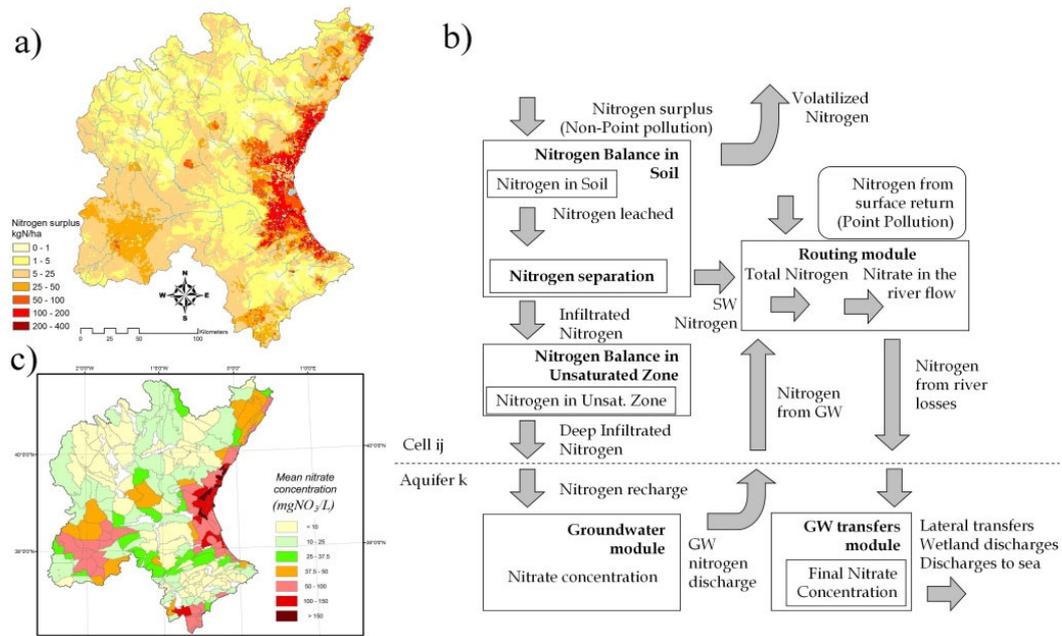


Figura 5. Modelo de simulación de nitrato Patricial (Perez-Martin, 2016).

2.2 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.

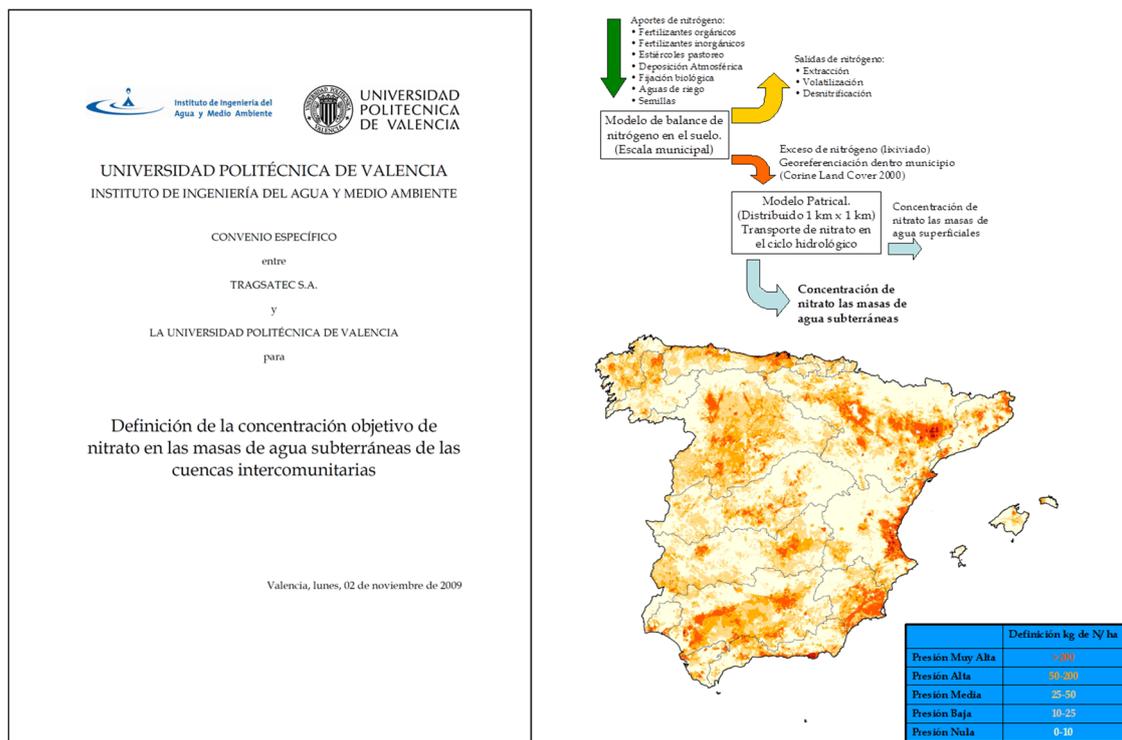


Figura 6. Informe de nitratos del primer ciclo de Planificación (MARM, 2009).

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 Patrical*”, 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 Patrical*” (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.

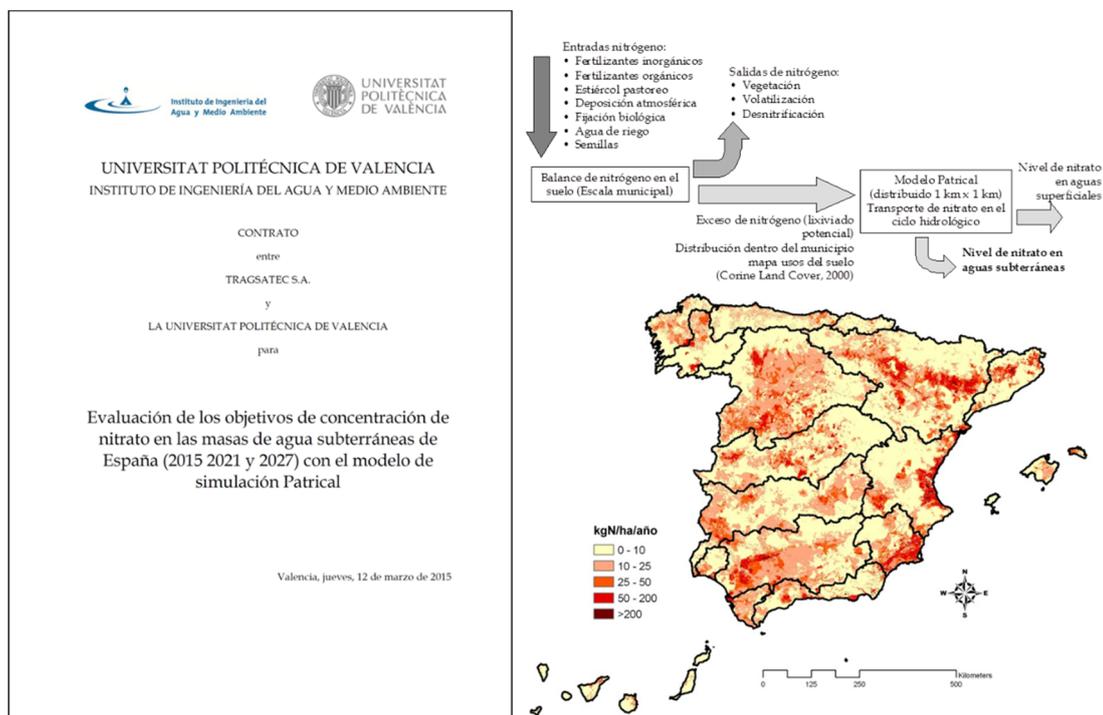


Figura 7. Informe de nitratos del segundo ciclo de Planificación (Magrama, 2015).

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.

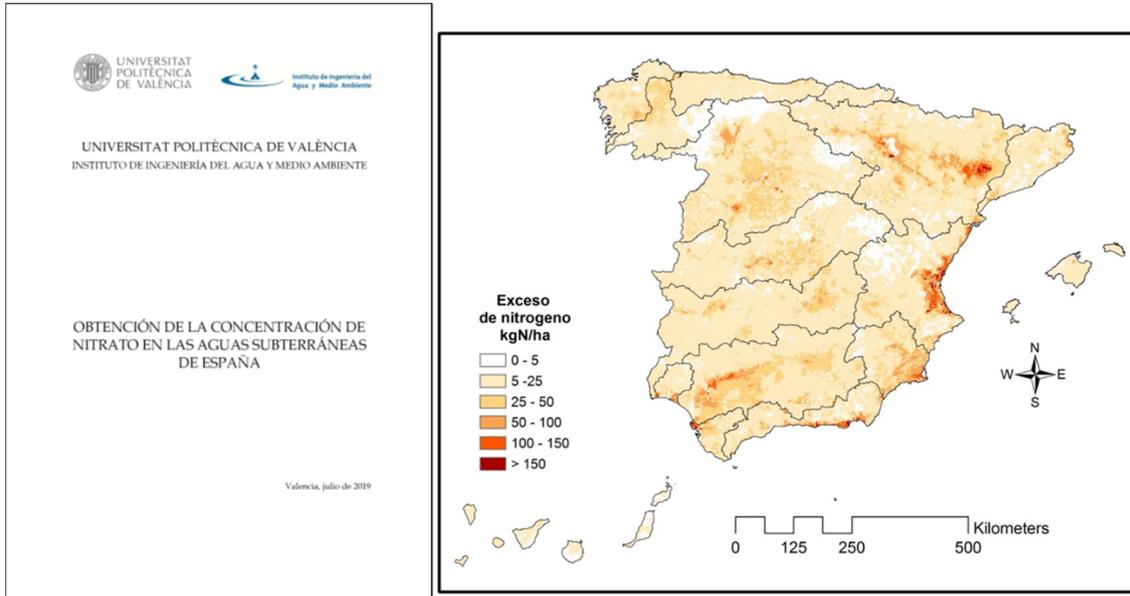


Figura 8. Informe de nitratos del tercer ciclo de Planificación (Miteco, 2019).

3 Seguimiento indicadores

3.1 Concentración histórica de nitrato y clorofila en el Lago

Los niveles de clorofila-a registrados han estado históricamente situados por debajo de los 5 $\mu\text{gChla/l}$ ($1 \mu\text{gChla/l} = 1 \text{mgChla/m}^3$), produciéndose un fuerte aumento entre los años 2015 y 2017. En este periodo se produjo en septiembre de 2015 un temporal, en julio de 2016 un proceso de eutrofización masiva y aparición de algas tóxicas, con valores de clorofila entre 5-10 mgChla/m^3 y en diciembre de 2016 un nuevo temporal con precipitaciones de 200-250 mm que hizo aumentar el nivel de clorofila hasta 30 mgChla/m^3 . Estos fenómenos produjeron la desaparición de la vegetación de fondo.

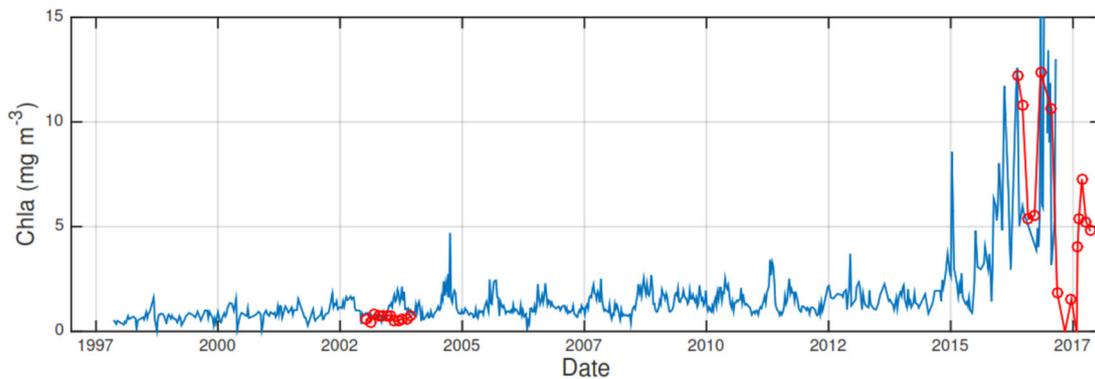


Figura 9. Valores de clorofila, a partir de imágenes satélite y datos registrados (IEO, 2019).

Posteriormente durante el año 2018 e inicios del año 2019, se registró una reducción en las concentraciones de clorofila en el lago, situándose en valores por debajo a los 2 $\mu\text{gChla/l}$.

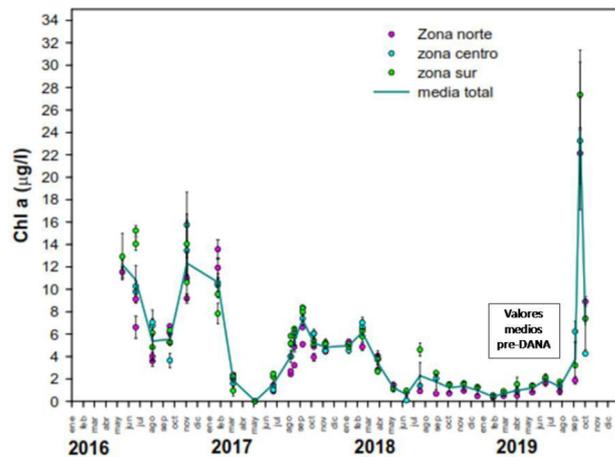


Figura 10. Valores de clorofila entre 2016 y 2019 (IEO, 2019).

La comparación entre los valores en el lago de nitrato, fosfato y clorofila-a, muestran en los años 2016 y 2017, años de alta concentración de clorofila con 10-20 $\mu\text{gChla/l}$ ($1\mu\text{gChla/l} = 1\text{mgChla/m}^3$), valores de nitrato entre 0.2-0.4 mgNO_3/l y valores de fosfato de 0.02 mgPO_4 . Por otra parte, en los años 2018 y 2019, años con baja concentración de clorofila con valores por debajo de 5 $\mu\text{gChla/l}$, la concentración de nitrato se sitúa en el entorno de 0.1 mgNO_3/l y la concentración de fosfato presenta valores bastante similares a los años anteriores 0.02-0.01 mgPO_4/l .

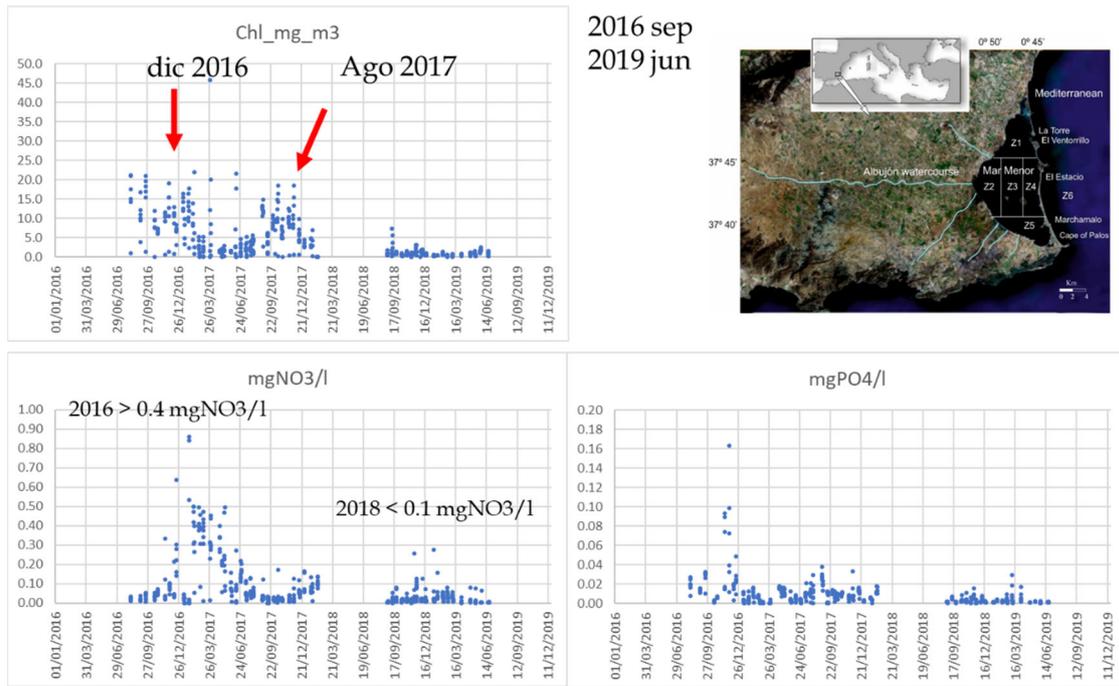


Figura 11. Datos de concentración clorofila, nitrato y fosfato en el Mar Menor.

Las concentraciones de nitrato en la red costera muestran valores habituales por debajo de 0.5 mgNO_3/l , existiendo medidas puntuales en el entorno de los 4-5 mgNO_3/l .

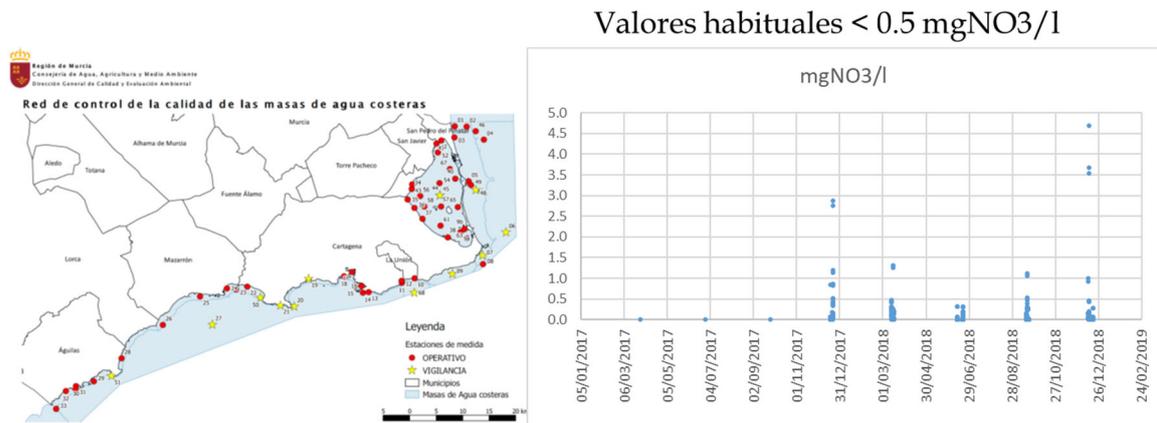
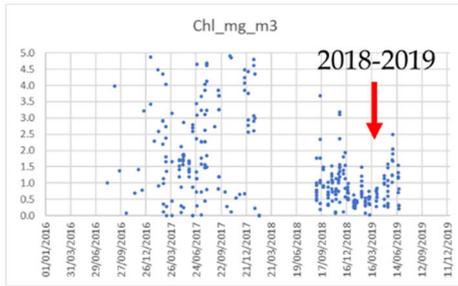


Figura 12. Datos de concentración de nitrato en la red de puntos de control en el mediterráneo.

El análisis detallado de las concentraciones de los años 2018 y 2019 muestra como valor objetivo concentraciones de clorofila inferiores a $2 \mu\text{gChla/l}$, las cuales están asociadas a concentraciones de nitrato inferiores a $0.1 \text{ mgNO}_3/\text{l}$. Los datos muestran para el año 2018 se obtiene un ratio entre la presencia de nitrógeno y de fósforo de $\text{N:P} \approx 7$, lo que indica que en la laguna el nitrógeno es claramente el factor limitante para el desarrollo de la eutrofización ($\text{N:P} < 14$). Por este motivo y al ser el nitrógeno el factor limitante, se considera que puede existir riesgo de eutrofización cuando las concentraciones de nitrato se sitúan por encima de $0.4 \text{ mgNO}_3/\text{l}$.



Valores objetivo:
Chla < 2 mgChla/m3
< 2 $\mu\text{gChla/l}$
=> Nitrato < 0.1 mgNO3/l

Riesgo si > 0.4 mgNO3/l

Plantas Ratio $\text{N:P} = 15:1$
 Nitrógeno limitante $\text{N:P} < 14$
 Fósforo limitante $\text{N:P} > 16$

Mar Menor 2018:
 0.05 mgNO_3/l
 0.005 $\text{mg PO}_4/\text{l} \Rightarrow 0.002 \text{ mgP/l}$
=> Ratio $\text{N:P} \approx 7 \Rightarrow$ nitrógeno limitante

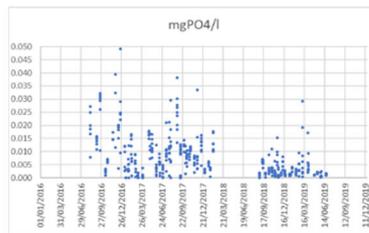
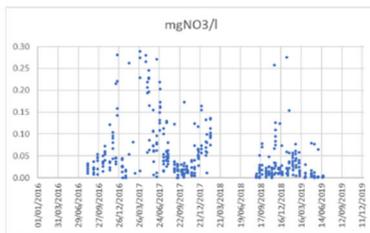


Figura 13. Detalle de los datos de concentración clorofila, nitrato y fosfato en el Mar Menor.

3.2 Valores de referencia de nitrato y clorofila en el Lago

El Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Establece como valores de referencia para el Mar Menor, una concentración de clorofila inferior a 1.1 µgChla/l para el estado muy bueno y de 1.8 µgChla/l para el estado bueno. También establece que la concentración de nitrato media debe ser inferior a 0.4 mgNO₃/l, con una relación N:P ≈ 8, por lo que también se considera el nitrógeno como el principal factor limitante en la eutrofización.

Clorofila < 1.8 µg/l
Nitrato < 0.4 mgNO₃/l
Fósforo < 0.01 mgP/l

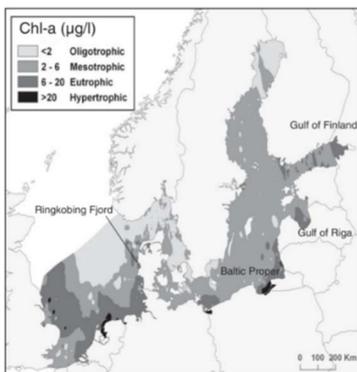
Nitrato factor limitante, N:P ≈ 8

RD 817/2015			muy bueno	bueno	mg/l	mg/l
AC-T11						
Clorofila-a		µ/l	1.10	1.80		
Nitrato	campo próximo < 200 m	µmolNO ₃ /l		12.90	0.80	0.18 N
	campo medio > 200 m	µmolNO ₃ /l		6.45	0.40	0.09 N
Fosfatos	campo próximo < 200 m	µmolPO ₄ /l		0.76	0.07	0.02 P
	campo medio > 200 m	µmolPO ₄ /l		0.37	0.03	0.01 P
N:P	campo próximo < 200 m					7.7
	campo medio > 200 m					7.9

Figura 14. Valores de referencia del RD 817/2015 para el Mar Menor.

En el contexto europeo el Mar Báltico que presenta importantes problemas de eutrofización, y que tiene como factor limitante la presencia de fósforo (N:P ≈ 27), se considera oligotrófico, es decir sin eutrofización, cuando la concentración de clorofila es inferior a 2 µg/l y se incluye como valore límite de concentración de nitrato entre 1.0 y 1.5 mgNO₃/l. Aun no siendo factor limitante la concentración de nitrato se establece como concentración máxima el valor de 1.5 mgNO₃/l.

Oligotrófico < 2 µg/l (=mgChla/m³)
 Hipertrófico > 20 µg/l



Mar Báltico
 N:P ≈ 27
 Fósforo factor limitante

objetivos	14.01	4.43
N_µmol/l	mgN/l	mgNO ₃ /l
16	0.22	0.99
22	0.31	1.36

No siendo el nitrato factor limitante se busca concentraciones menores a 1.5 mgNO₃/l
 C < 1.0 mgNO₃/l

Figura 15. Valores de referencia para el Mar Báltico.

3.3 Análisis de los aportes de agua al Mar Menor.

3.3.1 Datos registrados por ESAMUR

Según los datos semanales registrados por Esamur (Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia) los aportes de agua en el tramo medio de la Rambla del Albuñón son registrados en dos puntos situados aproximadamente a 2 kilómetros de la desembocadura de la Rambla en el Mar Menor. El punto número 6, "Albuñón aguas arriba", que registra los aportes de agua procedentes de la Rambla del Albuñón hasta el barrio de la Fuensanta, y que se corresponden principalmente con drenajes de aguas subterráneas, y el punto número 4 denominado "Canal EDAR" que recoge las aguas de la zona norte.



Figura 16. Aportes del a Rambla del Albuñón tramo medio y canal.

En el periodo de octubre de 2019 a julio de 2021, los aportes del tramo medio de la Rambla del Albuñón tienen un caudal medio de 44 l/s, presentando un caudal base de 30 l/s (1 hm³/año) con una concentración media de nitrato 150 mgNO₃/l, variando entre 100 y 250 mgNO₃/l, y una conductividad eléctrica del agua de 7,800 μS/cm. Los aportes procedentes del canal, donde se observan claramente los picos correspondientes a eventos de lluvia y las curvas de recesión, son de 95 l/s, con un caudal base de 65 l/s (2 hm³/año) con una concentración media de nitrato de 160-165 mgNO₃/l, una variación mucho menor en la concentración de nitrato entre 150 y 200 mgNO₃/l, y una conductividad eléctrica del agua del mismo orden que la registrada en la Rambla del Albuñón, de 7,500 μS/cm.

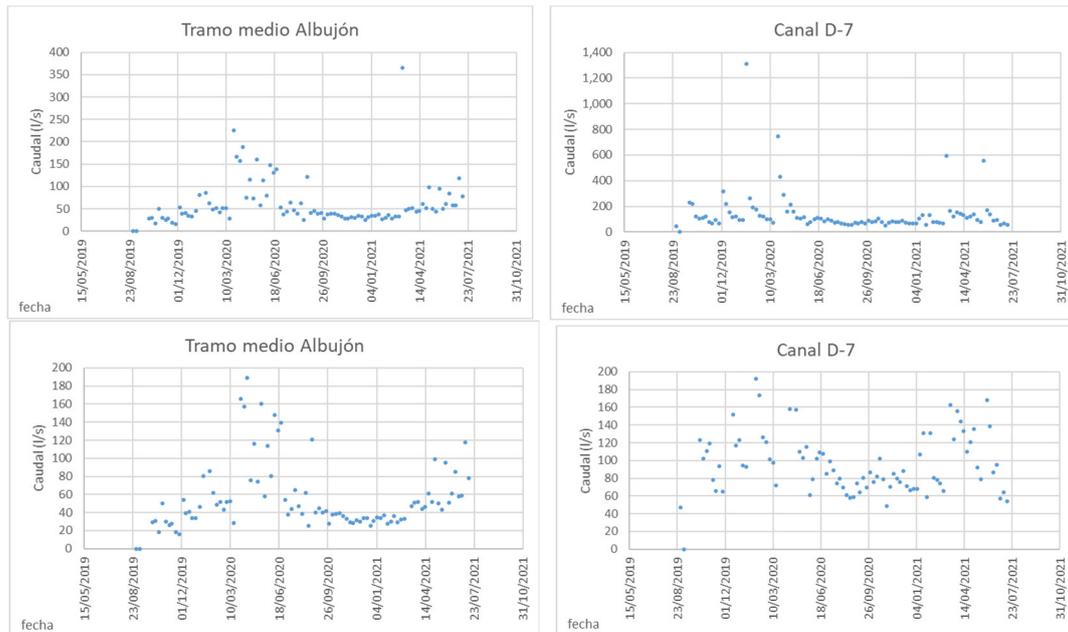


Figura 17. Aportes de la Rambla del Albuji3n correspondientes al tramo medio y el canal (Esamur).

En el tramo final de la Rambla del Albuji3n se encuentra la nueva estaci3n de aforos, *06A18 Desembocadura Rambla del Albuji3n*, situada aguas abajo de la toma del bombeo del Albuji3n. Los datos de Esamur medidos en esta estaci3n de aforos indican que se produce un incremento en los caudales circulantes hasta valores en el entorno de los 200 l/s, con un caudal base de aproximadamente 160 l/s (5 hm³/a3o) y una concentraci3n media de nitrato de 180 mgNO₃/l, variando entre 150 y 200 mgNO₃/l. La conductividad el3ctrica del agua es de 7,900 μS/cm, valor similar al registrado en los puntos anteriores.

El incremento de caudal y de concentraci3n de nitrato registrado entre la suma del tramo medio y el canal y la desembocadura de la Rambla del Albuji3n indica que se producen aportes de agua subterránea en los dos 3ltimos kil3metros de la Rambla del Albuji3n de aproximadamente 2 hm³/a3o, con altas concentraciones de nitrato en el entorno de 210 mgNO₃/l con una conductividad similar al resto de puntos, en el entorno de los 7000-8000 μS/cm.

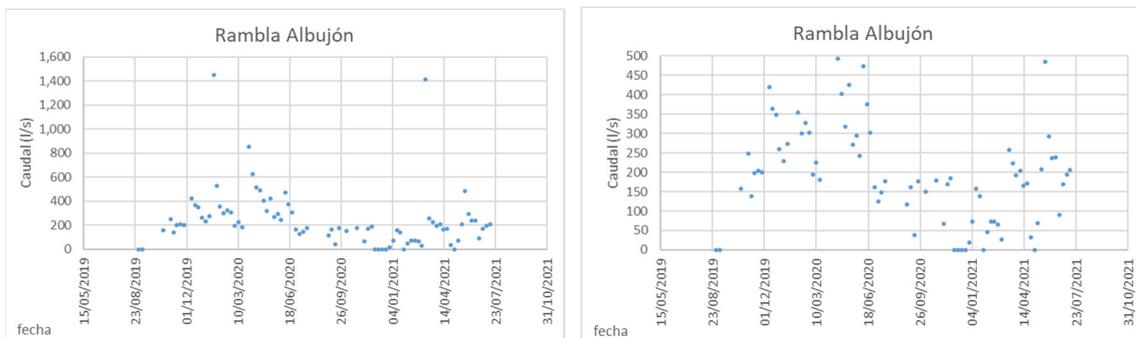


Figura 18. Caudales medidos en el aforo situado en la desembocadura de Rambla del Albuji3n (Esamur).

La instalaci3n del bombeo del Albuji3n cuenta con un aliviadero para desaguar las aguas captadas y no bombeadas, los datos de caudales de este aliviadero

indican un caudal muy variable con un valor de 80-100 l/s (que representa un volumen anual de 2.5-3.0 hm³/año) y una concentración media de nitrato de 225 mgNO₃/l, variando entre 200 y 250 mgNO₃/l. La concentración de nitrato en este punto es superior al de la Rambla del Albujión, que es del orden de 180 mgNO₃/l, y se asemeja a la concentración de los aportes subterráneos del tramo final de la Rambla del Albujión (210 mgNO₃/l), por lo que la mayor parte del agua registrada en el aliviadero procede del agua de los drenes que desaguan agua subterránea con mayor concentración de nitrato.

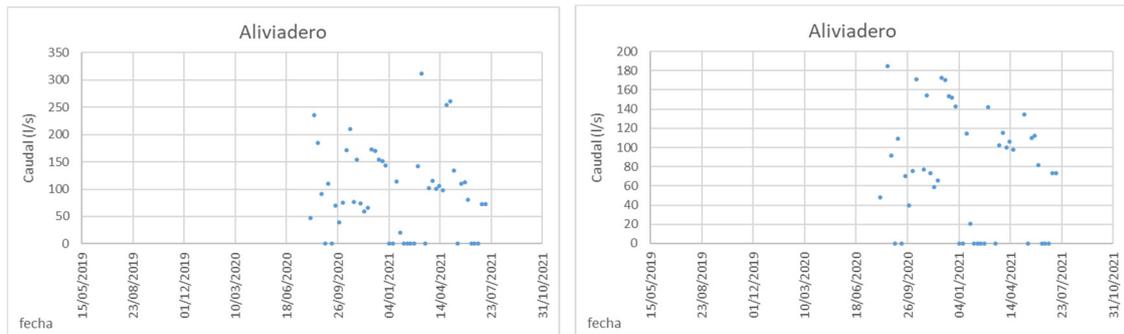


Figura 19. Caudales registrados en el aliviadero del bombeo del Albujión (Esamur).

El análisis de las concentraciones de nitrato de los caudales vertidos en el aliviadero en aquellas situaciones en las que la compuerta de toma del bombeo del Albujión se encuentra cerrada, por lo que el agua únicamente puede proceder de los drenes, muestra que la concentración de nitrato presenta valores similares a los valores del acuífero en esta zona, con una concentración media de 250 mgNO₃/l y una conductividad eléctrica del agua de 8,800 μ S/cm. Los valores son siempre superiores a 200 mgNO₃/l, lo cual confirma que la procedencia es diferente a la Rambla del Albujión, dado que la concentración media de la Rambla del Albujión es de 180 mgNO₃/l.

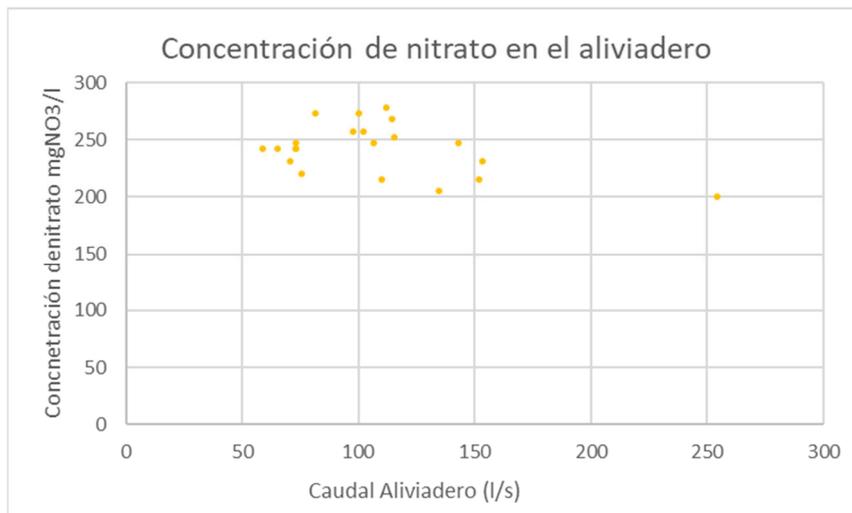


Figura 20. Concentración de nitrato (mgNO₃/l) en el aliviadero del bombeo del Albujión cuando la compuerta de toma está cerrada (Eamur).

Combinando los datos de cantidad, 80-100 l/s (2.5-3.1 hm³/año), y concentración de nitrato en el aliviadero, 225 mgNO₃/l, con la concentración de nitrato del agua de la Rambla del Albuñón, 180 mgNO₃/l, y la concentración de nitrato cuando la compuerta de toma de la Rambla del Albuñón está cerrada, 250 mgNO₃/l, se ha determinado el porcentaje de agua en el aliviadero procedente de la Rambla del Albuñón, 36%, y de los drenes, 64%. Con este reparto, se obtiene que el aporte medio de los drenes es de entre 1.6 y 2 hm³/año, con un caudal medio entre 50 y 65 l/s.

El resto de ramblas aporta caudales mucho menores. La ramblas de Miranda y Matildes tienen caudal cero salvo en los eventos de precipitación.

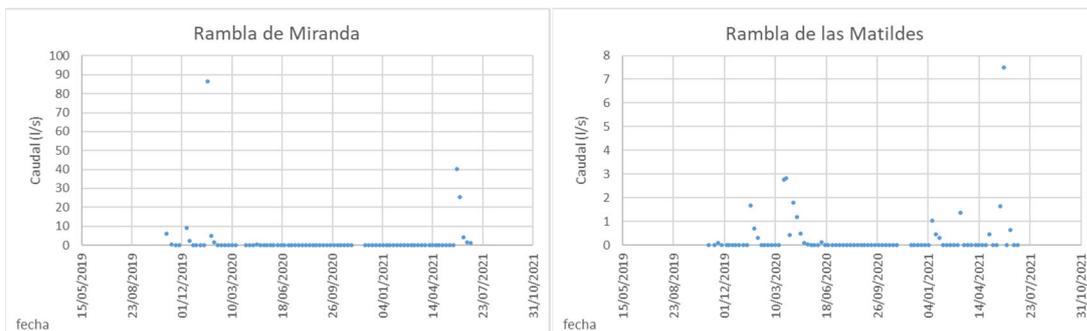


Figura 21. Caudales semanales (l/s) Rambla de Miranda y Rambla de las Matildes.

El punto correspondiente a la desembocadura en la obra de paso de la carretera en los Urrutias, presenta claramente un curva de recesión, por lo que los aportes corresponden con agua subterránea que se producen pasado el evento de precipitación, con una concentración media de nitrato de 270 mgNO₃/l, valor similar a la concentración de nitrato de la masa de agua subterránea en esta zona. La Rambla de las Matildes Sur, tiene un caudal muy constante en el entorno de los 10-15 l/s, una concentración en el entorno de 150 mgNO₃/l y una conductividad eléctrica media del agua de 27.000 µS/cm.

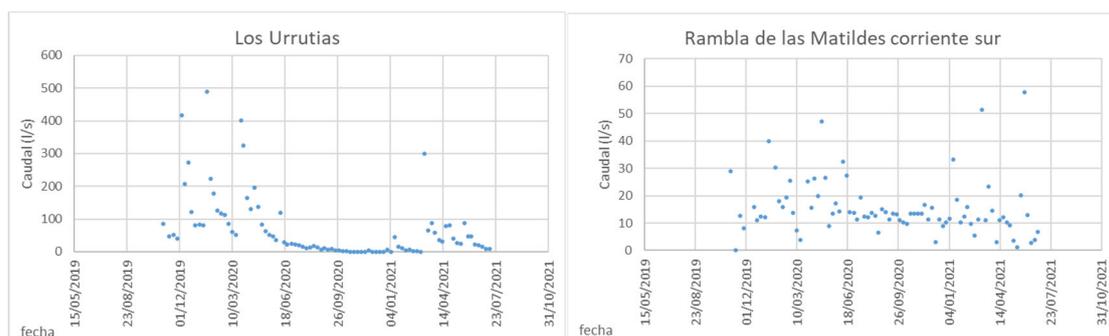


Figura 22. Caudales semanales (l/s) Los Urrutias y Rambla de las Matildes en la corriente sur.

A modo de síntesis, en su conjunto se producen aportes de agua por la Rambla del Albuñón de 30 l/s a los que se le unen los aportes procedentes del canal de 65 l/s. Ambos aportes contienen unas concentraciones de nitrato entre 150 y 165 mgNO_3/l . En la parte final de la Rambla del Albuñón se producen unos aportes de agua de aproximadamente 65 l/s con mayores concentraciones de nitrato, en el entorno de 210 mgNO_3/l , por lo que la concentración final de los aportes de agua superficial de la rambla del Albuñón se sitúan en el entorno de los 180 mgNO_3/l . Respecto al aporte de los drenes, se estima en el entorno de los 50-65 l/s con una concentración de 250 mgNO_3/l .



Figura 23. Aportes de agua en el entorno de la Rambla del Albuñón y concentraciones de Nitrato.

3.3.2 Red SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura

La Rambla del Albuñón cuenta en la red del SAIH con cinco marcos de control (Rambla del Albuñón en Fuente Álamo, El Estrecho, Rambla Albuñón, Pozo Estrecho y Puebla) y una estación de aforos construida en 2020 en la desembocadura de la Rambla del Albuñón. La red SAIH también cuenta con un control de niveles de aguas subterráneas y de conductividad eléctrica del agua.



Figura 24. Marcos de control y estación de aforos en la desembocadura de la Rambla del Albuñón.

La estación de aforos del SAIH de la estación 06A18Q01 desembocadura de la Rambla del Albuñón dispone de información desde noviembre de 2020, habiendo registrado dos crecidas en este periodo, la primera el 8 de marzo de 2021, con un caudal medio diario de $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$, y la segunda el 23 y 24 de mayo de 2021 registrando un caudal medio diario de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 25. Estación de Aforo "06A18 Desembocadura Rambla del Albuñón" tras la toma del Bombeo del Albuñón.

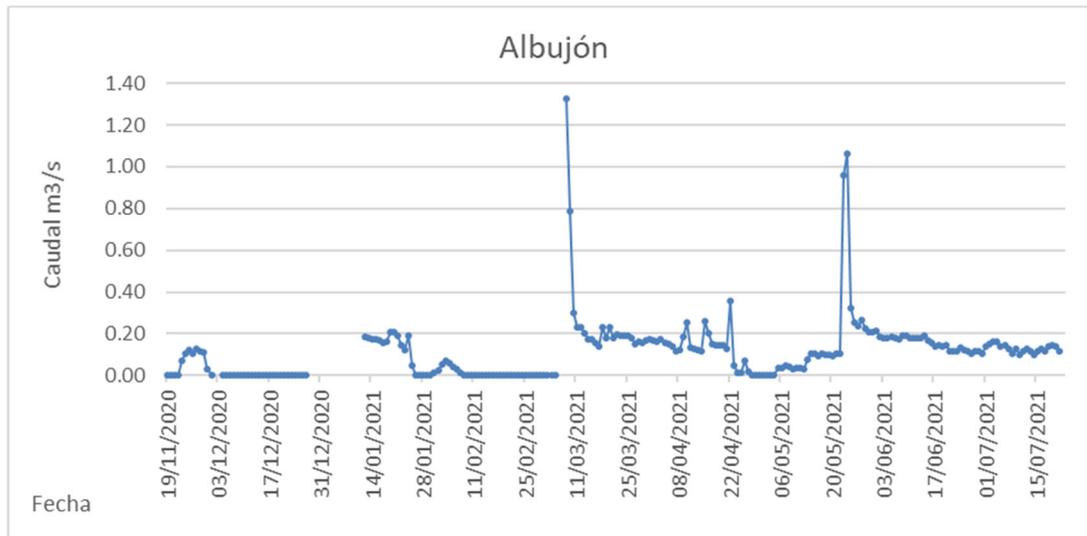


Figura 26. Caudales medios diarios (m^3/s) en la desembocadura de la Rambla del Albuñón (06A18Q01).

Los datos de caudal horario en la estación del SAIH aguas abajo del bombeo del Albuñón muestran que en mayo de 2021 se produce la última crecida registrada con un caudal instantáneo de $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Mientras que los meses de junio y julio de 2021 muestran un valor bastante constante entre 0.10 y $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$.

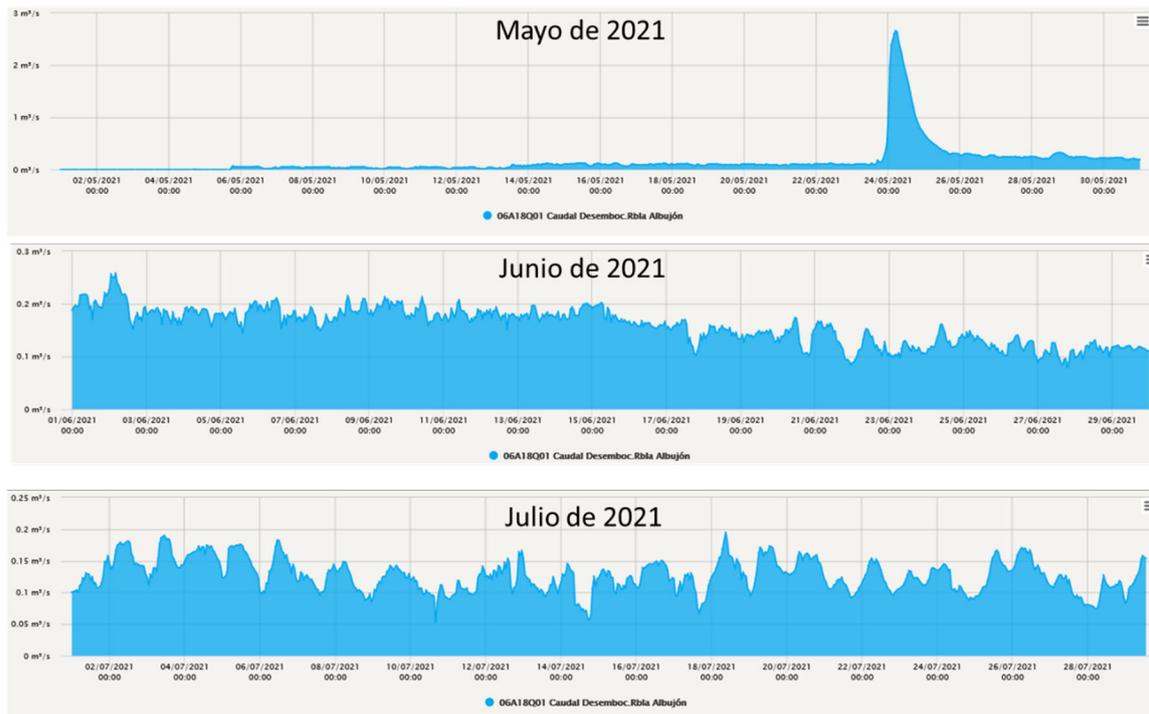


Figura 27. Caudal horario (m^3/s) de junio y julio de 2021 en la desembocadura de la Rambla del Albuñón (06A18Q01).

La crecida del 8 de marzo de 2021 alcanzó un caudal máximo instantáneo de $3.7 \text{ m}^3/\text{s}$ con un volumen total de agua de 0.2 hm^3 , mientras que la crecida de 23 de mayo de 2021 alcanzó un caudal máximo instantáneo de $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volumen de agua de 0.2 hm^3 durante los dos días.

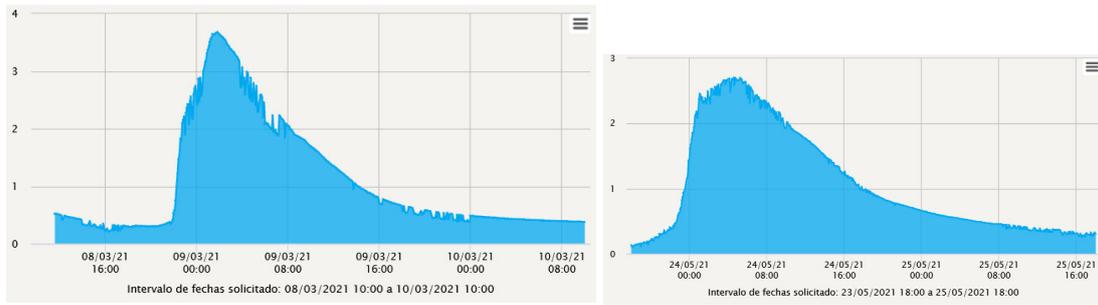


Figura 28. Caudales cinco-minutales de la crecida del 8 de marzo de 2021 y del 23 y 24 de mayo de 2021 en la desembocadura del bombeo del Albuñón (06A18Q01).

Existen otros dos puntos de control justo aguas arriba de la desembocadura del Albuñón, el punto 06A01Q01 Caudal Rbla Albuñón (Puebla) y el punto de control 06A02Q01 Caudal Rbla Albuñón (Pozo Estrecho). Los hidrogramas de crecida de estos dos puntos de control para las mismas fechas muestran curvas similares con un ligero adelanto temporal, al estar situados aguas arriba, y un mayor caudal que el registrado en la desembocadura.

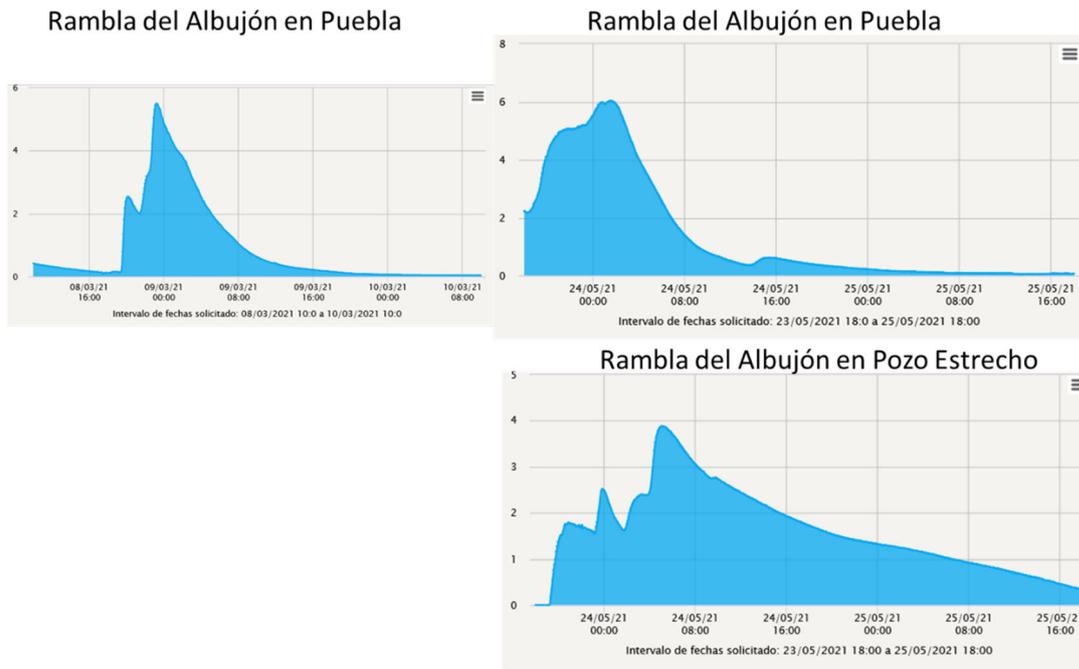


Figura 29. Caudales cinco-minutales de la crecida del 8 de marzo de 2021 y del 23 y 24 de mayo de 2021 en los marcos de control del SAIH situados aguas arriba de la desembocadura de la Rambla del Albuñón.

La relación entre estos tres puntos y en especial con el punto de control en Puebla permite utilizar los datos de crecidas de esta estación al objeto de conocer las crecidas producidas en los últimos años en la Rambla del Albuñón, ya que se dispone de más información que la registrada en la desembocadura. Se dispone de información en la estación de Puebla desde febrero del año 2017.

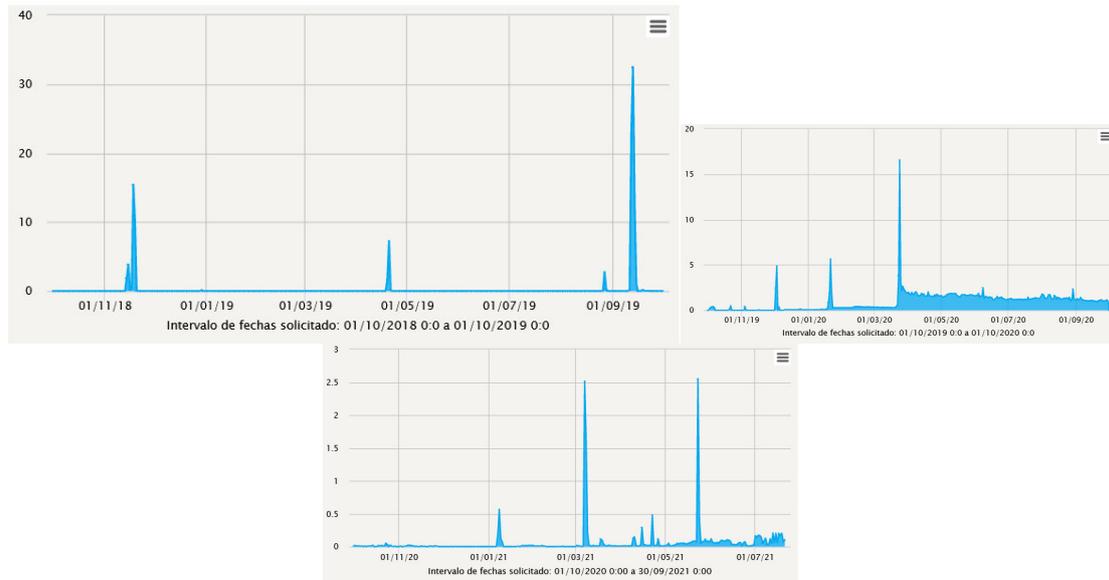


Figura 30. Crecidas registradas en la Rambla del Albuñón en la estación de Puebla en los años hidrológicos 2018/19, 2019/20 y 2020/21.

La estación de Pozo Estrecho, dispone de información desde diciembre de 2016, por lo que permite ampliar el periodo de información de crecidas hasta los años hidrológicos 2016-2017 y 2017-2018. En el año 2017-2018 no se registraron crecidas significativas, mientras que en el año anterior quedó parcialmente registrada la crecida de diciembre de 2016, únicamente a partir del 19 de diciembre, con un caudal registrado en ese momento de $49 \text{ m}^3/\text{s}$ y un volumen de 2.2 hm^3 . No se dispone de información anterior a esta fecha en las estaciones de control.

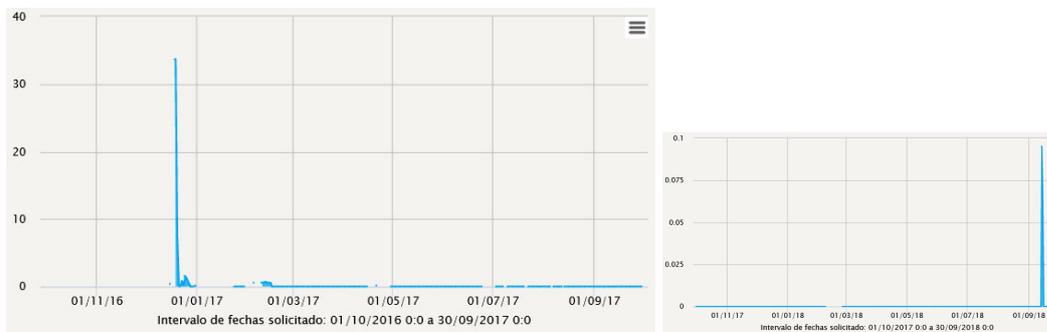


Figura 31. Crecidas registradas en la Rambla del Albuñón en la estación de Pozo Estrecho en los años hidrológicos 2016/17 y 2018/19.

Las crecidas registradas en la Rambla del Albuñón desde el año 2018 en Puebla han sido:

- Año hidrológico 2018-2019:
 - 19/11/2018 caudal máximo diario de $68.4 \text{ m}^3/\text{s}$, volumen de 2.2 hm^3
 - 20/04/2019 caudal máximo diario de $32.3 \text{ m}^3/\text{s}$, volumen 0.7 hm^3
 - 13/09/2019 caudal máximo diario disponible, parcialmente registrada la crecida, es de $71.5 \text{ m}^3/\text{s}$, en estaciones agua arriba se

registraron caudales de 100 m³/s y de 140 m³/s, con un volumen parcial de 4.1 hm³.

- Año hidrológico 2019-2020:
 - 03/12/2019 caudal máximo diario de 14.7 m³/s, volumen 0.6 hm³
 - 21/01/2020 caudal máximo diario de 11.6 m³/s, volumen 0.7 hm³
 - 24/03/2020 caudal máximo diario de 30.4 m³/s, volumen 1.9 hm³
- Año hidrológico 2020-2021:
 - 07/03/2021 caudal máximo diario de 8.9 m³/s, volumen 0.4 hm³
 - 23/05/2021 caudal máximo diario de 6.0 m³/s, volumen 0.25 hm³

También se dispone de información de las dos últimas crecidas en la desembocadura de la Rambla del Albuñón, con caudales inferiores y volúmenes totales inferiores a los registrados en el punto de Puebla:

- Año hidrológico 2020-2021:
 - 07/03/2021 caudal máximo diario de 3.7 m³/s, volumen 0.18 hm³
 - 23/05/2021 caudal máximo diario de 2.7 m³/s, volumen 0.20 hm³

Desde marzo a septiembre de 2021 los caudales han oscilado entre 0.10 y 0.15 m³/s, salvo en abril y mayo que han llegado a ser nulos, por lo que la aportación anual por la Rambla del Albuñón sería de entre 3.1 y 4.7 hm³/año. La comparación con los datos semanales de Esamur muestra coincidencia en la información siendo los datos de Esamur un 40% superiores a los registrados en la estación de aforos.

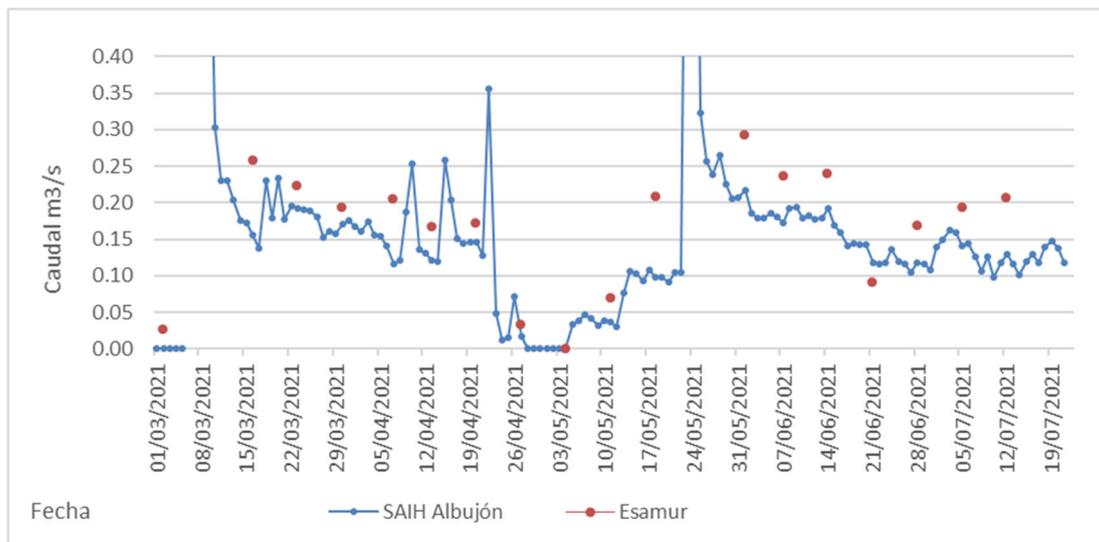
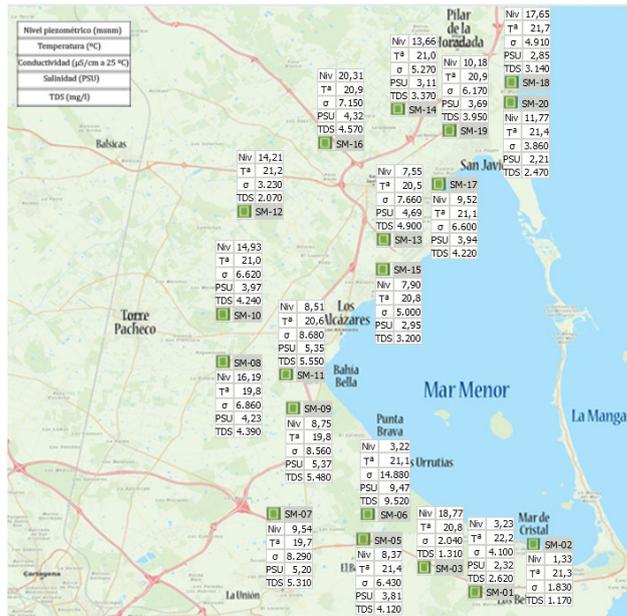


Figura 32. Caudales medios diarios (m³/s) en la desembocadura del bombeo del Albuñón (06A18Q01).

El SAIH cuenta con una red de control de puntos de control de las aguas subterráneas alrededor del Mar Menor, con el que controlan entre otras variables, el nivel piezométrico y la conductividad eléctrica del agua (σ). La conductividad eléctrica de las aguas subterráneas en el entorno de la desembocadura de la Rambla del Albuñón es de 8,600-8,700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Red Piezométrica y de Calidad del Mar Menor. Datos sujetos a revisión.

Figura 33. Red SAIH de aguas subterráneas en el entorno del Mar Menor, con datos de niveles y conductividad eléctrica del agua.

Los datos automáticos de niveles piezométricos registrados se inician en diciembre de 2019, y muestran, para los dos puntos más cercanos a la desembocadura de la Rambla del Albuñón (sondeo 11 situado en los Alcázares y sondeo 9 situado en la Rambla de Miranda), una variación en los niveles de entre 8.5 m.s.n.m. hasta 10.5 m.s.n.m.

Los niveles del acuífero reflejan claramente los tres eventos de precipitación que produjeron crecidas en el año 2019-2021: el del 3/12/2019, el del 21/01/2020 y el del 24/03/2020, con ascensos en los niveles entre 9.5 y 10.5 m.s.n.m. Y también quedan reflejados los dos eventos de precipitación que han generado crecidas de menor magnitud en el año 2020-21: el del 07/03/2021 y del 23/05/2021, las cuales han elevado los niveles hasta los 9 m.s.n.m.

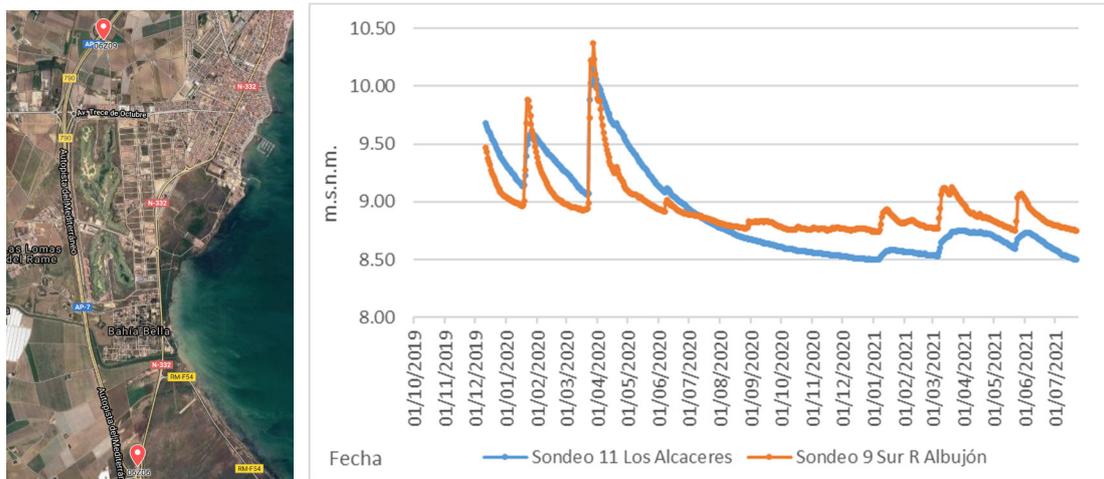


Figura 34. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 11 de Los Alcázares y el sondeo 9 sur Rambla del Albuñón.

El análisis temporal de los datos disponibles en la red de piezómetros indica un comportamiento diferente en los piezómetros de la zona sur, respecto al resto de piezómetros que rodea el Mar Menor.

Los piezómetros de la zona norte del Mar Menor presentan descensos durante los meses de julio agosto y septiembre. El piezómetro 19 situado en la zona de San Javier, y Los Cuarteros registra aumentos de nivel en los eventos de precipitación y posteriormente un descenso acorde con el drenaje del acuífero. El piezómetro 17 en la zona de Santiago de la Ribera presenta ascensos en los meses de marzo a mayo, posiblemente asociado al riego y posteriormente descensos el resto del año.

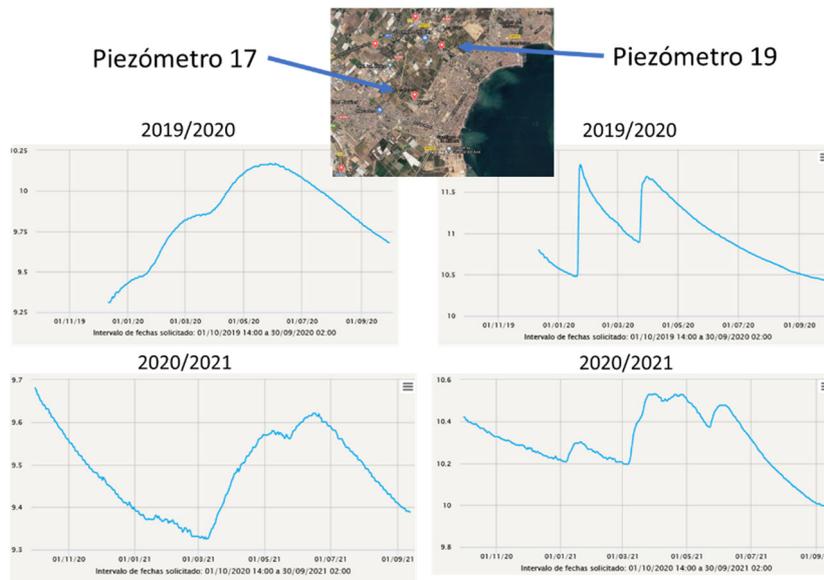


Figura 35. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 17 y el sondeo 19.

Los niveles en la zona de los Narejos, piezómetro 13 y piezómetro 15 también presentan descensos en los meses de julio y agosto.

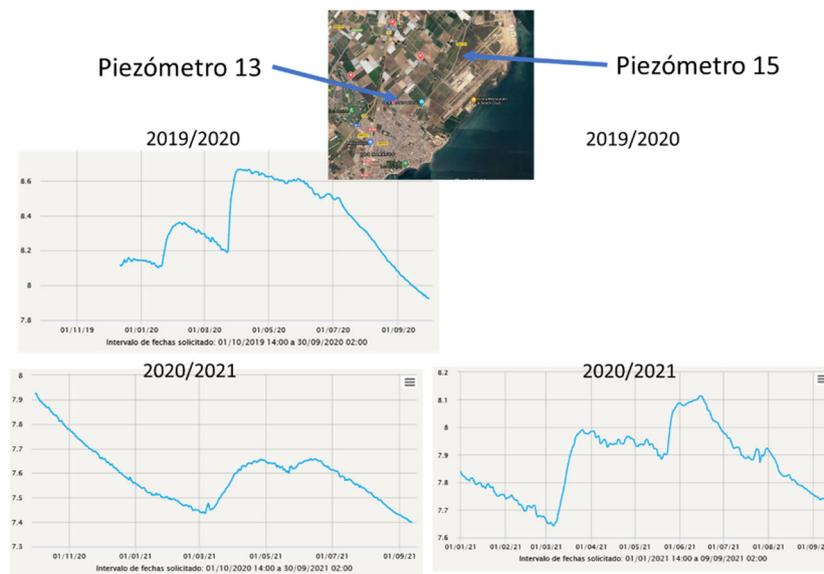


Figura 36. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 13 y el sondeo 15.

Los piezómetros de la zona centro, donde se encuentra la Rambla del Albujón, piezómetros 9 y 11 en la zona norte y piezómetros 5 y 6 en la zona sur de la Rambla, presentan un comportamiento relacionado con los eventos de lluvia, con fuertes ascensos en los eventos de precipitación y un decaimiento posterior asociado con el drenaje del acuífero.

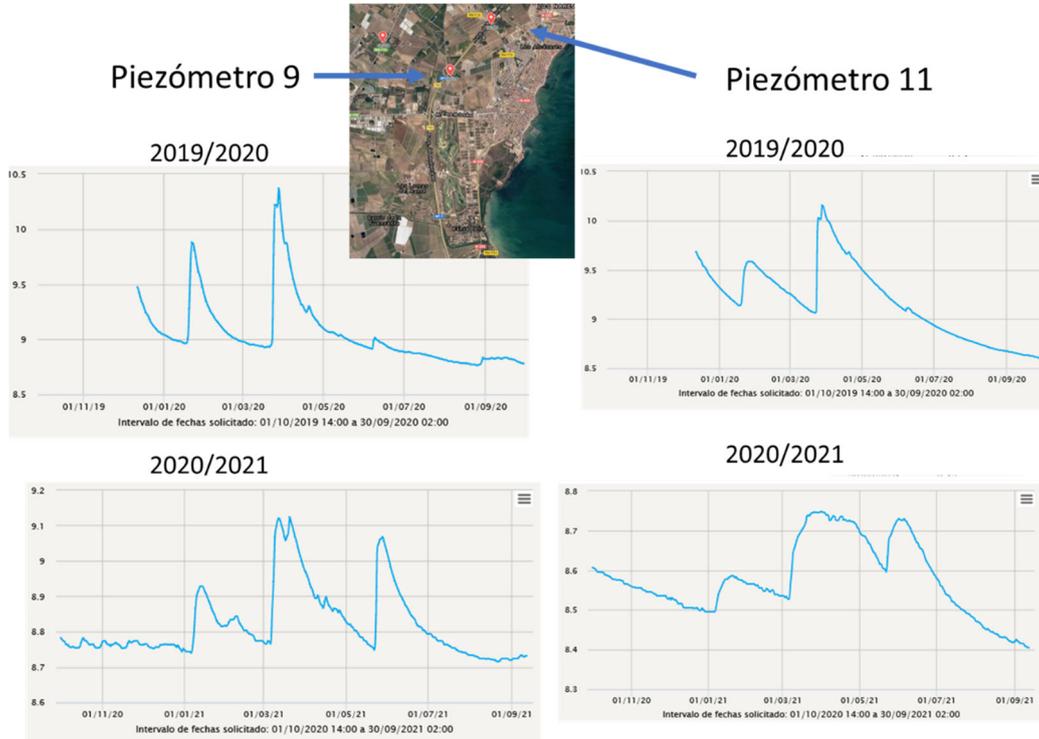


Figura 37. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 9 y el sondeo 11.

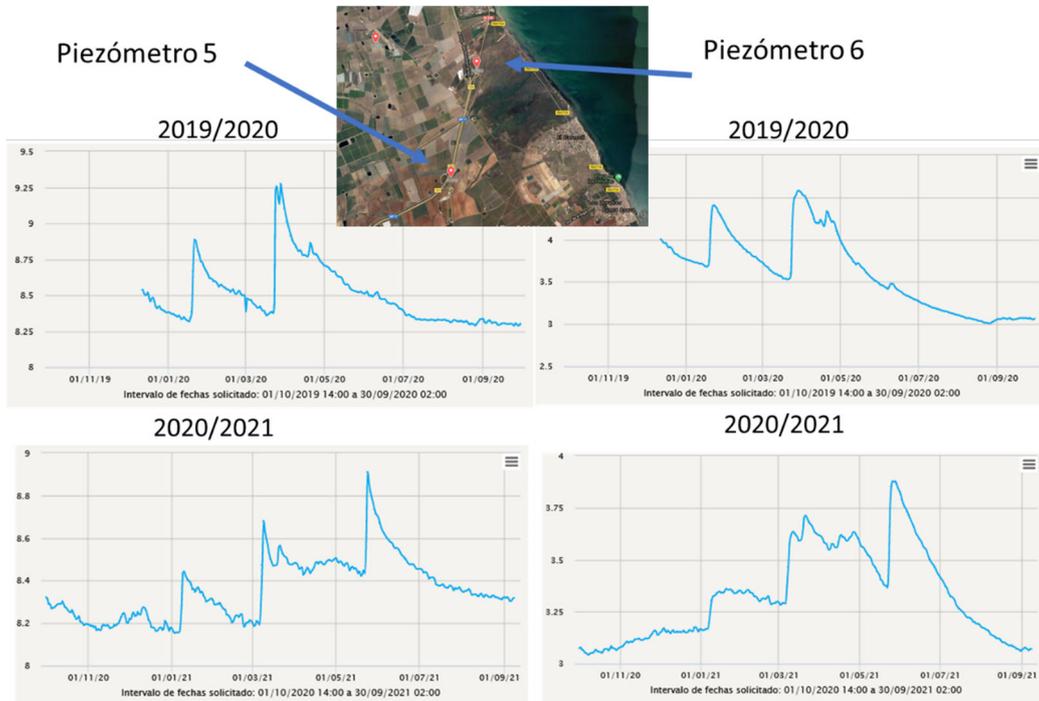


Figura 38. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 5 y el sondeo 6.

En la zona sur el comportamiento es diferente, piezómetros 1 y 2 situados en la zona de Los Nietos y de Mar de Cristal, con un ascenso en los niveles piezométricos de junio a agosto, que se produce en los dos años que se dispone de información. Este aumento sistemático de los niveles esta asociado con el periodo de riego lo que supone un incremento en los niveles piezométricos en esta zona debido al riego de los cultivos. Este comportamiento tan claro no se observa en el resto de los puntos de control que rodean el Mar Menor.

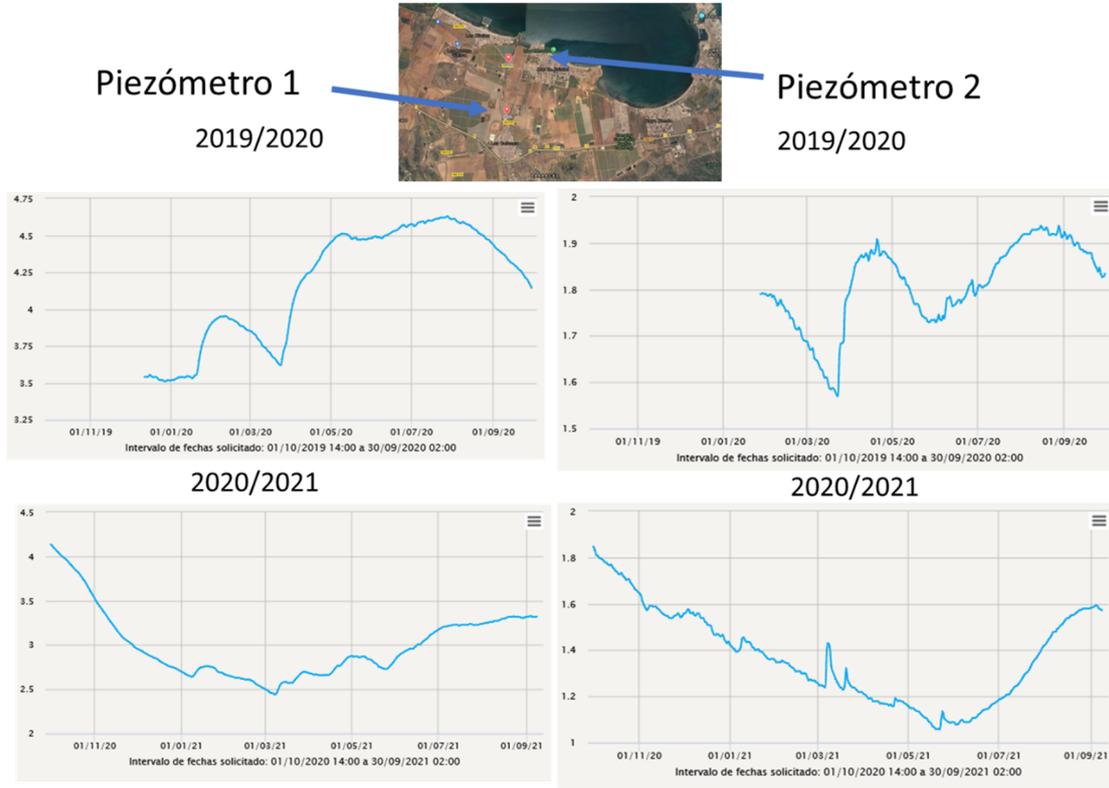


Figura 39. Evolución de los niveles piezométricos (m.s.n.m.) en el sondeo 1 y el sondeo 2.

3.4 Bombeo del Alujón

A partir de la información facilitada por la Confederación hidrográfica del Segura, el bombeo del Alujón es el primer elemento de un conjunto de bombes en cascada cuyo objeto es el aprovechamiento de los caudales de la Rambla del Alujón y su reutilización en el regadío.

La instalación se definió en el PROYECTO DE DESAGÜES QUE CONTEMPLAN LA RED DE LA ZONA REGABLE DEL CAMPO DE CARTAGENA en el entorno del año 1998 y está formada por cuatro bombes y una desalobradora: el bombeo del Alujón, el bombeo de punta Calera, el bombeo del Mojón, la desalobradora del Mojón y el bombeo a la Comunidad de Regates del Campo de Cartagena.

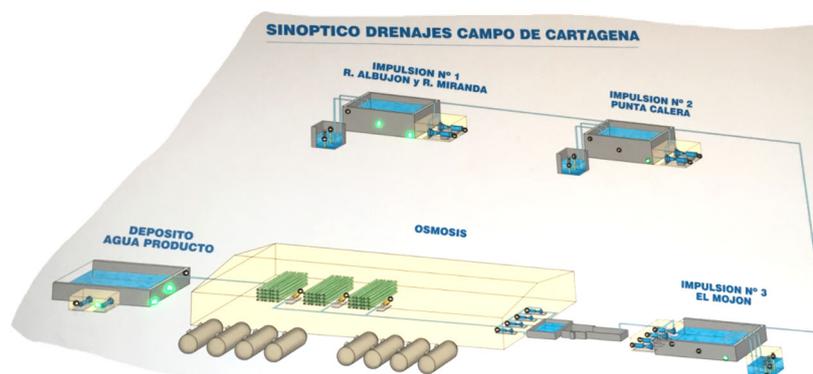


Figura 40. Esquema de funcionamiento del bombeo del Alujón dentro del esquema de bombes (CHS).

La instalación del bombeo del Alujón (construida en el entorno de 1998) eleva el agua al siguiente depósito de Punta Calera. Recibe las aguas de las entradas de agua superficial de la Rambla del Alujón aguas arriba de la estación de aforos del SAIH, del dren de agua subterránea nº 4 y de las aguas superficiales de la rambla de Miranda (conducción nº 5). La toma para captar las aguas superficiales de la Rambla del Alujón puede estar abierta, abierta parcialmente o cerrada y el agua no captada es medida en la estación de aforo SAIH situada justo aguas abajo de la captación. El dren nº 4 recoge las aguas subterráneas al norte del bombeo del Alujón, en la zona Los Alcázares y se estima en un volumen anual de aproximadamente 0.85 hm³/año, según datos de la Confederación del Segura. Por su parte, la conducción nº 5 recoge las aguas superficiales de la zona sur correspondientes a la Rambla de Miranda. En este trabajo, se ha estimado que el aporte del dren nº 4 y de la rambla de Miranda se sitúa en el entorno de 1.6 y 2 hm³/año. El caudal de diseño de la instalación de bombeo es de 175 l/s (5.4 hm³/año) aunque por problemas técnicos su utilización en la actualidad es muy inferior a este valor en el entorno de 2 hm³/año.

Los caudales bombeados por el bombeo del Alujón son elevados hasta el depósito del bombeo de Punta Calera (EBAR Los Narejos) donde se unen a los aportes recogidos por el dren nº 3, situado al norte de Los Alcázares (el cual se estima que proporciona un volumen de 0.2 hm³/año) y un drenaje adicional construido en 2008 durante las obras de la construcción de la EDAR de Los

Alcázares. El bombeo de Punta Calera está diseñado para elevar un caudal de 190 l/s al depósito del bombeo del Mojón.

El depósito del Mojón situado dentro de los terrenos de la desalobrador de El Mojón recibe las aguas del bombeo de Punta Calera y del bombeo del Mojón que recibe los drenes 1 y 2. El dren nº 1 recoge el agua de San Javier y San Pedro del Pinatar y dren nº 2 está situado junto al Mar Menor, siendo este último el dren que un mayor volumen de agua el cual se estima en 1.5 hm³/año.

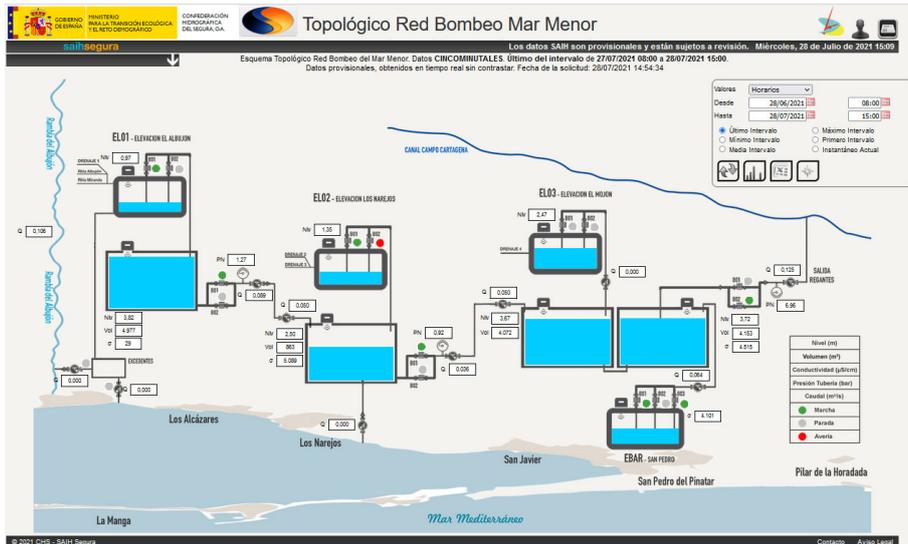


Figura 41. Conexiones y monitoreo de los bombeos y conexión con la C.R. del Campo de Cartagena (CHS).

La planta desalobrador de El Mojón, fue construida en el año 1995, con la finalidad de reutilizar las aguas captadas para su uso en regadío. Dispone de tres líneas con una capacidad de producción de agua tratada total de 6.000 m³/día (2,2 hm³/año), considerando un 70% de agua producto, el agua que podría recibir la desalobrador sería de 3.1 hm³/año. El agua de rechazo de la planta se vertía, al mar a través del canal perimetral de las salinas de San Pedro del Pinatar, y el agua producto se elevaba hasta el canal del Campo de Cartagena. Desde el año 2018 la desalobrador está parada al no disponer de autorización de vertido. Esta planta se encuentra situada junto con la desaladora de San Pedro I, para abastecimiento urbano y la desaladora de San Pedro II, para uso agrícola.



Figura 42. Desalobrador del Mojón y desaladoras de San Pedro I y II.

La impulsión al Canal del Campo de Cartagena, situada dentro del recinto de la desalobradora, recogía el agua producto de la desalobradora de El Mojón junto con los aportes de la EDAR de San Pedro del Pinatar. En la actualidad, eleva las aguas desde el depósito del Mojón a la comunidad de regantes del Campo de Cartagena. El depósito recibe las aguas procedentes del bombeo del Albuñón/Punta Calera, de la EDAR de San Pedro del Pinatar y de la impulsión del Mojón que recibe el agua de los drenes 1 y 2. El agua no bombeada de los drenes 1 y 2 es vertida al canal perimetral de las Salinas de San Pedro.

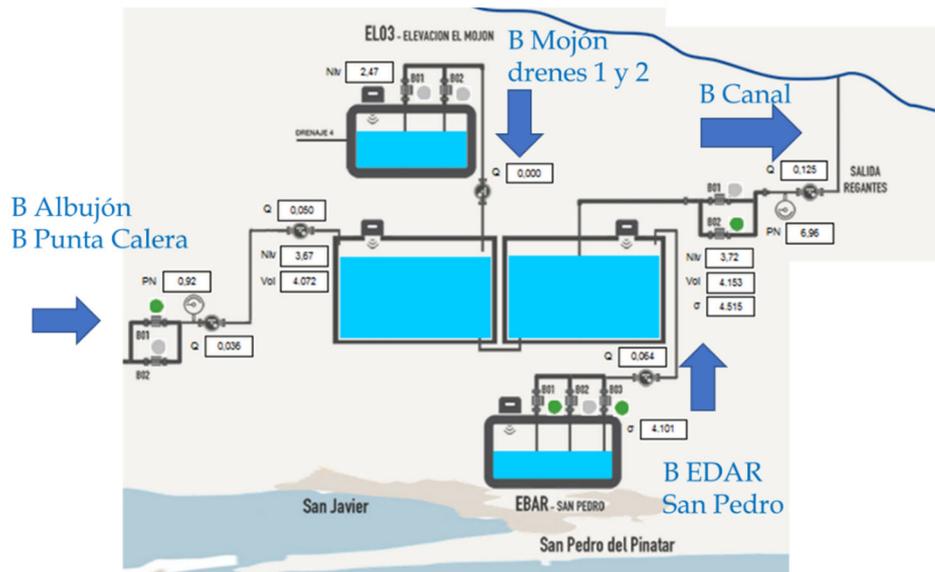


Figura 43. Esquema de entradas y salidas del depósito situado en el Mojón.

Se dispone de información del volumen total bombeado al canal del Campo de Cartagena en el Mojón y de los aportes de la EDAR de San Pedro al depósito del Mojón. La diferencia entre estos dos valores se corresponde con el agua procedente de los bombeos y drenes, siendo de 1.5 hm³ en el último año, concretamente:

- El volumen bombeado por el bombeo del Albuñón, que recoge los caudales de los drenes 4 y 5 y los aportes superficiales de la Rambla del Albuñón. Valor aproximado 1.3 hm³/año.
- El caudal recogido por dren 3 y Bombeado por Punta Calera -EBAR Los Narejos- (que incluye el procedente del bombeo del Albuñón). Valor aproximado 0.2 hm³/año.
- Y el caudal bombeado correspondiente a los drenes directos, dren 1 y dren 2.

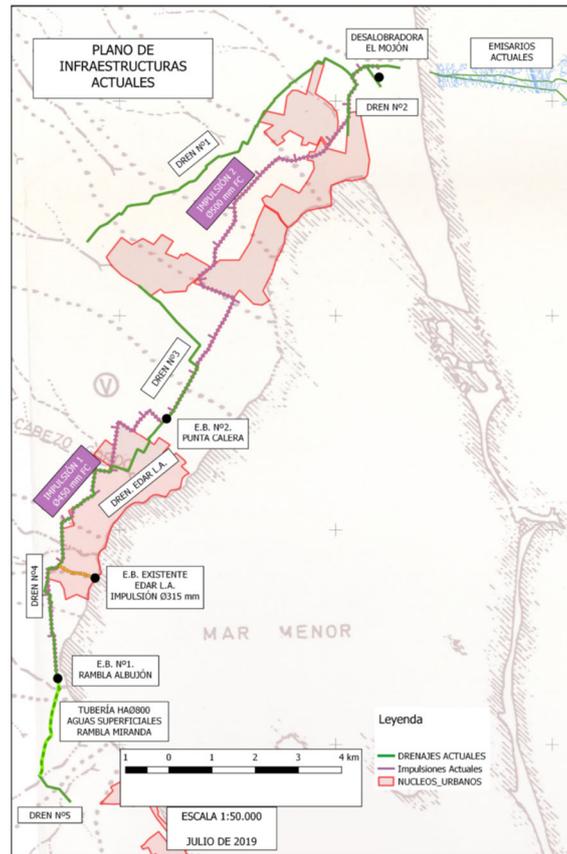


Figura 44. Drenes y estaciones de bombeo actuales. Bombeo del Albuñón, Bombeo de Punta Calera, desalobrador de El Mojón y emisarios marinos actuales (CHS).

El bombeo del Albuñón reinicia su funcionamiento en mayo de 2020. Además, desde junio de 2021 se dispone de información 5 minutales del SAIH de las instalaciones de los diferentes puntos del bombeo. El caudal bombeado ronda los $0.090 \text{ m}^3/\text{s}$ (90 l/s), lo cual podría representar en el conjunto del año con funcionamiento completo, un volumen de 2.8 hm^3 . Por otra parte, se observa claramente como en las paradas del bombeo del Albuñón se producen vertidos por el aliviadero. Además, se producen ciertas puntas de alivio a pesar del funcionamiento del bombeo del Albuñón.



Figura 45. Datos horarios del bombeo del Albuñón y de los vertidos en el aliviadero (m^3/s).

Los datos cinco minútales del bombeo a la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, muestran un caudal aproximado de $0.125 \text{ m}^3/\text{s}$ (125 l/s) el cual podría representar con un caudal constante todo el año, un volumen anual de $3.9 \text{ hm}^3/\text{año}$.

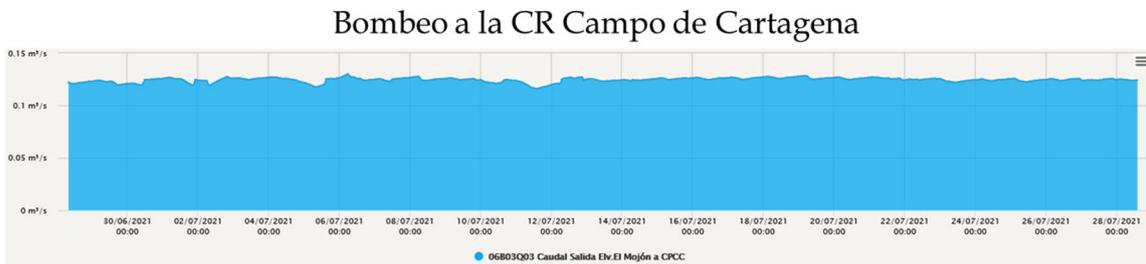


Figura 46. Datos horarios del bombeo a la CR del Campo de Cartagena (m^3/s).

El volumen de agua bombeado desde el bombeo del Mojón a la Comunidad del Campo de Cartagena, correspondiente mayoritariamente al agua procedente del bombeo del Albuji3n, ha sido entre mayo de 2020 y junio de 2021 de 1.8 hm^3 , correspondiéndose con un bombeo medio anual de $1.5 \text{ hm}^3/\text{año}$. Los datos hist3ricos de a3os anteriores tambi3n estiman una capacidad de elevaci3n de agua en el entorno de $1.7 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Los datos de volumen circulante en la Rambla del Albuji3n y la estimaci3n de vertido del aliviadero del bombeo del Albuji3n, muestran la disponibilidad de elevar un mayor volumen de agua. El m3ximo bombeo mensual se produjo en septiembre de 2020 con un volumen de $210,000 \text{ m}^3$, con este volumen mensual aplicado a todos los meses el total anual que se obtendr3a ser3a de $2.5 \text{ hm}^3/\text{año}$. El an3lisis de los datos de caudal cinco minútales indican un caudal m3ximo en el bombeo del Albuji3n de 90 l/s ($2.8 \text{ hm}^3/\text{año}$) y un caudal m3ximo a la CR del Campo de Cartagena de 125 l/s ($3.9 \text{ hm}^3/\text{año}$), y finalmente, en el caso de considerar el caudal de dise3o de 175 l/s el m3ximo volumen ser3a de $5.4 \text{ hm}^3/\text{año}$.

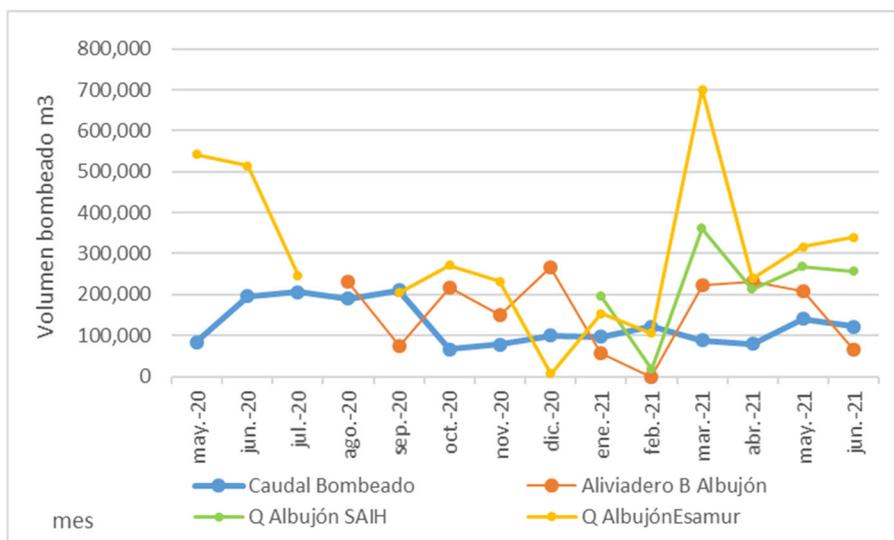


Figura 47. Volumen bombeado y estimaci3n de volumen vertido procedente de los drenes (m^3).

3.5 Seguimiento de indicadores clorofila en el Lago 2020 y 2021.

Los datos de clorofila en el Lago disponibles en el Servidor de Datos Científicos del Mar Menor de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) a través del Canal del Mar Menor, junto con el valor de referencia indicado anteriormente de $2 \mu\text{gCl}_a/\text{l}$, muestran una reducción muy significativa del nivel de clorofila desde mediados del año 2020, volviendo a los valores existentes en el año 2018 y 2019.

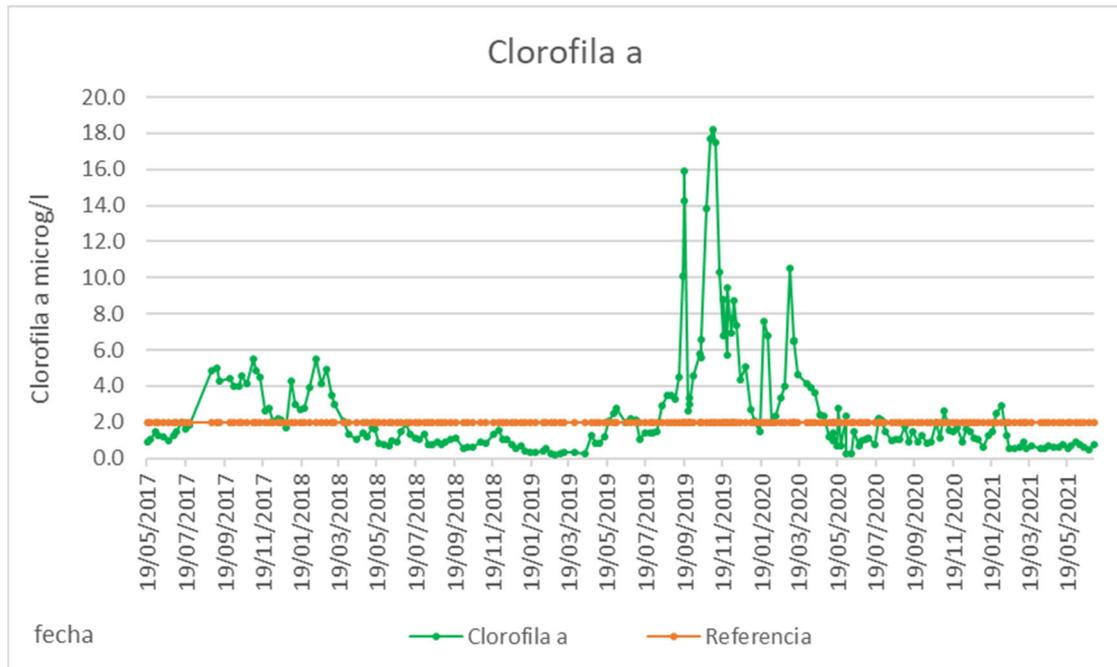


Figura 48. Concentración de Clorofila-a media en el Mar Menor y valor de referencia de $2 \mu\text{gCl}_a/\text{l}$, serie disponible desde mayo de 2017 hasta julio de 2021. Fuente UPCT.

A partir de mayo de 2020 coinciden dos circunstancias: la puesta en funcionamiento el bombeo del Albuñón y la no existencia de crecidas significativas en la Rambla del Albuñón. Estas dos circunstancias pueden haber contribuido a la recuperación del ecosistema y a aumentar su capacidad de asimilación del nitrógeno, de forma que los valores de clorofila se han situado prácticamente en todo momento por debajo de los $2 \mu\text{gCl}_a/\text{l}$. Además, a partir de febrero de 2021 y hasta julio de 2021 la concentración media de clorofila se sitúa entre 0.5 y $1 \mu\text{gCl}_a/\text{l}$, valor muy por debajo del valor de referencia $2 \mu\text{gCl}_a/\text{l}$.

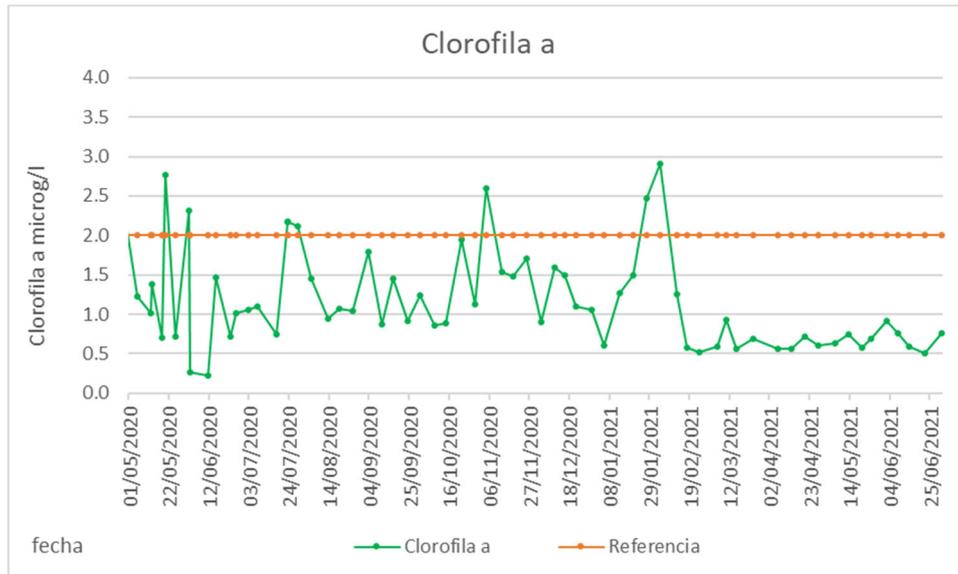


Figura 49. Concentración de Clorofila-a media en el Mar Menor y valor de referencia de $2\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ desde mayo de 2020 hasta julio de 2021. Fuente UPCT.

En estas condiciones la concentración de clorofila en las capas superficiales es muy baja y se sitúa en las capas profundas del agua correspondiendo a la vegetación profunda, por lo que permite una columna de agua transparente y oxigenada de agua.

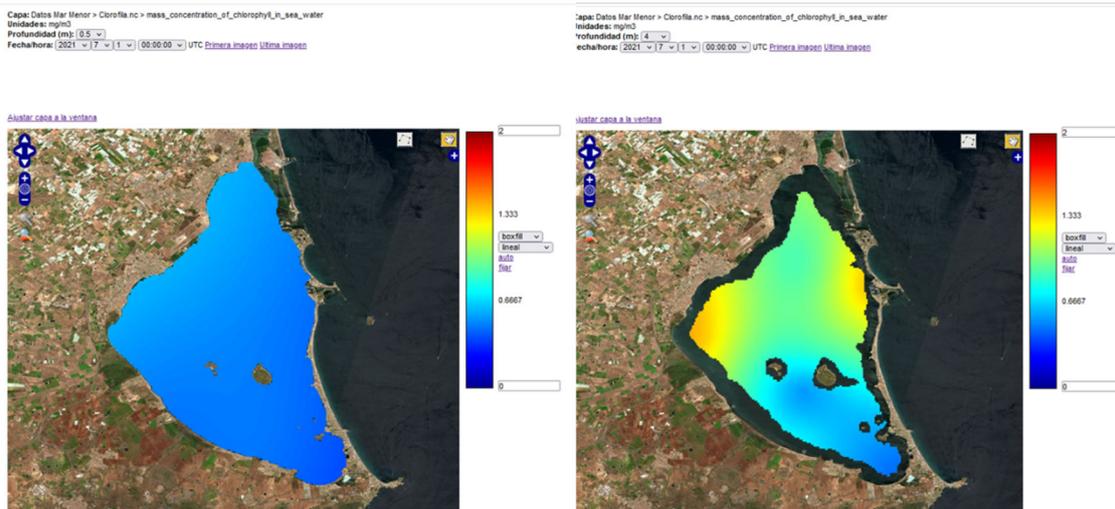


Figura 50. Concentración de Clorofila en la capa superficial (0.5 m) y en la capa profunda (4 m), julio de 2021. Fuente:UPCT

El perfil vertical de clorofila muestra concentraciones inferiores a $0.5\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ en las capas superficiales, 0.5-1 m de profundidad, hasta valores en el entorno de $1\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ en las capas más profundas, 4-5 m de profundidad.

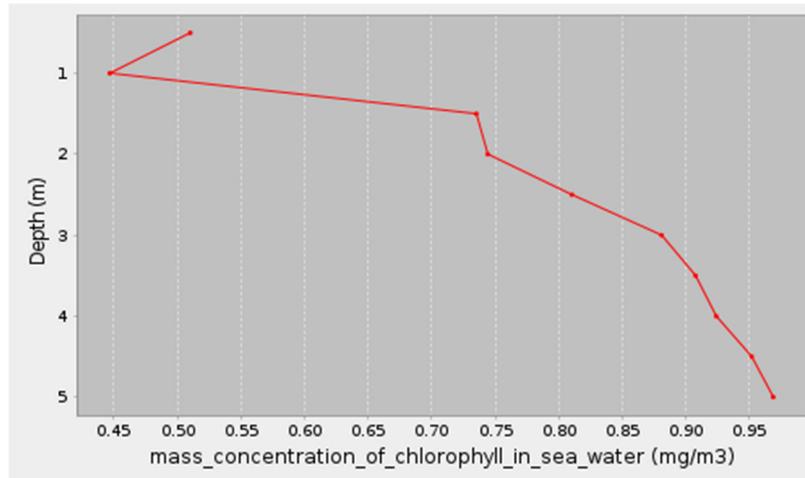


Figura 51. Perfil vertical típico de concentración de Clorofila julio de 2021. Fuente:UPCT

Desde mediados del año 2000 únicamente se han producido en el año 2021 dos pequeñas crecidas en la Rambla del Albuñón, la crecida del 7 de marzo de 2021 y la crecida del 23 de mayo de 2021, que han aportado en ambos casos aproximadamente 0.2 hm^3 de agua, estimándose que si se considera una concentración media de $30 \text{ mgNO}_3/\text{l}$ un aporte de nitrato al lago es de 6 tn en cada evento. En ambos casos, tras la crecida se ha producido un ligero aumento de aproximadamente $0.5 \text{ }\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ en la concentración media de clorofila en el agua del Mar Menor durante las semanas siguientes.

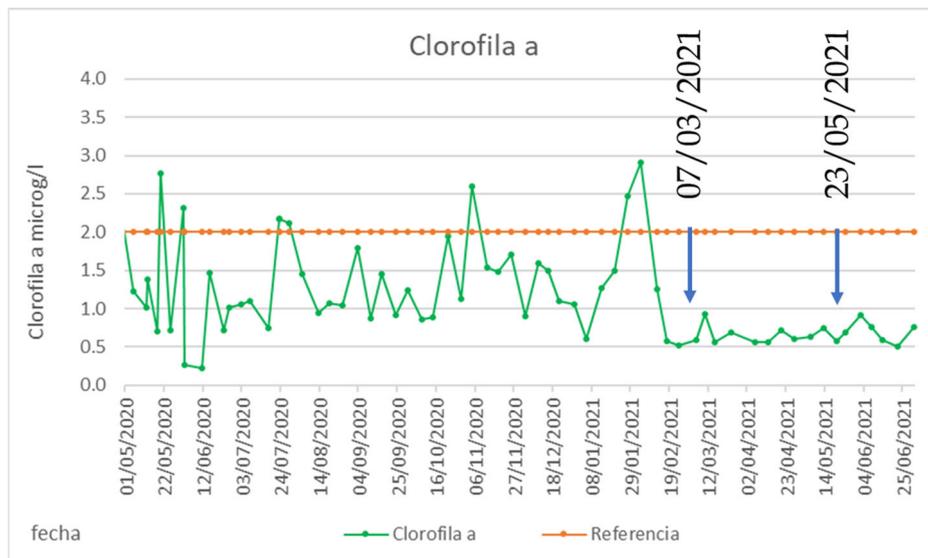


Figura 52. Nivel de clorofila y crecidas registradas desde mayo de 2020.

Previo a la crecida de 7 de marzo de 2021 los niveles de clorofila son inferiores a $0.5 \text{ }\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ en superficie y $1 \text{ }\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ a 4 metros de profundidad. Tras la crecida los niveles aumentan el 10 de marzo de 2021 (3 días después de la crecida) en superficie y en profundidad hasta volver a los valores iniciales un mes después de la crecida el 6 de abril de 2021.

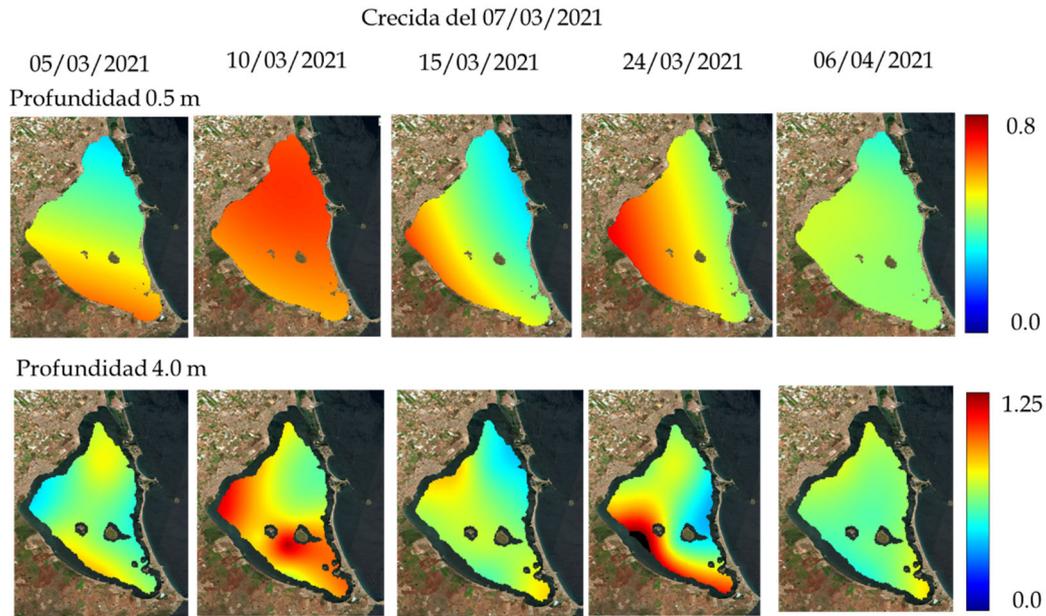


Figura 53. Mapas de nivel de clorofila en la crecida de 7 de marzo de 2021.

En la segunda crecida de 2021, previo a la crecida de 23 de mayo de 2021 los niveles de clorofila son inferiores a $0.5 \mu\text{gCl}_a/\text{l}$ en superficie y $1 \mu\text{gCl}_a/\text{l}$ a 4 metros de profundidad, salvo en las proximidades de la desembocadura de la Rambla del Albuñón donde hay altos niveles de clorofila en profundidad. Tras la crecida los niveles aumentan el 2 de mayo de 2021 (12 días después de la crecida) en superficie y en profundidad hasta volver a los valores iniciales aproximadamente un mes después de la crecida el 14 de mayo de 2021.

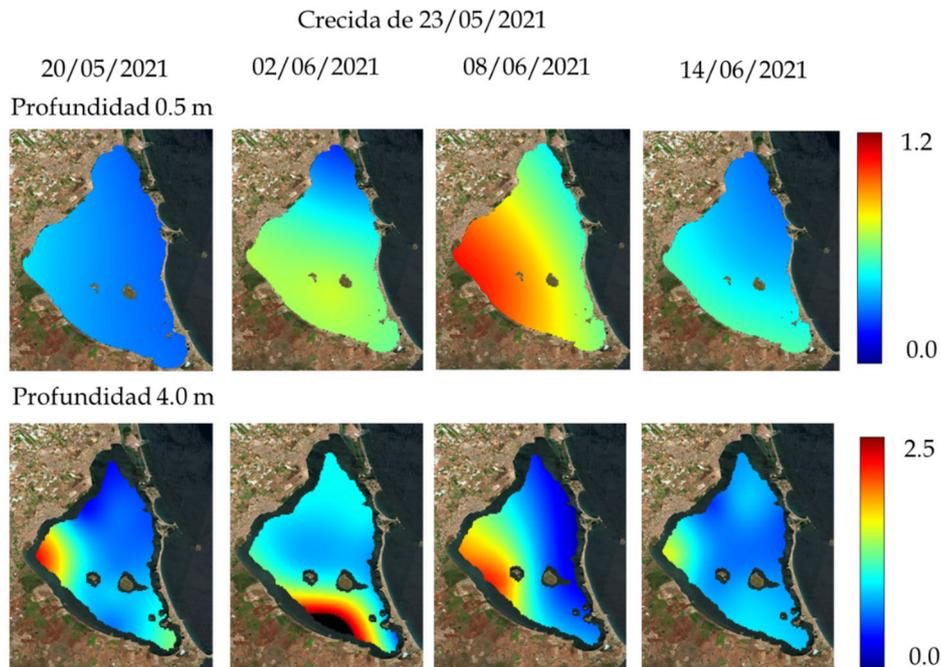


Figura 54. Mapas de clorofila en la crecida de 23 de mayo de 2021.

3.6 Mortandad producida en agosto de 2021.

Entre los días 16 y 22 de agosto de 2021 se ha producido una mortandad masiva de especies por falta de oxígeno en la zona sur del Mar Menor. El nivel medio de oxígeno en el lago alcanzó un mínimo de 4 mgO₂/l el 19 de agosto de 2021 con unos niveles de clorofila de 3.4 µgCl_a/l, mientras que el nivel medio de clorofila alcanzó un máximo en el lago de 6 µgCl_a/l el 26 de agosto de 2021. Los niveles de clorofila medios han estado por encima del valor de referencia de 2 µgCl_a/l desde el día 3 de agosto.

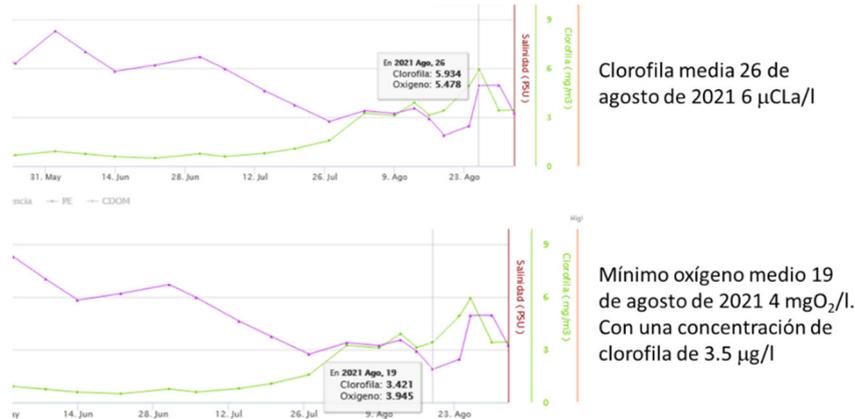


Figura 55. Concentración de Clorofila-a media en el Mar Menor y de oxígeno disuelto en el agua. Fuente UPCT.

La concentración de clorofila en superficie ha alcanzado valores de 4 µgCl_a/l en diferentes zonas del Mar Menor entre los días 13 y 19 de agosto, alcanzando finalmente concentraciones de 7 µgCl_a/l en la zona sur el 24 de agosto de 2021.

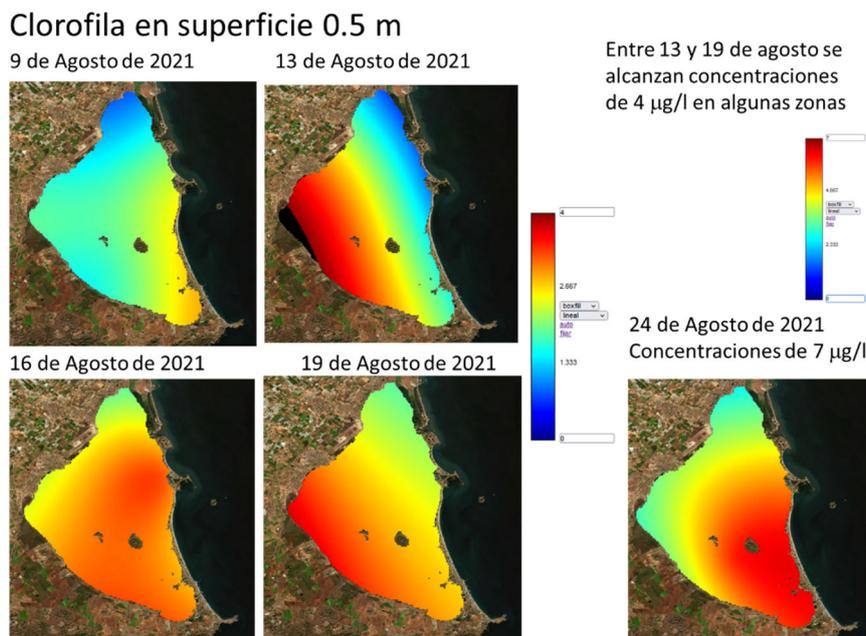


Figura 56. Concentración de Clorofila-a µgCl_a/l en superficie, 0.5m, en el Mar Menor. Fuente UPCT.

Los datos del 19 de agosto, indican que el mínimo en la concertación de oxígeno a profundidad de 4 m se produce simultáneamente con valores de concentración de clorofila en el entorno de los 2.5-4 $\mu\text{gCl}_a/\text{l}$.

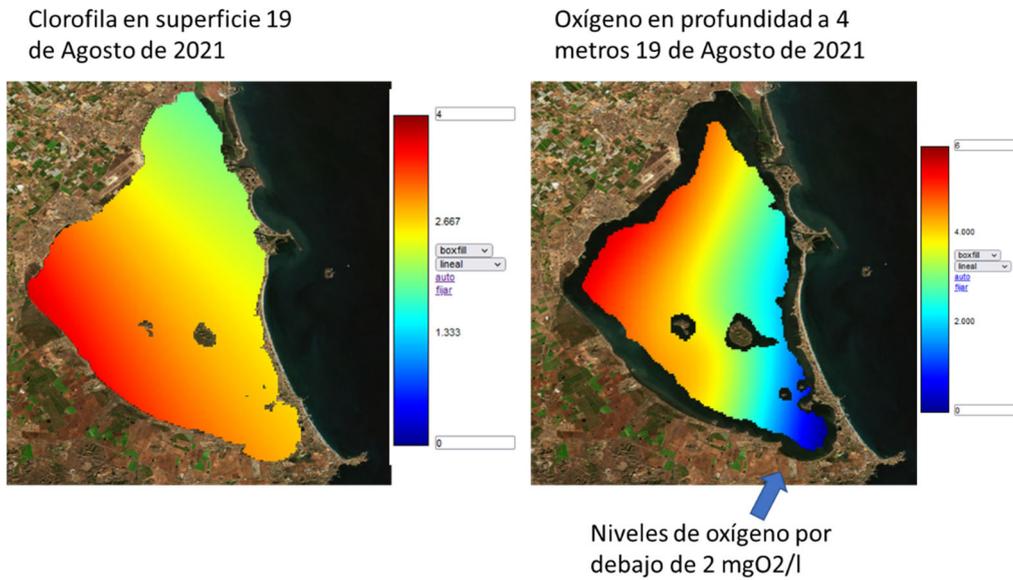


Figura 59. Concentración de clorofila $\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ en superficie y de oxígeno en profundidad, 4 m, en el Mar Menor el 19 de agosto de 2021. Fuente UPCT.

La concentración máxima de clorofila se produce en la zona sur del Mar Menor con concentraciones de 7 $\mu\text{gCl}_a/\text{l}$, en ese momento los niveles de oxígeno a 4 metros de profundidad se sitúan en el entorno de los 2 mgO_2/l en esa zona.

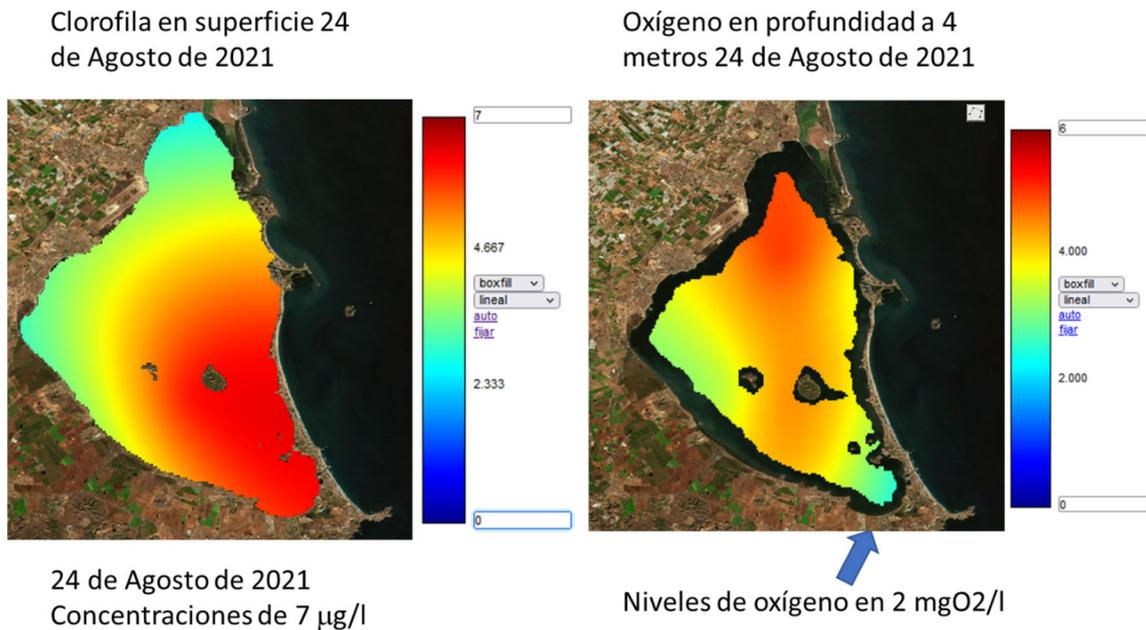


Figura 60. Concentración de clorofila $\mu\text{gCl}_a/\text{l}$ en superficie y de oxígeno en profundidad, 4 m, en el Mar Menor el 19 de agosto de 2021. Fuente UPCT.

Los datos de septiembre de 2021 muestran niveles de clorofila superiores a $5 \mu\text{gCl}/\text{l}$ en la zona sur, muy por encima del valor de referencia de $2 \mu\text{gCl}/\text{l}$ y niveles de oxígeno por debajo de $4 \text{mgO}_2/\text{l}$ de nuevo en la zona sur del Mar Menor.

Clorofila en superficie y Oxígeno disuelto a profundidad 4 metros en septiembre de 2021

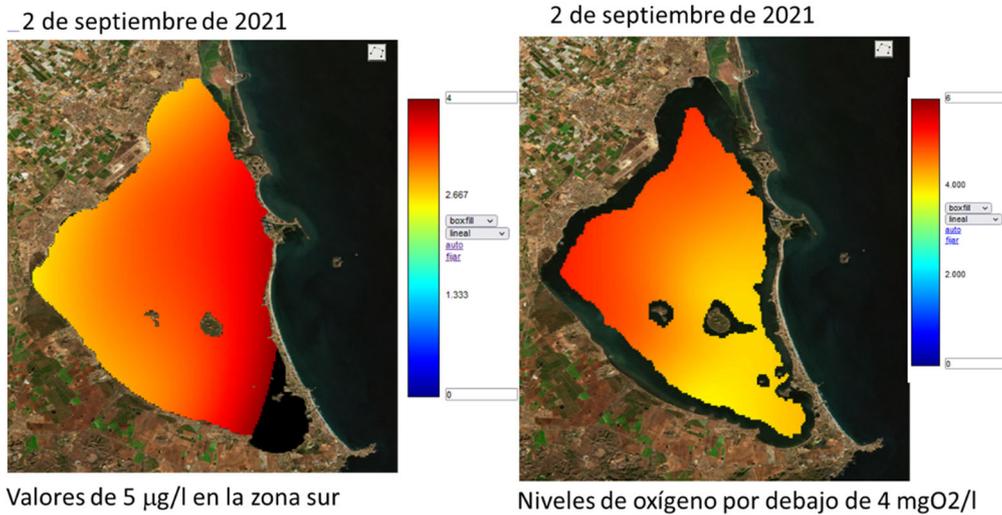


Figura 61. Concentración de clorofila $\mu\text{gCl}/\text{l}$ en superficie (color negro indica superior a $4 \mu\text{gCl}/\text{l}$) y de oxígeno en profundidad, 4 m, en el Mar Menor el 2 de septiembre de 2021. Fuente UPCT.

4 Modelo de simulación de nitratos en el Campo de Cartagena

4.1 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 62. 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	Cultivos Indust.	Girasol	Cultivos forrajeros	Hortalizas	Flores	Total Herbáceos	Cítricos	Frutales	Almendra	Olivar	Vitífera	Otros C. leñosos	Total Leñosos	Zonas de Pastoreo	TOTAL
Superficies	69.988,0	210,0	5.149,0	1.433,0	37,0	760,0	53.039,0	288,0	130.904,0	37.867,0	27.098,0	73.433,0	19.616,0	29.736,0	969,0	188.719,0	324.314,0	643.937,0
Fertilización Mineral	4.927,3	2,6	711,2	112,0	0,2	9,0	7.933,3	57,1	13.752,6	8.449,3	3.589,4	1.066,3	314,3	913,6	5,0	14.337,9	0,0	28.090,6
Abonado Estiércoles	511,5	0,0	454,7	18,8	0,4	313,2	5.130,0	1,4	6.430,1	2.587,5	1.811,9	1.101,0	255,1	361,5	9,9	6.126,9	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	542,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	542,7	0,0	2.372,1
Excrementos de Pastoreo	721,7	8,2	0,0	23,4	0,4	3,6	1.263,0	0,0	2.020,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.360,6	3.381,0
Semillas	250,5	1,1	35,0	0,0	0,0	1,3	3,8	0,0	291,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	291,7
Fijación Biológica	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	152,8	117,3	0,0	275,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	237,4	512,4
Deposición Atmosférica	751,6	2,3	55,3	15,4	0,4	8,2	569,6	3,1	1.405,8	406,7	291,0	788,6	210,7	319,3	10,4	2.026,7	3.482,8	6.915,3
TOTAL ENTRADAS	7.162,7	19,0	1.256,2	169,6	1,4	488,1	16.846,5	61,5	26.005,0	11.986,3	5.692,3	2.955,9	780,1	1.594,5	25,3	23.034,3	5.080,9	54.120,2
Retirada de Cosechas	3.155,0	6,9	495,0	36,8	1,6	191,7	5.734,9	15,1	9.637,0	2.881,3	1.022,0	712,4	681,6	940,6	12,5	6.250,4	0,0	15.887,4
Retirada de Paja-Planta	775,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	421,8	0,0	1.197,4	1.385,2	5,1	0,0	85,4	0,0	2,5	1.478,1	0,0	2.675,5
Retirada por pastoreo	123,7	1,4	0,0	4,0	0,1	0,6	216,5	0,0	346,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	233,2	579,6
Crecimiento (Madera y raíces)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.701,2	403,5	117,8	93,3	94,1	3,9	2.413,7	0,0	2.413,7
Quema de restos	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	15,1	16,1	815,0	196,1	113,4	162,8	189,1	3,5	1.479,8	0,0	1.495,9
Volatilización del abonado	315,0	0,6	226,6	11,4	0,2	143,9	2.618,1	0,2	3.316,0	1.735,7	934,3	429,1	94,7	96,8	0,0	3.290,6	0,0	6.606,6
Volatilización del pastoreo	83,1	0,9	0,0	2,7	0,1	0,4	145,4	0,0	232,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	156,6	389,2
Gases del abonado	27,8	0,1	13,5	1,1	0,0	5,6	161,8	0,0	209,8	125,2	59,8	28,2	7,3	10,4	0,0	231,1	0,0	440,9
Gases del pastoreo	15,1	0,2	0,0	0,5	0,0	0,1	26,5	0,0	42,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,5	70,9
Gases de restos vegetales	2,9	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	1,0	5,0	14,6
TOTAL SALIDAS	4.498,3	10,1	738,6	57,5	1,9	342,3	9.327,1	30,4	15.006,1	8.643,5	2.620,7	1.400,9	1.125,7	1.331,5	22,3	15.144,7	423,5	30.574,3
BALANCE	2.664,4	8,9	517,7	112,1	-0,5	145,8	7.519,4	31,1	10.998,9	3.342,7	3.071,5	1.555,0	-345,6	263,0	3,0	7.889,6	4.657,4	23.545,9
BALANCE_kg/ha	38,1	42,5	100,5	78,2	-13,7	191,9	141,8	108,1	84,0	88,3	113,3	21,2	-17,6	8,8	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.

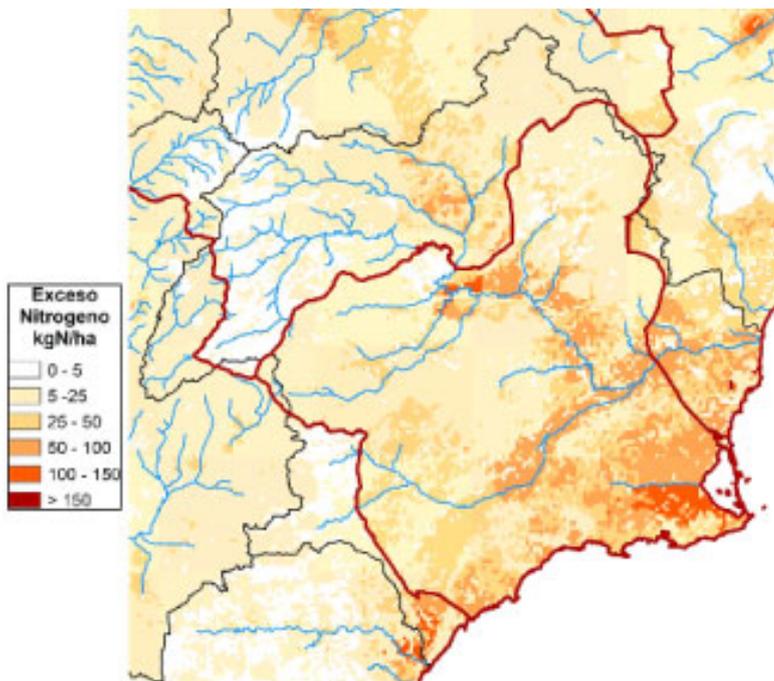


Figura 63. Distribución espacial del exceso de nitrógeno en la región de Murcia.

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 Alcázares, 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.

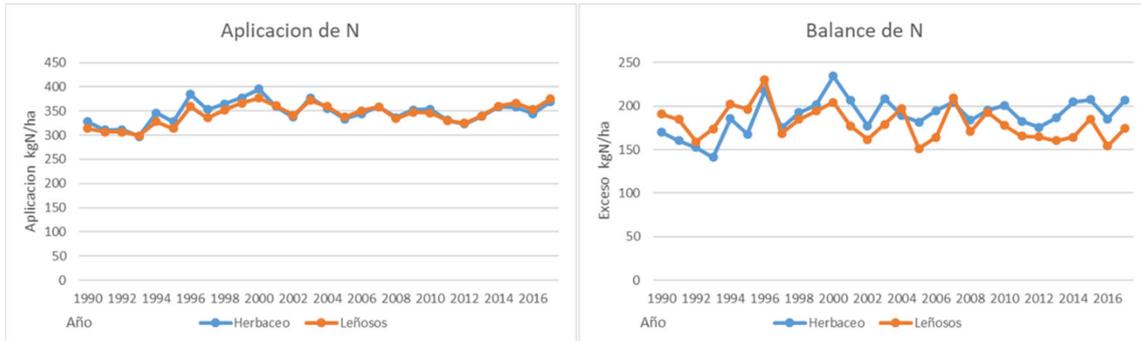


Figura 64. Evolución anual de la aplicación de fertilizantes y del exceso de nitrógeno en la zona del Campo de Cartagena.

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 Cultivo de regadío kgN/ha	Aporte de nitrógeno en el agua de riego kgN/ha	Aporte total de nitrógeno Cultivo de regadío kgN/ha
Herbáceo	308.9	38.5	347.5
Leñoso	287.3	61.9	349.2
Herbáceo 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 Alcázares, 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.

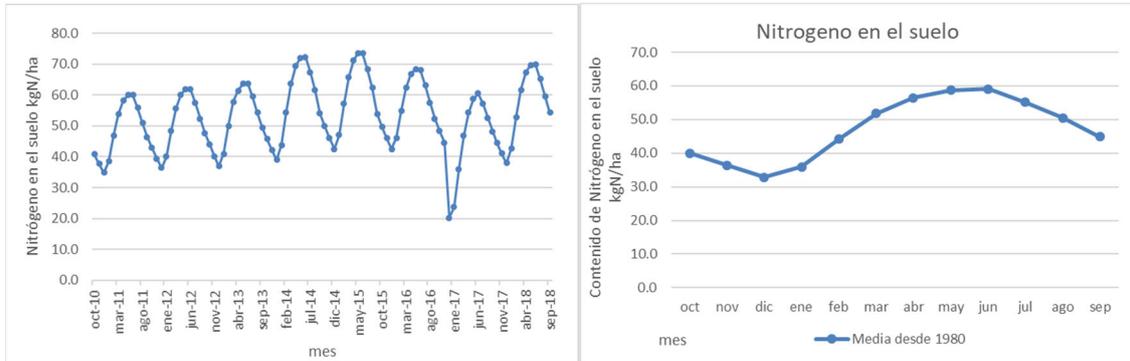


Figura 65. Contenido de nitrógeno en el suelo obtenido con el modelo de simulación Patrical en la zona centro del del Campo de Cartagena.

4.2 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).

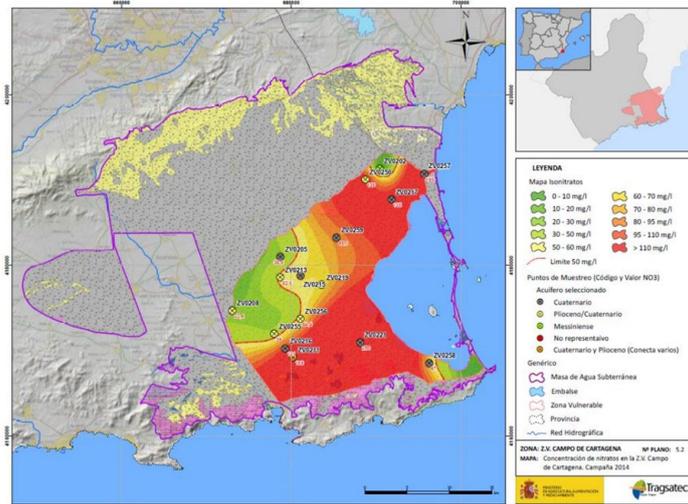


Figura 66. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena 2014 (MAPA, 2019).

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 Albujón.

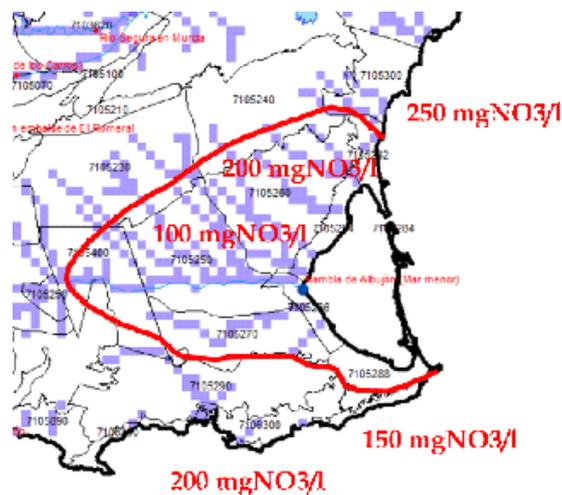


Figura 67. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena.

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).

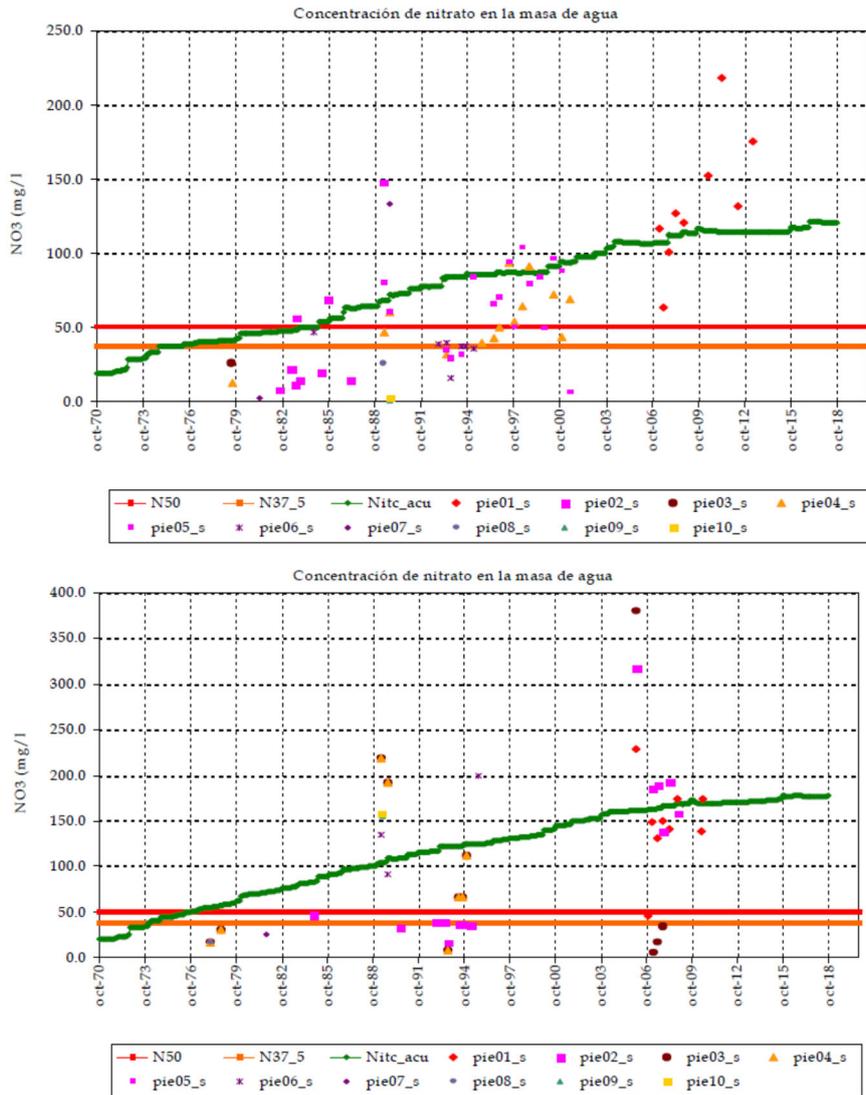


Figura 68. Concentración de nitrato en el Campo de Cartagena; ajuste entre en el modelo de simulación (línea verde) y las concentraciones observadas (puntos).

4.3 Escenarios de 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.

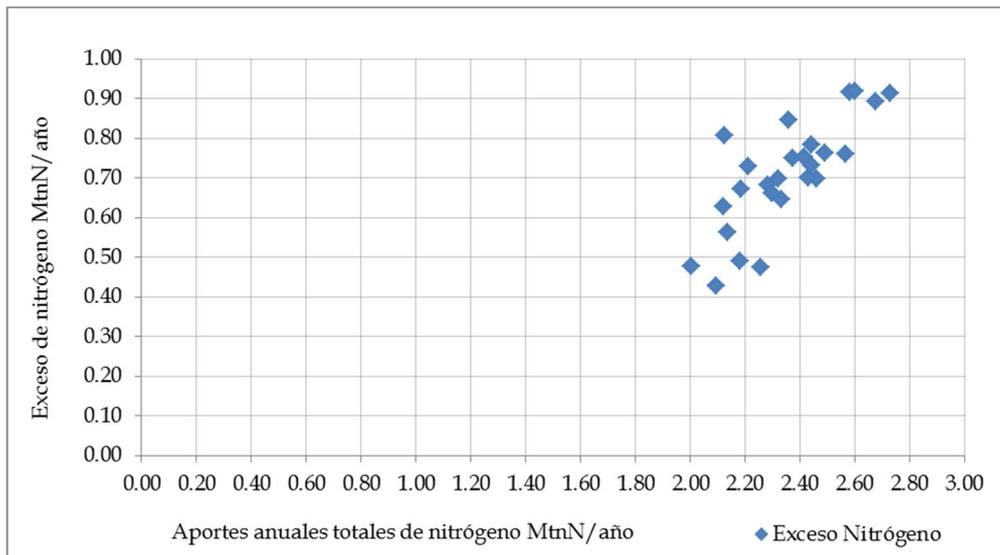


Figura 69. Relación entre el aporte total de nitrógeno y el exceso anual de nitrógeno (Millones de tnN/año) (Miteco, 2019).

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.

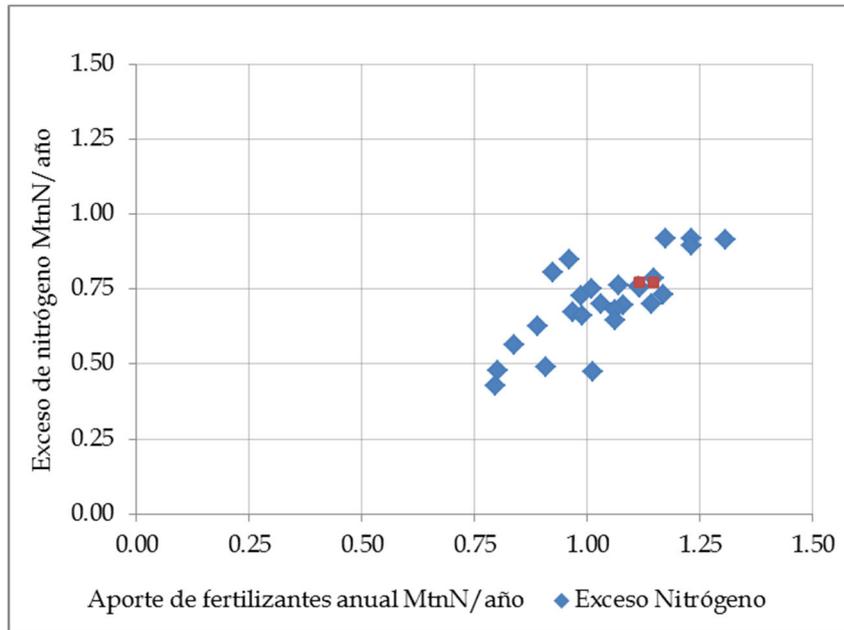


Figura 70. Relación entre el aporte de fertilizantes y el exceso anual de nitrógeno (Millones de tnN/año) (Miteco, 2019).

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 8. 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%.

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.

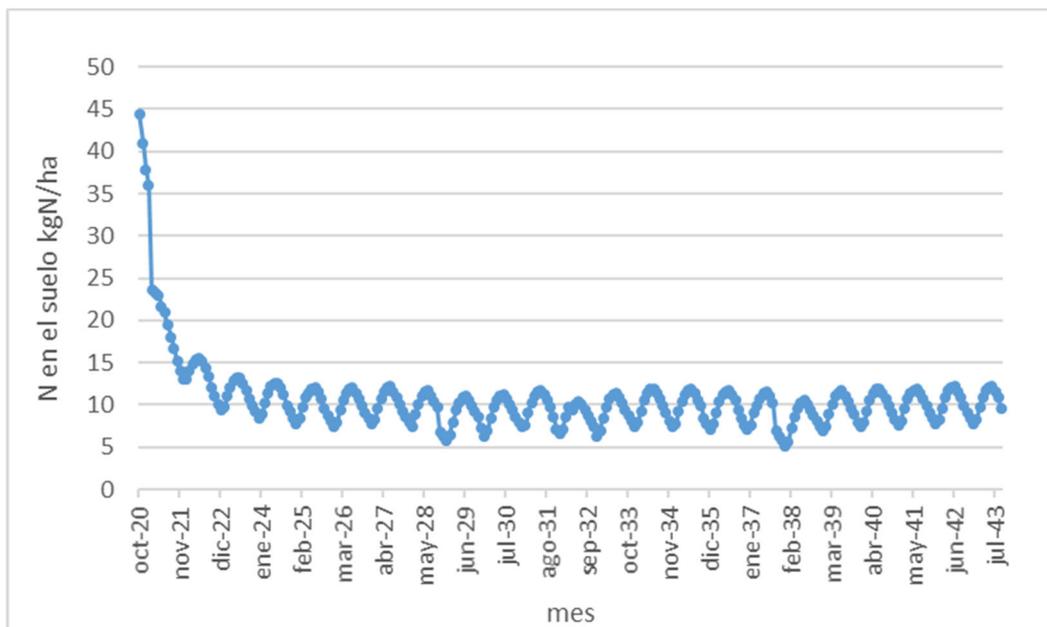


Figura 71. Evolución del contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero.

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.

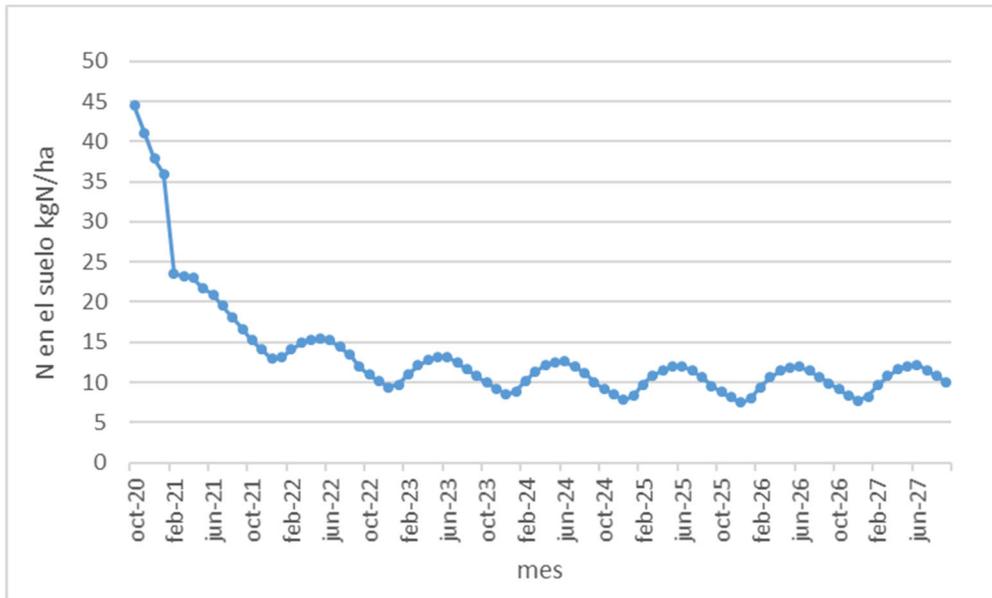


Figura 72. Evolución del contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero, serie completa y los primeros años.

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.

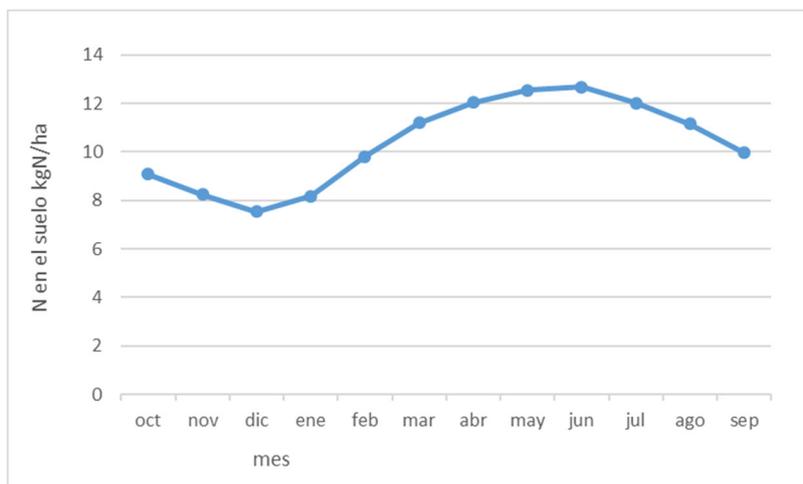


Figura 73. Contenido medio de nitrógeno en el suelo, tras la reducción de un 80% en la presión ejercida en el acuífero.

En relación con el acuífero, los resultados obtenidos con el modelo de simulación Patricial 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 $50 \text{ mgNO}_3/\text{l}$, 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 $50 \text{ mgNO}_3/\text{l}$. 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.

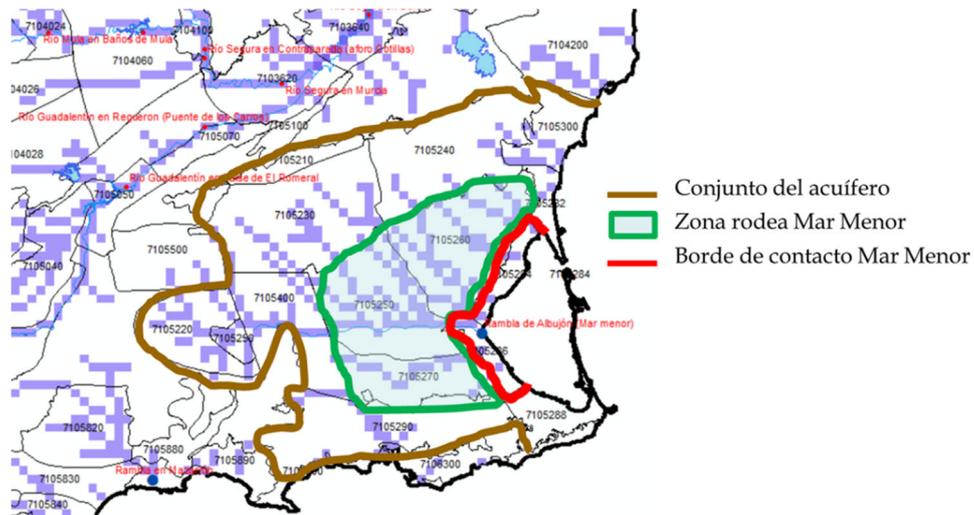


Figura 74. Límite del acuífero, zona más amplia que rodea el Mar Menor, y borde de contacto con el Mar Menor.

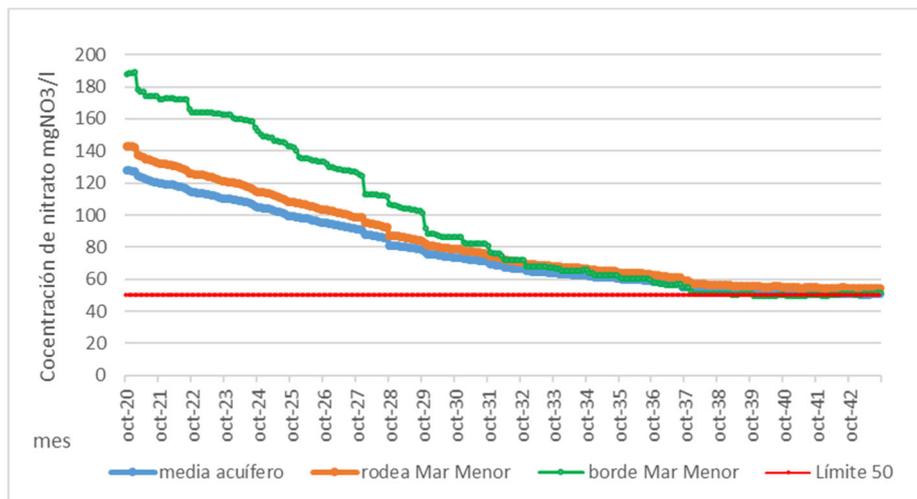


Figura 75. Evolución de la concentración de nitrato en el acuífero, tras la reducción de un 80% de la presión aplicada obtenida con el modelo de simulación Patricial.

Para conseguir una recuperación más rápida del acuífero es necesaria una reducción de la presión del 90%. En este caso, se conseguiría bajar de $50 \text{ mgNO}_3/\text{l}$ en el borde del acuífero que rodea al Mar Menor a finales del año 2033 y la media del acuífero sería inferior a $50 \text{ mgNO}_3/\text{l}$ en el año 2035. La masa de agua dejaría

de considerarse en riesgo a finales del año 2043 al tener una concentración media de 37.5 mgNO₃/l en ese año.

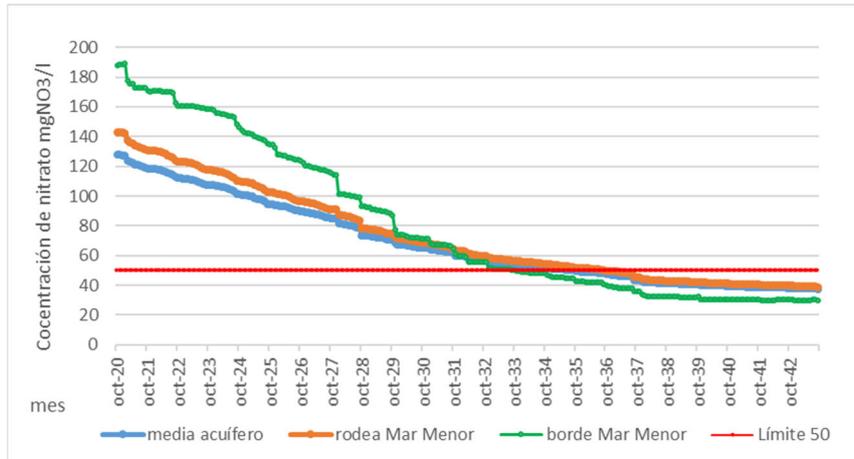


Figura 76. Evolución de la concentración de nitrato en el acuífero, tras la reducción de un 90% de la presión aplicada obtenida con el modelo de simulación Patrical.

En base a los resultados obtenidos con el modelo de simulación, tras la implantación de las medidas con una reducción de la presión del 80%, 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 9. 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.

Los tiempos de recuperación son menores en el caso de aplicar una reducción mayor 90% en la presión ejercida. En este caso los tiempos de recuperación se reducen significativamente, de forma que entre 4 y 8 años la concentración sería inferior a 100 mgNO₃/l y en aproximadamente 15 años se conseguiría una concentración de nitrato menor a 50 mgNO₃/l.

	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	4	8	13	15
Zona extensa rodea Mar Menor	170	6	9	14	16
Borde con el Mar Menor	190	8	9	12	13

Tabla 10. Número de años requeridos desde la implantación de la reducción del 90% en la presión en el acuífero hasta alcanzar los diferentes umbrales de concentración de nitrato.

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%. En el caso de aplicar una reducción del 90% para acelerar el proceso de recuperación del acuífero, el aporte total de nitrógeno es de 195 kgN/ha y año

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, para una reducción de la presión del 80% y de 155 kgN/ha/año para una reducción de la presión del 90%.**

Reducción de la presión	80%	90%
Aporte máximo total (kgN/ha)	210	195
Deposición atmosférica (kgN/ha)	6	6
Agua de riego (kgN/ha)	26	26
Nitrógeno en el suelo (kgN/ha)	8	8
Aplicación agricultor (kgN/ha)	170	155

Tabla 12. Aporte total de nitrógeno por hectárea y año, y dosis máxima a aplicar por el agricultor, en kgN/ha/año, para una reducción de la presión del 80% y del 90%.

5 Modelo de clorofila del Mar Menor

El modelo construido de balance de masas de nitrógeno en régimen estacionario del Mar Menor incluye las principales entradas de agua procedentes de los flujos subsuperficiales y subterráneos y las entradas de agua del mar Mediterráneo, así como sus concentraciones de nitrato.

Los aportes de agua subsuperficial y subterránea se han considerado en un rango entre 6 y 12 hm³/año con altos niveles de nitrato y están formados por el aporte de los drenes al bombeo del Albuñón, los aportes superficiales por la rambla del Albuñón y el resto de aportes de agua subterránea al Mar Menor. Parte de estos aportes son retirados por los bombeos de la red de drenaje (incluido el bombeo del Albuñón), entrando el resto en el Mar Menor. El nitrógeno de entrada al Mar Menor se mezcla con el nitrógeno existente y con las entradas de agua del Mar determinando la concentración de nitrato presente en el agua que está disponible para el crecimiento de las algas.

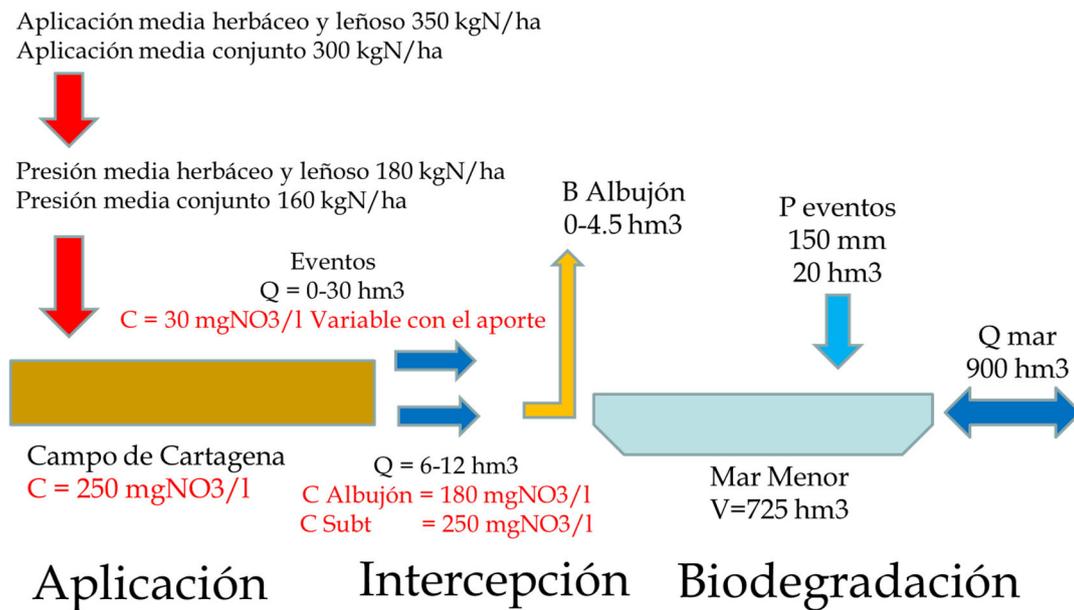


Figura 80. Modelo conceptual Campo de Cartagena y aporte de nitrógeno al Mar menor.

El modelo de balance en régimen estacionario considera las siguientes hipótesis de funcionamiento:

- Aportes de agua continuos, subsuperficial y de aguas subterráneas (Q_{sub}) se estima entre 6 y 12 hm³/año con una concentración variable en función de la cantidad de cada una de las componentes del agua mgNO₃/l (CN_{sub}).
- Volumen de agua en el Mar Menor (V_{MM}) 725 hm³ (580-828 hm³ según fuentes), con una concentración inicial de nitrato (CN_{MM}) de 0.08 mgNO₃/l, valor de nitrógeno residual para condiciones de 2018.
- Entradas netas de agua de Mar (diferencia entradas - salidas): 110 hm³/año. Entradas brutas de 900 hm³/año (Q_{mar}), prácticamente sin

aportes de nitrato, con una concentración de nitrato (CN_{mar}) de 0.062 mgNO₃/l (Lazzari et al, 2016).

- Bombeo drenes, Albuji3n (Q_{dren}).

La concentración de nitrato disponible para el fitoplancton en estado estacionario se obtiene mediante el balance de masas de las entradas de agua con sus respectivas concentraciones y considerando la reducci3n en el nitr3geno disponible debido a la absorci3n del mismo por la vegetaci3n profunda u otros organismos vivos. La reducci3n por biodegradaci3n se incorpora mediante el coeficiente "bio" como un porcentaje de reducci3n. La concentraci3n de nitrato disponible para el fitoplancton se obtiene mediante la siguiente expresi3n:

$$CN_{MMdisponible} = \frac{(1 - bio) \cdot (V_{MM} \cdot CN_{MM} + Q_{mar} \cdot CN_{mar} + (Q_{sub} - Q_{dren}) \cdot CN_{sub})}{V_{MM} + Q_{mar} + (Q_{sub} - Q_{dren})}$$

A partir del nitrato disponible se determina el nitrato residual que queda en el lago, siendo el resto el nitrato que utilizado por las algas y a partir de este se obtiene la concentraci3n de clorofila en el agua, mediante las siguientes expresiones:

$$CN_{MMresidual}(mgNO_3/l) = \text{Min}(0.25, 65\%CN_{MMdisponible})$$

$$CN_{MMalgas}(mgNO_3/l) = CN_{MMdisponible} - CN_{MMresidual}$$

$$Cla_{MM}(\mu gCla/l) = CN_{MMalgas} \cdot 0.139/4.43 \cdot 1000$$

Las condiciones de referencia considerados para la concentraci3n de clorofila en el agua y la concentraci3n de nitrato residual en el agua son:

- Valor de referencia: Clorofila < 2 μ g/l (mgChl/m³)
- El nitrato se considera el factor limitante siendo el valor de referencia nitrato residual en el Lago < 0.1 mgNO₃/l.

5.1 Calibración del modelo, simulación condiciones 2018

La aplicación del modelo con las condiciones de funcionamiento del año 2018, se ha realizado considerando la concentración de nitrato de los aportes procedentes del acuífero del Campo de Cartagena de 250 mgNO₃/l y la concentración de los aportes de la Rambla del Albuñón de 180 mgNO₃/l. El bombeo del Albuñón se considera con un volumen de 1.5 hm³/año. En estas condiciones y considerando un rango de aportaciones subsuperficiales y subterráneas a la laguna entre 6 y 12 hm³/año.

Los resultados muestran la gran importancia de la extracción de nitrato por el medio natural, mediante la biodegradación, dado que para obtener los valores de clorofila similares a los observados en el año 2018 (por debajo de 2 µgChl_a/l), hay que considerar una biodegradación del orden del 70%-80%. En el caso de que no consideramos la biodegradación los niveles de clorofila se situarían en el entorno de 10-18 µgChl_a/l, lo cual dista mucho de los niveles medidos en ese año, por debajo de los 2 µgChl_a/l.

Qbase	Clorofila-a		4.43	0.139								
6-12	µgChl _a /l		Biodegradación									
	hm ³ /año	l/s	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%	
Q _{mar}	6	190	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	5.1	6.9	8.8	10.6	
900	7	222	1.3	2.0	2.7	3.4	5.6	7.8	10.0	12.3	14.5	
0.062	8	254	1.6	2.4	3.3	5.7	8.4	11.2	13.9	16.6	19.3	
Q Albuñón	9	285	1.9	2.9	4.9	8.1	11.3	14.5	17.7	20.9	24.1	
1.5	10	317	2.2	3.3	6.8	10.5	14.2	17.9	21.5	25.2	28.9	
47.6	11	349	2.5	4.6	8.8	12.9	17.0	21.2	25.3	29.5	33.6	
l/s	12	381	2.8	6.0	10.7	15.3	19.9	24.5	29.2	33.8	38.4	

Tabla 14. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación.

La pérdida de vegetación de fondo y de filtradores reduce la capacidad de biodegradación del sistema de forma que, en las mismas condiciones con una capacidad de biodegradación, entre 50% y el 20%, los niveles de concentración de clorofila en el agua serían de entre 5 y 10 µgChl_a/l, correspondiendo estos valores a una situación de riesgo muy alto de eutroficación. En este sentido los eventos de lluvia con una gran aportación instantánea de nutrientes y sedimentos pueden afectar negativamente a la vegetación de fondo, tal y como sucedió en el año 2016, reduciendo de forma significativa la capacidad de autodegradación del nitrato del lago.

Considerando el caso de funcionamiento con altos niveles de biodegradación (70%-80%), la concentración inicial de nitrato disponible para el fitoplancton, de todos los aportes de agua se sitúa entre 0.10 y 0.20 mgNO₃/l, quedando una concentración de nitrato residual entre 0.06 y 0.10 mgNO₃/l, valor similar el registrado en ese año.

Nitrato disponible		Biodegradación								
hm ³ /año	l/s	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
6	190	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53	0.59
7	222	0.14	0.21	0.29	0.36	0.43	0.50	0.57	0.64	0.71
8	254	0.17	0.26	0.35	0.43	0.52	0.61	0.69	0.78	0.87
9	285	0.20	0.31	0.41	0.51	0.61	0.71	0.81	0.92	1.02
10	317	0.23	0.35	0.47	0.59	0.70	0.82	0.94	1.05	1.17
11	349	0.26	0.40	0.53	0.66	0.79	0.93	1.06	1.19	1.32
12	381	0.29	0.44	0.59	0.74	0.88	1.03	1.18	1.33	1.47
Nitrato residual			0.25							
			70%							
		Biodegradación								
hm ³ /año	l/s	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
6	190	0.08	0.12	0.17	0.21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
7	222	0.10	0.15	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
8	254	0.12	0.18	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
9	285	0.14	0.21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
10	317	0.16	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
11	349	0.19	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12	381	0.21	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Tabla 15. Concentración de nitrato disponible y nitrato residual en el agua (mgNO₃/l), para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación.

5.2 Influencia del bombeo del Albuñón

En este apartado se analizan los resultados correspondientes a diferentes operaciones con el bombeo del Albuñón.

Los aportes de nitrato en el caso de bombeo nulo de agua desde el bombeo de Albuñón estarían entre 1,200 y 2,600 tnNO₃/año en función de la cantidad de aportes de agua que se produzca al Mar Menor.

Aporte hm ³ /año	C mgNO ₃ /l	Carga tn/año	Qbase 6-12 hm ³ /año	Clorofila-a µgChla/l	l/s	4.43		0.139											
						Biodegradación													
						80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%					
6.0	204	1,222	Qmar	6	190	1.5	2.3	3.1	5.0	7.6	10.1	12.7	15.3	17.8					
7.0	203	1,423	900	7	222	1.8	2.7	4.0	6.9	9.9	12.8	15.8	18.7	21.7					
8.0	209	1,673	0.062	8	254	2.1	3.1	5.9	9.3	12.7	16.2	19.6	23.0	26.5					
9.0	214	1,923	Q Albuñon	9	285	2.3	3.9	7.8	11.7	15.6	19.5	23.4	27.3	31.3					
10.0	217	2,173	0.0	10	317	2.6	5.3	9.7	14.1	18.5	22.9	27.2	31.6	36.0					
11.0	220	2,423	0.0	11	349	2.9	6.7	11.6	16.5	21.3	26.2	31.1	35.9	40.8					
12.0	223	2,673	l/s	12	381	3.2	8.2	13.5	18.9	24.2	29.5	34.9	40.2	45.5					

Tabla 16. Aportes de nitrato y concentración de Clorofila en el Mar Menor. Bombeo del Albuñón B=0 hm³/año.

Con el bombeo de 1.5 hm³/año se reducen los aportes de nitrato en 375 tnNO₃/año, reducción del 20% de los aportes totales de nitrato, obteniéndose para bajos aportes de agua anuales, valores por debajo de 2 µgChla/l.

Entrada final hm ³ /año	Carga tn/año	C mgNO ₃ /l	Qbase 6-12 hm ³ /año	Clorofila-a µgChla/l	l/s	4.43		0.139											
						Biodegradación													
						80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%					
4.5	847	188	Qmar	6	190	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	5.1	6.9	8.8	10.6					
5.5	1,048	191	900	7	222	1.3	2.0	2.7	3.4	5.6	7.8	10.0	12.3	14.5					
6.5	1,298	200	0.062	8	254	1.6	2.4	3.3	5.7	8.4	11.2	13.9	16.6	19.3					
7.5	1,548	206	Q Albuñon	9	285	1.9	2.9	4.9	8.1	11.3	14.5	17.7	20.9	24.1					
8.5	1,798	212	1.5	10	317	2.2	3.3	6.8	10.5	14.2	17.9	21.5	25.2	28.9					
9.5	2,048	216	47.6	11	349	2.5	4.6	8.8	12.9	17.0	21.2	25.3	29.5	33.6					
10.5	2,298	219	l/s	12	381	2.8	6.0	10.7	15.3	19.9	24.5	29.2	33.8	38.4					

Tabla 17. Aportes de nitrato y concentración de Clorofila en el Mar Menor. Bombeo del Albuñón B=1.5 hm³/año.

La puesta en funcionamiento del bombeo del Albuñón con 2.5 hm³/año, reduce los aportes de nitrato en 592 tnNO₃/año (reducción del 31% de los aportes de nitrato) y aumenta el número de situaciones en las que la concentración de clorofila es inferior a 2 µgChla/l, haciendo más resiliente el sistema frente a años húmedos o situaciones de crecidas.

Entrada final hm ³ /año	Carga tn/año	C mgNO ₃ /l	Qbase 6-12 hm ³ /año	Clorofila-a µgChla/l	l/s	4.43		0.139											
						Biodegradación													
						80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%					
3.5	630	180	Qmar	6	190	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.0	3.6	5.0	6.5					
4.5	832	185	900	7	222	1.1	1.6	2.2	2.7	3.3	4.9	6.7	8.5	10.4					
5.5	1,082	197	0.062	8	254	1.4	2.1	2.8	3.7	6.0	8.3	10.6	12.9	15.2					
6.5	1,332	205	Q Albuñon	9	285	1.7	2.5	3.3	6.1	8.8	11.6	14.4	17.2	19.9					
7.5	1,582	211	2.5	10	317	2.0	2.9	5.2	8.4	11.7	15.0	18.2	21.5	24.7					
8.5	1,832	216	79.3	11	349	2.2	3.4	7.1	10.8	14.6	18.3	22.0	25.8	29.5					
9.5	2,082	219	l/s	12	381	2.5	4.8	9.0	13.2	17.4	21.6	25.9	30.1	34.3					

Tabla 18. Aportes de nitrato y concentración de Clorofila en el Mar Menor. Bombeo del Albuñón B=2.5 hm³/año.

Finalmente, en el caso de poder bombear un volumen de 4.5 hm³/año, correspondiente al 80% de la capacidad nominal de la instalación, los aportes de nitrato se reducirían en 950 tnNO₃/año (reducción del 50% de los aportes totales de nitrato) y los niveles de clorofila serían inferiores a 2 µgChla/l tanto en años secos como en años húmedos, haciendo más resistente el sistema aunque se redujera la capacidad de biodegradación debido a una crecida.

Entrada final hm ³ /año	Carga tn/año	C mgNO ₃ /l	Qbase	Clorofila-a	Biodegradación									
			6-12	µgChla/l	4.43	0.139	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
1.5	270	180	Qmar	6	190	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2
2.5	472	189	900	7	222	0.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4
3.5	722	206	0.062	8	254	1.0	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	5.0	6.6	8.3
4.5	972	216	Q Albujon	9	285	1.3	1.9	2.5	3.1	4.7	6.8	8.9	11.0	13.1
5.5	1,222	222	4.5	10	317	1.5	2.3	3.1	5.0	7.6	10.1	12.7	15.3	17.8
6.5	1,472	226	142.7	11	349	1.8	2.7	4.4	7.4	10.4	13.5	16.5	19.6	22.6
7.5	1,722	230	l/s	12	381	2.1	3.2	6.3	9.8	13.3	16.8	20.4	23.9	27.4

Tabla 19. Aportes de nitrato y concentración de Clorofila en el Mar Menor. Bombeo del Albuñón B=4.5 hm³/año.

5.3 Resultados con la recuperación del acuífero del Campo de Cartagena

Se ha simulado la evolución en la concentración de clorofila en el Lago a medida que se recupera el acuífero del Campo de Cartagena frente a la contaminación por nitratos teniendo en cuenta diferentes capacidades de autodegradación de nitrato en el Lago. Los horizontes temporales se establecen considerando la trayectoria de recuperación del acuífero aplicando una reducción en la carga contaminante del 90%, de forma que se han aplicado diferentes hipótesis de concentración de nitrato de entrada al lago.

La concentración de nitrato de los aportes de agua al proceder de drenajes de las aguas subterráneas del acuífero del Campo de Cartagena, se corresponden con las concentraciones de nitrato en el acuífero y en la Rambla del Albuñón. Las concentraciones de nitrato consideradas son:

- 0) Situación actual. Concentración en los aportes de la Rambla del Albuñón de 180 mgNO₃/l y en la zona del acuífero en contacto con la Rambla de 250 mgNO₃/l. Concentración en el borde del acuífero con el Mar Menor de 200 mgNO₃/l.
- 1) Situación 6 años tras la aplicación de medidas. Concentración en los aportes de la Rambla del Albuñón de 108 mgNO₃/l y en la zona del acuífero en contacto con la Rambla de 150 mgNO₃/l. Concentración en el borde del acuífero con el Mar Menor de 100 mgNO₃/l.
- 2) Situación 12 años tras la aplicación de medidas. Concentración en los aportes de la Rambla del Albuñón de 54 mgNO₃/l y en la zona del acuífero en contacto con la Rambla de 75 mgNO₃/l. Concentración en el borde del acuífero con el Mar Menor de 60 mgNO₃/l.
- 3) Situación 15 años tras la aplicación de medidas. Concentración en los aportes de la Rambla del Albuñón de 39 mgNO₃/l y en la zona del acuífero en contacto con la Rambla de 55 mgNO₃/l. Concentración en el borde del acuífero con el Mar Menor de 45 mgNO₃/l.
- 4) Situación 17 años tras la aplicación de medidas. Concentración en los aportes de la Rambla del Albuñón de 32 mgNO₃/l y en la zona del acuífero en contacto con la Rambla de 45 mgNO₃/l. Concentración en el borde del acuífero con el Mar Menor de 35 mgNO₃/l.

En todos los casos se han considerado las simulaciones incluyendo un funcionamiento del bombo del Albuñón de 2.5 hm³/año.

La simulación del estado actual, con las concentraciones actuales de nitrato en el acuífero del Campo de Cartagena, correspondientes a una concentración media de los aportes de agua subterránea al lago de 250 mgNO₃/l y los aportes de agua superficial de 180 mgNO₃/l, se obtiene que la concentración de clorofila es inferior a 2 µgCl_a/l para un nivel de biodegradación del 80%. Sin embargo, en el caso de que por algún motivo, por ejemplo la aparición consecutiva de crecidas, se redujese la capacidad de biodegradación del lago a un 50-40% o valores inferiores, debido a una pérdida de la vegetación de fondo o la capacidad de los

filtradores, los niveles de clorofila podrían aumentar a valores en el entorno de 5 $\mu\text{gChla/l}$, lo cual representaría un riesgo elevado de eutrofización del lago.

Qbase	Clorofila-a		4.43	0.139								
6-12	$\mu\text{gChla/l}$		Biodegradación									
	hm3/año	l/s	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%	
Qmar	6	190	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.0	3.6	5.0	6.5	
900	7	222	1.1	1.6	2.2	2.7	3.3	4.9	6.7	8.5	10.4	
0.062	8	254	1.4	2.1	2.8	3.7	6.0	8.3	10.6	12.9	15.2	
Q Albujon	9	285	1.7	2.5	3.3	6.1	8.8	11.6	14.4	17.2	19.9	
2.5	10	317	2.0	2.9	5.2	8.4	11.7	15.0	18.2	21.5	24.7	
79.3	11	349	2.2	3.4	7.1	10.8	14.6	18.3	22.0	25.8	29.5	
l/s	12	381	2.5	4.8	9.0	13.2	17.4	21.6	25.9	30.1	34.3	

Tabla 20. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 250 mgNO_3/l y 180 mgNO_3/l los superficiales.

Los resultados obtenidos para la situación de aplicación de las medidas de reducción de cantidad de nitrato en el acuífero del Campo de Cartagena, la concentración media de los aportes de nitrato a la laguna del Mar Menor, podría reducirse en 6 años a un valor de 150 mgNO_3/l , lo cual reduciría el crecimiento de las algas superficiales haciendo el lago más resiliente frente a una reducción puntual de la capacidad de biodegradación y reduciendo de esta forma el riesgo de eutrofización.

Qbase	Clorofila-a		4.43	0.139								
6-12	$\mu\text{gChla/l}$		Biodegradación									
	hm3/año	l/s	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%	
Qmar	6	190	0.6	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.8	
900	7	222	0.7	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5	2.8	3.2	4.0	
0.062	8	254	0.9	1.3	1.8	2.2	2.6	3.1	3.9	5.4	6.8	
Q Albujon	9	285	1.1	1.6	2.1	2.6	3.2	4.4	6.2	8.0	9.7	
2.5	10	317	1.2	1.8	2.4	3.1	4.4	6.5	8.5	10.5	12.6	
79.3	11	349	1.4	2.1	2.8	3.8	6.1	8.5	10.8	13.1	15.4	
l/s	12	381	1.6	2.4	3.1	5.2	7.8	10.5	13.1	15.7	18.3	

Tabla 21. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 150 mgNO_3/l y 108 mgNO_3/l los superficiales.

A los 12 años de la aplicación de las medidas, los niveles de clorofila se reducirían hasta valores de la mitad de la situación actual, y se aumentaría la resiliencia del lago frente a una reducción puntual de la capacidad de biodegradación del lago. La laguna reduciría significativamente el riesgo de eutrofización aunque su capacidad de biodegradación se redujese de forma puntual a un 60%-50%.

Qbase	Clorofila-a		4.43	0.139							
			Biodegradación								
6-12	$\mu\text{gChla/l}$		80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
Qmar	6	190	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7
900	7	222	0.4	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
0.062	8	254	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5
Q Albujon	9	285	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
2.5	10	317	0.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7	3.1	3.5
79.3	11	349	0.8	1.1	1.5	1.9	2.3	2.7	3.1	3.6	4.9
l/s	12	381	0.8	1.3	1.7	2.1	2.5	3.0	3.5	4.9	6.3

Tabla 22. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 75 mgNO_3/l y 54 mgNO_3/l los superficiales.

En la situación en la que la masa de agua del Campo de Cartagena redujera sus niveles de nitrato de forma que se encontrara en buen estado, pero en riesgo, 15 años tras la aplicación de las medias, con concentraciones en el entorno de los 45 mgNO_3/l , las concentraciones de clorofila se reducirían significativamente, teniendo el sistema una gran capacidad de asimilar aportes puntuales de nitrógeno, dado que hasta con una reducción de la capacidad de biodegradación a valores del 40%, el sistema tendría un riesgo bajo de eutrofización.

Qbase	Clorofila-a		4.43	0.139							
			Biodegradación								
6-12	$\mu\text{gChla/l}$		80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
Qmar	6	190	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5
900	7	222	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7
0.062	8	254	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Q Albujon	9	285	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1	2.3
2.5	10	317	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.9	2.1	2.4	2.7
79.3	11	349	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
l/s	12	381	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.3	2.6	3.0	3.3

Tabla 23. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 55 mgNO_3/l y 39 mgNO_3/l los superficiales.

Finalmente, si los aportes alcanzan la laguna con una concentración correspondiente al buen estado de la masa de agua del Campo de Cartagena, 35 mgNO₃/l, la concentración de clorofila se situarían en el entrono de 0.5 µg/l, respecto al 1.7 µg/l que tendría en la situación actual. Además el sistema tendría una gran capacidad de asimilar aportes puntuales de nitrógeno y una gran resiliencia frente una reducción significativa en la capacidad de biodegradación del sistema.

Qbase	Clorofila-a		4.43	0.139								
6-12	µgChla/l		Biodegradación									
	hm3/año	l/s	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%	
Qmar	6	190	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	
900	7	222	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	
0.062	8	254	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	
Q Albujon	9	285	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	
2.5	10	317	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	
79.3	11	349	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	
l/s	12	381	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	

Tabla 24. Concentración de clorofila para diferentes aportes de agua procedente del Campo de Cartagena al Mar Menor y diferentes porcentajes de biodegradación. Concentración de los aportes subterráneos de 45 mgNO₃/l y 32 mgNO₃/l los superficiales.

6 Resumen y conclusiones

6.1 *Análisis de los indicadores*

En los últimos años la red de observación del Mar Menor y del entorno en el Campo de Cartagena y la Rambla del Albuñón ha mejorado significativamente, de forma, que en la actualidad se dispone de una amplia y detallada red de observación del Campo de Cartagena y del Mar Menor, formada por el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura, la red de control semanal de Esamur y el monitoreo del lago realizado por el Canal Mar Menor. Los datos utilizados en este informe son: de la red SAIH: los datos en tiempo real correspondientes a la estación de aforos de la desembocadura de la Rambla del Albuñón y los marcos situados en la Rambla aguas arriba, los niveles piezométricos en la red de piezómetros que rodea el Mar Menor y los datos de la red de bombeo de los drenes y el bombeo del Albuñón; de la red de Esamur: los datos semanales de caudales, concentración de nitratos y conductividad eléctrica del agua de las ramblas que llegan al Mar Menor; y del Canal Mar Menor los datos de concentración de clorofila en el lago.

Gracias a la amplia red de observación existente en la actualidad, se puede observar que **desde mayo de 2020 los valores de clorofila se han situado prácticamente en todo momento por debajo de los 2 $\mu\text{gCl}/\text{l}$** , y especialmente de febrero de 2021 y hasta julio de 2021 la concentración media de clorofila se sitúa entre 0.5 y 1 $\mu\text{gCl}/\text{l}$, valor muy por debajo del valor de referencia 2 $\mu\text{gCl}/\text{l}$. En este periodo, **desde mayo de 2020 coinciden dos circunstancias: la puesta en funcionamiento del bombeo del Albuñón y la no existencia de crecidas significativas en la Rambla del Albuñón**, que pueden haber contribuido a la recuperación del ecosistema y a aumentar, a su vez, la capacidad de asimilación del nitrógeno por el mismo. Sin embargo, desde el inicio del mes de agosto de 2021 la concentración media de clorofila ha superado el nivel de referencia de 2 $\mu\text{gCl}/\text{l}$ situándose en valores medios de 3 $\mu\text{gCl}/\text{l}$. En la zona sur del Mar Menor el contenido de oxígeno a 4 metros de profundidad se ha situado en valores por debajo de 4 mgO_2/l , llegando a valores cercanos a cero en 19 de agosto de 2021. En este mes, entre el 16 y 22 de agosto, se ha producido la mortandad masiva de especies en la zona sur del Mar Menor.

El análisis realizado muestra **tres factores principales en el riesgo de eutrofización del lago del Mar Menor: las crecidas y los aportes de nitrógeno durante las crecidas; los aportes de nitrógeno en condiciones medias y la capacidad asimilación del nitrógeno del Lago**, la biodegradación del nitrógeno.

Las crecidas producidas en la cuenca vertiente al Mar Menor, siendo la principal la Rambla del Albuñón, producen un gran aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y otros elementos al Mar Menor en un espacio temporal muy corto, normalmente en 24-48 horas. Las dos crecidas monitoreadas con detalle en 2020 en la Rambla del Albuñón, la crecida del 7 de marzo de 2021 y la crecida del 23 de mayo de 2021, han aportado en ambos casos aproximadamente

0.2 hm³ de agua, estimándose que si se considera una concentración media de 30 mgNO₃/l se produce un aporte de nitrato al lago de 6 tn en cada evento, procedente del lavado del suelo. En ambos casos, tras la crecida, se ha producido durante las semanas siguientes un ligero aumento, de aproximadamente 0.5 µgCla/l, en la concentración media de clorofila en el agua del Mar Menor, requiriendo el Lago de un mes, aproximadamente, para asimilar el aporte de nitrógeno y volver a las condiciones previas. Crecidas mayores de 2 hm³, como las producidas en años anteriores, podrían representar un aporte de nitrato al Lago de 60 tn, procedente del lavado del suelo, que produciría un aumento en la concentración de clorofila, y posiblemente, durante mayor tiempo. Finalmente, crecidas extremas, como la de la DANA Gloria de 2020 que se estima que realizaron un aporte de agua de 20 hm³ podría suponer un aporte muy elevado de nitrato al Lago en un intervalo temporal muy reducido.

Los aportes durante **las crecidas aumentan significativamente el riesgo de eutrofización del Lago**, tras la crecida, **pero además pueden degradar** el ecosistema, reduciendo temporalmente, meses o años dependiendo de la magnitud de la crecida, **la capacidad de asimilación de nitrógeno** y comprometiendo el sistema para las siguientes crecidas. En este sentido, **la aparición de crecidas consecutivas en el tiempo**, como las producidas en 2015-2016, septiembre 2015, julio 2016 y diciembre 2016, o las producidas en 2019-2020, septiembre 2019, diciembre 2019 y septiembre de 2020 (DANA Gloria), **aumentan significativamente el riesgo de eutrofización, dado que las primeras crecidas reducen la capacidad de asimilación de nitrógeno del sistema haciéndolo más vulnerable para hacer frente a crecidas posteriores.**

En relación al segundo factor, los **aportes de nitrógeno en condiciones medias** consisten en los aportes que se producen por la Rambla del Albuñón, correspondiente a agua subsuperficial y subterránea del Campo de Cartagena con una concentración media de 180 mgNO₃/l, y los aportes directos de las aguas subterráneas al Mar Menor con una concentración media de 250 mgNO₃/l. En relación a los aportes de aguas subterráneas, se ha detectado la elevación de los niveles piezométricos de la zona sur del Mar Menor, zona de Los Nietos, durante los meses de junio, julio y agosto, periodo en el que se produce la campaña de riego, lo que puede aumentar los drenajes subterráneos con elevada concentración de nitrato en la zona sur. Esta relación no se detecta en el resto de piezómetros del perímetro del Mar Menor.

Con estas concentraciones de nitrato, en los aportes de la Rambla y del borde litoral del Mar Menor, debidas a la concentración de nitrato en el acuífero del Campo de Cartagena, se estima que se producen unos aportes de nitrato al Mar Menor 1900 tnNO₃/año para un volumen medio de 9 hm³/año, pudiendo variar entre 1,200 tnNO₃/año (con volumen de 6 hm³/año) y 2700 tnNO₃/año (con volumen de 12 hm³/año). Las simulaciones realizadas con estos aportes muestran valores por encima de 2 µgCla/l en prácticamente todas las situaciones, incluso con altas capacidades de biodegradación de nitrato en el Lago, lo que representa una situación de elevado riesgo de eutrofización en el Lago. La puesta en funcionamiento del bombeo del Albuñón con 1.5 hm³/año, se estima que

reduce los aportes de nitrato en 375 tNO₃/año, que representa una reducción del 20% de los aportes totales de nitrato, permitiendo que se reduzca el riesgo de eutrofización en condiciones normales siempre que se cuente con una gran capacidad de biodegradación de nitrógeno en el Lago. Sin embargo, sí a consecuencia de la aparición de crecidas o de otras causas se redujera la capacidad de biodegradación del nitrógeno en el Lago la concentración de clorofila aumentaría y por lo tanto el riesgo de eutrofización en el lago aumentaría significativamente.

El tercer factor, **la capacidad de asimilación del nitrógeno en el Lago**, la biodegradación del nitrógeno, se muestra como **un elemento fundamental** en la determinación de la concentración de clorofila y por lo tanto en el riesgo de eutrofización. Por otra parte, este factor es el **que presenta mayores las incertidumbres** y complejidad, dado que depende del ecosistema natural del Mar Menor y no se dispone de información sistemática para poder analizar estas variables y establecer relaciones temporales. Factores que pueden favorecer la capacidad de biodegradación del nitrógeno, y por lo tanto reducir el riesgo de eutrofización son: la mayor abundancia de la vegetación profunda en el lago (Cymodocea nodosa y Caulerpa prolifera), el aumento de la población de Nacra (Pinna nobilis) y otros filtradores, y el aumento de la biomasa producida en el lago, peces, etc... Por otra parte, los factores que pueden reducir la capacidad de asimilación del nitrógeno del sistema pueden ser: la mayor presencia de algas en superficie que produzca la desaparición de la vegetación profunda y los efectos de las crecidas.

6.2 Recomendaciones

A continuación, se establecen una **serie de recomendaciones en los siguientes ámbitos de actuación**: mejoras en la red de observación, acciones para la reducción de los aportes de nitrógeno en condiciones medias y durante las crecidas y acciones relativas a la mejora del conocimiento.

6.2.1 Ampliación de la red de observación

La red de observación ha mejorado significativamente en los últimos años, y en este sentido se recomienda que la **red de observación actual se complete con**:

- Información semanal/mensual o en tiempo real de la **concentración de nitrógeno (nitrato) y fósforo (fosfato) en el Lago**, para poder evaluar su evolución en el tiempo y su relación con el contenido de clorofila en el Lago.
- Monitorear sistemáticamente y caracterizar los **aportes de nitrógeno y fósforo** y otros parámetros del agua **durante las crecidas**.
- Dada la gran importancia de la capacidad de biodegradación del nitrógeno en el Lago es muy importante disponer de información sobre el estado biológico del ecosistema del lago y su evolución, incluyendo **indicadores temporales de la evolución de la vegetación profunda en el lago (Cymodocea nodosa y Caulerpa prolifera), población de Nacra (Pinna nobilis) y biomasa producida en el lago**, como la cantidad anual de capturas.

6.2.2 Reducción del riesgo de eutrofización

En base a los análisis realizados, los **tres elementos fundamentales para reducir el riesgo de eutrofización del Mar Menor y aumentar la resiliencia del Mar Menor**, la capacidad de recuperación, frente a futuras crecidas son:

- **La reducción de la concentración de nitrato en el Campo de Cartagena**, especialmente en la zona más próxima al Mar Menor.
- **Aumentar el volumen bombeado de la Rambla del Albujón.**
- **La reducción del aporte de nitrógeno durante las crecidas**, mediante la reducción del contenido de nitrógeno en el suelo.

En relación a la reducción del contenido de nitrato en el acuífero del Campo de Cartagena 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 **195 kgN/ha** para conseguir una recuperación total de la masa y alcanzar el buen estado y de **210 kgN/ha** recuperar la masa hasta situarla en la zona de riesgo. 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 155 kgN/ha/año para el primer caso y de 170 kgN/ha/año para el segundo caso**.

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 155 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 155 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% en el primer caso del 90% en el segundo caso**, 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 en el primer caso y por debajo de 37.5 mgNO₃/l en el segundo caso. 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, mientras que se requiere una reducción del 90% para conseguir el buen estado de la masa de agua**. 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. La aplicación de una **reducción del 90%**, aceleraría el proceso de recuperación del acuífero del Campo de Cartagena, las concentraciones en **el conjunto del acuífero descenderían de 100 mgNO₃/l en 6 años y en 8 años en la zona de contacto con el Mar Menor**, bajándose del límite de **50 mgNO₃/l después de 15 años** tras la puesta en funcionamiento de las medidas.

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**.

En relación al segundo elemento, para reducir los aportes de nitrato al Lago en condiciones medias tiene un papel fundamental la mejora y el aumento del volumen bombeado desde la Rambla del Albuñón y del resto de drenes, que en la actualidad es de 1.5 hm³/año. Los datos indican que podría mantenerse en condiciones actuales de funcionamiento, si no se producen averías, un caudal de 90 l/s desde el bombeo de la Rambla del Albuñón, que representa un volumen anual 2.8 hm³/año procedente de los drenes y del caudal que circula en la actualidad por la Rambla del Albuñón. Por otra parte, los datos también indican que el caudal que puede bombearse a la Comunidad de Regantes del Campo de

Cartagena puede alcanzar los 125 l/s, lo que representaría, con un caudal continuo todo el año, un volumen de 3.9 hm³/año, procedente del bombeo del Albuñón, del resto de drenes y de la EDAR de San Pedro.

El aumento en el volumen enviado a la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena puede verse limitado por los elevados contenidos de sales del agua procedente de la Rambla del Albuñón, el resto de drenes y de la EDAR de San Pedro, por lo que la reapertura de la desalobradora del Mojón, con una capacidad de agua bruta de 3.1 hm³/año y que produce un agua producto de 2.2 hm³/año, puede reducir el contenido de sales y hacer posible el envío de volúmenes mayores a los actuales. La reapertura de la desalobradora requiere, a su vez, poder verter las salmueras residuales, ya sea mediante autorización de vertido, por ejemplo al canal que rodea las Salinas de San Pedro, o directamente al mar mediante un emisario submarino.

Finalmente, respecto al tercer elemento, la reducción del aporte de nutrientes durante las crecidas, el cual es un factor determinante en el riesgo de eutrofización, debido a que en intervalo muy reducido de tiempo introduce una gran cantidad de nitrógeno en el lago y, por otro lado, puede ser el principal causante de la reducción en la capacidad de biodegradación del nitrógeno en el Lago, **la reducción en la aplicación de fertilizantes también genera una reducción en la cantidad de nitrógeno en el suelo, el cual puede obtenerse en 2 años tras la aplicación de las medidas**, y contribuye a reducir de forma significativa la cantidad de nitrógeno aportado durante las crecidas y de esta forma reducir de forma muy significativa el riesgo de eutrofización del Lago..

Los resultados de las simulaciones muestran como el aumento en el volumen extraído por el bombeo del Albuñón reduce el riesgo eutrofización, tanto si se extraen 2.5 hm³/año como en mayor medida si se extraen 4.5 hm³/año. Sin embargo, únicamente con esta medida el sistema sigue siendo vulnerable en el caso de que se reduzca la capacidad de biodegradación del sistema, debido por ejemplo a la aparición de crecidas de forma consecutiva. La aplicación conjunta tanto de un incremento en el volumen bombeado desde el Albuñón, como de la recuperación del acuífero, gracias a una reducción en la concentración de nitrato en el acuífero y especialmente en el contacto con el Mar Menor, reduce de forma progresiva el riesgo de eutrofización en el Lago incluso en situaciones en las que se pueda ver reducida la capacidad de biodegradación del nitrógeno en el Lago, por ejemplo por la aparición de crecidas de forma consecutiva.

Además, la reducción en la aplicación de nitrógeno produce, también, la reducción en el contenido de nitrógeno en el suelo, además de forma muy rápida, en 2 -3 años se produce esta reducción. En este sentido, cuando se producen las crecidas una cantidad significativamente menor de nitrógeno alcanza el Lago, reduciéndose el aporte de nutrientes y por lo tanto el riesgo de eutrofización.

6.2.3 Mejora del conocimiento

Las acciones relativas a la mejora del conocimiento se establecen en:

- Gracias a la significativa mejora de la red de observación en los próximos años será posible **analizar periódicamente en el Mar Menor la relación entre las crecidas y la evolución de la clorofila en las semanas/meses siguientes**, para establecer el patrón de comportamiento y la capacidad de asimilación de los aportes de nitrógeno por el Lago.
- **Mejorar el conocimiento en relación a la capacidad de biodegradación del nitrógeno en el Mar Menor.** Analizar los elementos biológicos que determinan la capacidad de biodegradación de nitrógeno y reducir la incertidumbre en la estimación de esta capacidad.
- **Modelización de detalle del comportamiento del Mar Menor.** La construcción de un modelo matemático que relacione los aportes de nitrógeno con la respuesta biológica del lago, la existencia de vegetación en profundidad y proliferación de algas en superficie, podría ayudar en la mejora del conocimiento y en la toma de decisiones.
- **Analizar la relación entre el ascenso de los niveles piezométricos en la zona sur, Los Nietos, y la aplicación del agua de riego.** Con el análisis realizado se ha detectado una relación entre la campaña de riego y la elevación de los niveles piezométricos en la zona sur, zona de Los Nietos y Mar de Cristal. Esta elevación puede aumentar las salidas de aguas subterráneas del acuífero del Campo de Cartagena con elevadas concentraciones de nitrato al Mar Menor en esta zona, pudiendo representar un incremento en el riesgo de eutrofización en la zona sur del Mar Menor.

7 Referencias

- Lazzari P., Solidoro C., Salon S., Bolzon G., 2016. *Spatial variability of phosphate and nitrate in the Mediterranean Sea: A modelling approach*. *Deep-Sea Research I* 108(2016)39–52
- 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, UPV, 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*.