



**MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO**

**Confederación
Hidrográfica del Guadalquivir**

| Documento firmado electrónicamente | | |
|---|--|------------------------|
| Firmado por | Fecha de firma | Sello de tiempo |
| VICTOR JUAN CIFUENTES SANCHEZ | 21/05/2021 09:44:26 | SIN SELLO |
| URL de validación | https://sede.magrama.gob.es https://pfirma.chguadalquivir.es/gestorcsv | |
| Código CSV | | |
| MA00100UZH0DX0TXI0WTP3JMEL16VT3BGO | | |

Este documento es una copia en soporte papel de un documento electrónico según lo dispuesto en el artículo 27 de la Ley 39/2015 del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas y la Norma Técnica de Interoperabilidad de Procedimientos de copiado auténtico y conversión entre documentos electrónicos.

INFORME DE ESTADO DE LOS ACUIFEROS DEL ENTORNO DE DOÑANA



AÑO HIDROLOGICO 2019-2020

Mayo de 2021



ÍNDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ANTECEDENTES Y OBJETIVOS..... | 1 |
| 2 | INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 3 | ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO..... | 2 |
| 4 | ANÁLISIS PIEZOMÉTRICO..... | 4 |
| 4.1 | RED PIEZOMÉTRICA..... | 4 |
| 4.2 | INDICADOR PIEZOMÉTRICO..... | 5 |
| 4.3 | ANÁLISIS..... | 6 |
| 5 | APLICACION A LAS MASB DEL PLAN HIDROLÓGICO DE 2016..... | 10 |
| 6 | SEGUIMIENTO DE LA CONCENTRACION DE NITRATOS..... | 12 |
| 7 | SEGUIMIENTO DE LAS LAGUNAS PERIDUNARES DEL PARQUE NACIONAL..... | 14 |
| 8 | CONCLUSIONES..... | 16 |

ANEXOS

- Anexo nº I. Datos pluviométricos.**
- Anexo nº II. Red Piezométrica.**
- Anexo nº III. Análisis de la MASb. Evolución piezométrica. Índices de Estado.**
- Anexo nº IV. Seguimiento de las concentraciones de nitratos.**
- Anexo nº V. Planos.**



1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

El conocimiento hidrogeológico del acuífero Almonte – Marismas se inicia en los años sesenta con la realización del Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir y Región Suroccidental de Huelva (Proyecto del Guadalquivir – FAO), para cuya ejecución fueron designados la FAO por parte de Naciones Unidas y el IGME por parte del Gobierno de España.

Desde entonces se establecen y explotan redes para el seguimiento y control de la evolución de los niveles piezométricos y la calidad de las aguas subterráneas. El IGME que dispone de datos desde el año 1966 realizó un seguimiento ininterrumpido desde principios de los años 80 hasta diciembre del año 2001, aunque tras la entrada en vigor de la Ley 29/1985 (Ley de Aguas), por la que se transfirieron las competencias de las aguas subterráneas a las Confederaciones Hidrográficas, el control se abordó mediante convenios establecidos con la Dirección General que aglutinaba a dichos Organismos de Cuenca.

A partir de 1991 la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir inició un programa de seguimiento de niveles piezométricos del área asumiendo su control directo, que culminó en 1995 con el establecimiento de la red de control oficial elaborada en el seno del Grupo de Investigación del Patronato del Parque Nacional de Doñana y en la que en este año 2019/20 se ha medido un total de 261 puntos, distribuidos por todo el territorio. Esta red incluye sondeos piezométricos ejecutados por el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP), el Instituto Andaluz de Reforma Agraria (IARA), el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la propia Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). El control de niveles piezométricos se realiza con periodicidad mensual por personal del Servicio de Aguas Subterráneas e Hidrología.

El presente informe tiene por objeto analizar e interpretar cuantitativamente la información piezométrica disponible del año hidrológico 2019/20. El análisis utiliza un indicador, con valores acotados entre 1 y 0, en sectores definidos en base a criterios hidrogeológicos, de distribución regional de las extracciones y de ubicación de los puntos de la actual red de control. Los valores obtenidos para el presente año se analizan en el marco de un período de estudio 1993/94-2019/20, para el que se dispone de series completas en todos los puntos de la red de control. También se elaboran mapas de detalle de estos indicadores para el año anterior (2018/19) y para el año 2008/09, con una pluviometría anual comparable (417,9 mm), así como también el año 1994/95, que refleja la situación tras un largo y severo período de sequía (1991-1995). Dichos mapas se recogen en el Anexo V.

Además en el presente informe se analizan 84 medidas de concentración de nitratos tomadas en 43 puntos entre Febrero de 2019 y Febrero de 2021. Aunque parte de la información no corresponde al año 2019/20 la consistencia de los datos entre campañas y la importancia de la cuestión aconseja su uso. Los datos se encuentran en el Anexo IV.



2 INTRODUCCIÓN.

La hasta 2016 denominada masa de agua subterránea 05.51 "Almonte Marismas" (MASb en lo sucesivo) ocupa una extensión de 2.409 km² en el extremo Oeste de la cuenca del Guadalquivir. Está formada por varios acuíferos de naturaleza detrítica superpuestos y conectados entre sí. A grandes rasgos, se compone de un acuífero aluvial multicapa de limos, arenas y gravas de origen fluvio-deltaico y marino que aflora en la mitad occidental de la MASb (zona del acuífero libre) y se sitúa en la oriental bajo una gruesa capa de arcillas de baja permeabilidad en las Marismas (zona del acuífero confinado). A este sistema se superpone otro de arenas de origen eólico que cubre todo el frente costero y profundiza hasta el Arroyo de las Marismas y el Arroyo del Partido desde su confluencia con el anterior.

La recarga se produce a través de las arenas eólicas y de la parte libre del acuífero detrítico. El flujo subterráneo tiene una dirección general NW-SE, encontrándose el acuífero en carga en situación natural bajo las arcillas de la Marisma.

El Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir, publicado por RD 1/2016, subdivide a la MASb 05.51 "Almonte- Marismas" en cinco nuevas MASb, en base a criterios hidrogeológicos (depósitos aluviales o eólicos, carácter libre o confinado) y de ordenación del territorio (Plan de la Corona Forestal, inclusión en el Parque Nacional) más homogéneas en cuanto a su estado, permitiendo focalizar la aplicación del programa de medidas. No obstante, se ha continuado con la división en sectores a fin de permitir la comparabilidad con los informes anteriores.

3 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.

Para el análisis del estado del acuífero es necesario estudiar previamente la pluviometría, principal componente de recarga dentro del ciclo hidrogeológico. La base de datos del Servicio de Aguas Subterráneas e Hidrología de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir tiene datos a nivel mensual desde octubre de 1970 hasta la actualidad que proceden de estaciones ubicadas en el Espacio Natural de Doñana y su entorno. La precipitación media es de 531 mm. Los datos se presentan en la Figura 1 y pueden consultarse con más detalle en el Anexo I.

En este informe se usa el periodo de referencia de 27 años comprendido entre 1993/94 y 2019/20 por la mayor cobertura de puntos de la Red piezométrica. La precipitación media es similar a la del periodo completo (538 mm frente a 531 mm), contiene los años extremos de la serie (1995/96, con 1.000 mm, y el 2004/05 con 176 mm) y un año (1994/95) que se considera el peor escenario climático conocido muy seco tras un periodo seco de 4 años.

En la figura 1 se distinguen dos periodos de gran sequía, entendiendo como tal cuatro años consecutivos con una pluviometría media inferior a dos tercios de la media de toda la serie (357 mm). El primero que se extiende desde 1979/80 a 1982/83 tiene una media de 305 mm y un mínimo de 186 mm en el año 1979/80. El segundo periodo se desarrolla entre 1991/92 y



1994/95, con una media de 348 mm y un mínimo de 240 mm en el año 1994/95. Destacan años muy secos aislados de 1998/99, 1978/89 y 2004/05, con 215 mm, 186 mm y 176 mm respectivamente. El último constituye el mínimo histórico de precipitación en la zona y en el periodo registrado.

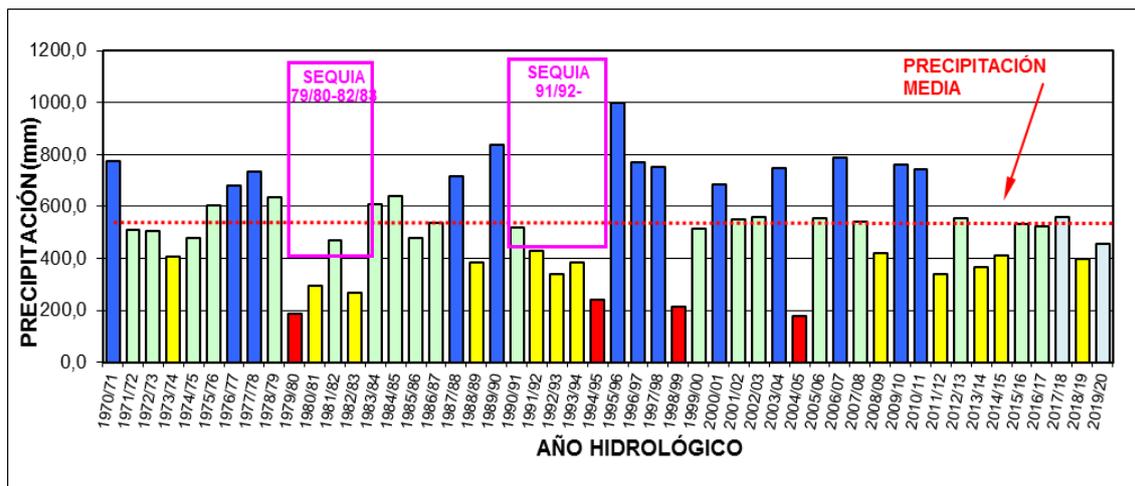


Figura 1. Serie histórica de precipitación

La precipitación del año hidrológico 2019/20 fue de 454 mm. (Octubre 2019 - Septiembre 2020). Si se consideran como secos y húmedos los años con precipitación un 20 % menor o mayor a la media, respectivamente, el año 2019/20 fue un año normal, aunque cercano al límite con el umbral de seco (431 mm). En cuanto a la distribución de las precipitaciones (Figura 2), el otoño fue muy seco, con menos del 50 % de la precipitación media (114 frente a 250), seguido por un invierno medio (171 mm, exactamente el promedio de esa estación), aunque con un mes de febrero extremadamente seco en el que solo se registraron 1,4 mm. La primavera fue lluviosa (147 mm frente 84 mm de media). El estiaje fue ligeramente seco, con 23 mm frente a 33 de media. El año hidrológico 2019/20 prolonga un año mas el periodo seco en la zona: El último año húmedo en Doñana fue el 2010/2011, con 742 mm. Desde entonces ha habido cuatro secos (2011/12, 2013/14 y 2014/15 y 2018/19) y cinco normales (2012/13, 2015/16, 2016/17, 2017/18 y 2019/20), con una media de 460 mm. Para dar con un periodo de nueve años más seco hay que remontarse al 1978/79-1986/87, con 457 mm.



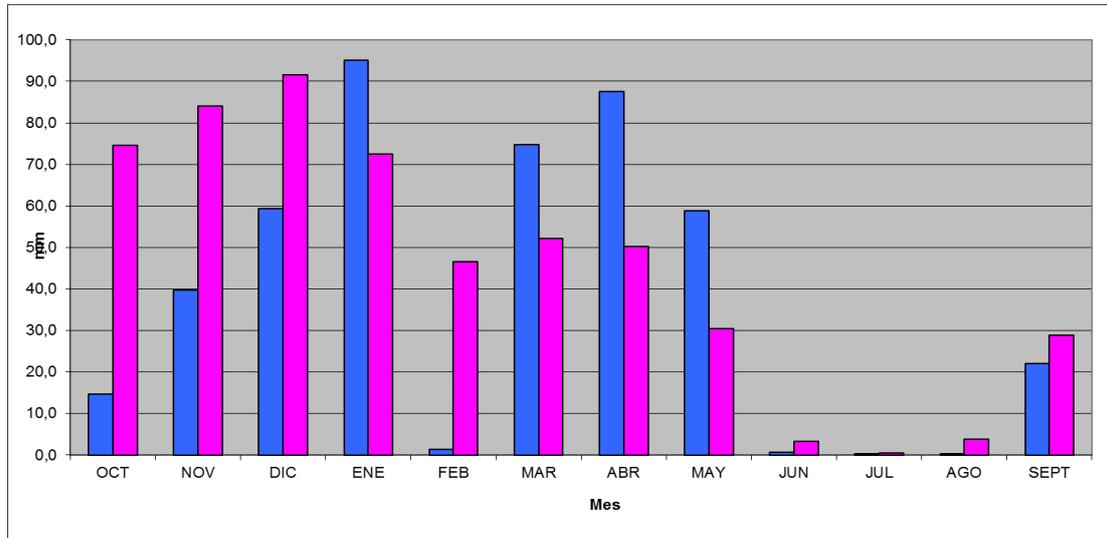


Figura 2. Distribución mensual de la pluviometría en 2019/20 (azul) y en el año medio (morado)

4 ANALISIS PIEZOMETRICO.

4.1 RED PIEZOMÉTRICA.

En este apartado se evalúa el estado global e individual del conjunto de sectores que formaban la antigua masa de agua 05-51 "Almonte-Marismas". Aunque el nuevo Plan Hidrológico del Guadalquivir la ha dividido en cinco MASb, a efectos de este informe se ha optado por mantener el estudio conjunto y por sectores para facilitar la comparación con los anteriores. No obstante, se incluye un apartado en que se hace un somero análisis de la aplicación de los indicadores utilizados a las nuevas MASb. Entre los 261 datos medidos este año en la red piezométrica especial de Doñana de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir se han seleccionado para este informe total de 163 puntos con serie continua desde el año 1993/94. Se trata de una cobertura sin comparación en el conjunto de las masas de agua subterránea de la demarcación hidrográfica, que se controlan con la red piezométrica general, con 207 puntos para el resto de las MASb de la cuenca que ocupan un total de 31.483 km² y con series de datos que frecuentemente solo son continuas desde 2007. A pesar de ello, se ponen de manifiesto dos limitaciones que deben tenerse en cuenta al valorar los resultados del presente informe:

- Dada la antigüedad de algunos aprovechamientos, el periodo de referencia de 27 años utilizado no recoge el estado natural de la piezometría en algunas zonas.
- Hay sectores con déficit de piezómetros o cuyos puntos no son suficientemente representativos, como sucede en el denominado sector Cabecera Sur de la Rocina, donde el único dato disponible se sitúa en el extremo occidental del sector, cerca de la divisoria con el Tinto. En la medida de lo posible, se ha solventado completando el diagnóstico con piezómetros de serie más corta (a partir de 2008).



Como ya se ha indicado, se mantiene la sectorización de los análisis anteriores, en base a las características de los materiales y su funcionamiento hidrogeológico, distribución de las principales extracciones de aguas subterráneas y ubicación de puntos de control. En el anexo número V se incluyen los mapas de situación de los puntos de la red de control piezométrico, así como su distribución por sectores. Se han acometido una serie de mejoras en la red:

- Reasignación del piezómetro 104180014. Se ha modificado del sector Cabecera Norte de la Rocina al sector Sur del Arroyo de la Rocina (asignación errónea).
- Eliminados de la serie los piezómetros 104270006, 104280036 y 104280048 (Zona Costera), sin datos desde 2017 en el primer caso y desde 2015 en los dos últimos, estas lagunas distorsionan la media del sector.
- Por la misma razón se eliminan de la serie en el sector Ecotono Norte los piezómetros 114220048 y 114220049, sin dato desde 2015.

4.2 INDICADOR PIEZOMETRICO.

Los índices de estado cuantitativo de las aguas subterráneas o índices de llenado se calculan a partir de una serie de lecturas del nivel piezométrico con periodicidad mensual y requieren que la longitud de la serie sea lo suficientemente larga como para incluir periodos de aguas altas y bajas, ya que estos índices intentan señalar lo que representa cada medida respecto al máximo y al mínimo registrado y que se asume que representan los extremos máximo y mínimo del acuífero que se analiza.

Se han calculado los índices de estado cuantitativo de las aguas subterráneas en cada uno de los puntos de la red de control piezométrico para los que se tienen series de datos de medida de los niveles con una antigüedad tal que recoja el año muy seco 1994/95. El indicador elegido ya se ha usado en informes piezométricos de esta Confederación Hidrográfica, así como en otros organismos de cuenca y en la Dirección General del Agua. Está acotado entre 1 y 0 y se basa en la comparación de datos del mismo mes del año. Se usa como mes de referencia el mes más seco del estiaje, considerando tal el periodo comprendido entre mayo y septiembre como representativo de aguas bajas, a fin de localizar el mínimo real en las zonas con máximas extracciones en primavera. El indicador se calcula de la siguiente forma:

- Si $P_i < P_{med}$ $I_e = 0.5 \times (1 + (P_i - P_{med}) / (P_{min} - P_{med}))$
- Si $P_i > P_{med}$ $I_e = (P_i - P_{max}) / (2 \times (P_{med} - P_{max}))$

Donde:

- P_i : Valor de la profundidad del agua en el mes de cálculo.
- P_{med} : Profundidad media en toda la serie para el mes de cálculo.



- Pmin: Profundidad mínima en toda la serie para el mes de cálculo.
- Pmax: Profundidad máxima en toda la serie para el mes de cálculo.

A la media aritmética de los valores corresponde un valor de 0,5 y a los valores de máxima y mínima profundidad del agua de la serie corresponden 0 y 1, respectivamente.

Este indicador se calcula para cada piezómetro, independientemente del acuífero del que capte (destrítico o eólico) y mediante su agrupación se estima el estado cuantitativo para sectores, masas de agua subterránea o el conjunto de acuíferos de Doñana. El indicador se ha calculado también para la serie pluviométrica, ya que la lluvia es la principal fuente de recarga de la MASb, por lo que la piezometría y las precipitaciones deben presentar una buena correlación que, no obstante, e está afectada por la extracción de aguas subterráneas y, en menor medida, por factores hidrogeológicos.

La clasificación del índice de estado es la siguiente:

- $le = 1$ Máximo Nivel Histórico.
- $0,5 < le < 1$ Situación de Normalidad
- $0,3 < le < 0,5$ Situación de Prealerta
- $0,15 < le < 0,3$ Situación de Alerta.
- $0 < le < 0,15$ Situación de Alarma.
- $le = 0$ Mínimo Nivel Histórico.

Todos los datos y los valores del indicador de estado (le) se encuentran en el Anexo II. En el Anexo nº III se realiza un examen pormenorizado de cada uno de los sectores y de sus piezómetros.

4.3 ANALISIS.

4.3.1 ANÁLISIS DEL VALOR DEL INDICADOR.

El estado general de la masa, entendiendo como tal el valor medio del indicador en los 163 piezómetros con dato en el año 2019/20 es de 0,39 (PREALERTA), el mismo que el obtenido al aplicarlo a la precipitación. Sin embargo, esta situación dista mucho de ser homogénea en el conjunto de los acuíferos y en algunos casos no se justifica fácilmente en base a las extracciones conocidas. En la Tabla 1 se detallan los valores del indicador para los distintos sectores.

A grandes rasgos se agrupan en dos categorías, que pueden verse en la Figura 3:



- Sectores con un estado piezométrico acorde a la pluviometría¹: Sur del Arroyo de la Rocina, Vera-Retuerta, Zona Norte, Sur de Villamanrique (confinado), Arroyo de la Rocina, Lagunas de Doñana, Zona Costera y Marismas. Tienen un valor medio de 0,48 (PREALERTA). En este grupo hay sectores con un bajo grado de explotación (Lagunas de Doñana, Marismas y Vera-Retuerta) y otros que soportan importantes extracciones: la zona confinada del acuífero de Villamanrique, el Arroyo de la Rocina, la Zona Norte y el sector Sur del Arroyo de la Rocina. Este último es el sector con un valor más alto (0,62; NORMALIDAD), mejor que el esperable de la precipitación y probablemente relacionado con el cese de las extracciones.
- Sectores con un estado piezométrico peor que el que puede esperarse de la pluviometría del año hidrológico: Zona Costera, Norte del Arroyo de la Rocina, Abalarío, Sur de Villamanrique-acuífero libre, Ecotono Norte, Cabecera Norte de la Rocina, Sector Intermedio, Norte del Rocío y Cabecera Sur de la Rocina: Tienen un valor medio de 0,21 (ALERTA). Comprende principalmente sectores con grandes extracciones para el regadío, en ocasiones elevadas en relación con los recursos disponibles, lo que provoca un desequilibrio entre ambos, pero también uno con escasa explotación como Abalarío y otro que solo tiene extracción para abastecimiento urbano (Zona Costera).

| SECTOR | le | Calificación | Situación | Nº datos |
|--|------|--------------|---------------------------|----------|
| CONJUNTO TODOS LOS PIEZOMETROS | 0,39 | Prealerta | Acorde a la pluviometría | 163 |
| PLUVIOMETRIA | 0,39 | Prealerta | Año medio | 1 |
| SUR ARROYO DE LA ROCINA | 0,62 | Normalidad | Mejor que la pluviometría | 20 |
| ECOTONO VERA RETUERTA | 0,50 | Normalidad | Acorde a la pluviometría | 46 |
| ZONA NORTE | 0,41 | Prealerta | Acorde a la pluviometría | 3 |
| SUR DE VILLAMANRIQUE (CONF) | 0,40 | Prealerta | Acorde a la pluviometría | 7 |
| ARROYO DE LA ROCINA | 0,40 | Prealerta | Acorde a la pluviometría | 16 |
| LAGUNAS DE DOÑANA | 0,36 | Prealerta | Acorde a la pluviometría | 16 |
| MARISMAS | 0,30 | Prealerta | Acorde a la pluviometría | 3 |
| ZONA COSTERA | 0,28 | Alerta | Peor que la pluviometría | 15 |
| NORTE ARROYO DE LA ROCINA | 0,27 | Alerta | Peor que la pluviometría | 8 |
| ABALARIO | 0,26 | Alerta | Peor que la pluviometría | 3 |
| SUR DE VILLAMANRIQUE (LIBRE) | 0,21 | Alerta | Peor que la pluviometría | 3 |
| ECOTONO NORTE | 0,15 | Alerta | Peor que la pluviometría | 12 |
| CABECERA NORTE DE LA ROCINA | 0,12 | Alerta | Peor que la pluviometría | 2 |
| SECTOR INTERMEDIO NROCIO - SUR VILLAMANRIQUE | 0,11 | Alarma | Peor que la pluviometría | 2 |
| NORTE DEL ROCIO | 0,11 | Alarma | Peor que la pluviometría | 6 |
| CABECERA SUR DE LA ROCINA* | 0,09 | Alarma | Peor que la pluviometría | 1 |

Tabla 1. Valor del indicador de estado, por sectores. * No representativo y no incluido en el análisis

¹ El mínimo valor del indicador le para la piezometría que se considera acorde con la pluviometría en 2019/20 es 0,29. El criterio para determinar esta coherencia se describe en el Anexo nº II.





Figura 3. Agrupación de sectores según el valor del le respecto al global.

4.3.2 ANÁLISIS DE LA TENDENCIA

Hasta ahora se ha analizado el valor del indicador en el año 2019/20 para el conjunto de los piezómetros y para cada uno de los sectores. Al determinar el estado de un piezómetro, un acuífero o una masa de agua también es relevante su tendencia. Su estudio requiere analizar la pendiente del indicador y del nivel piezométrico a lo largo de la serie temporal, así como su grado de significancia estadística. En coherencia con los protocolos científicos usuales se ha considerado una tendencia como estadísticamente significativa si lo es al 95 % (la posibilidad debida al azar es inferior al 5 %).

El resultado matiza el diagnóstico obtenido de los valores de le y su distribución, permitiendo distinguir situaciones debidas a un año concreto o un periodo corto de años de otras estructurales del acuífero. La tendencia de las precipitaciones muestra una ligera tendencia descendente, con un 0,38 % anual de pendiente. La evolución del índice de estado global del conjunto de los piezómetros en el periodo de estudio tiene una tendencia descendente algo mayor con una pendiente media de 0,86 % y es estadísticamente significativa con un grado de confianza del 95 % para el indicador y un 99% para los niveles.



| SECTOR | Pendiente Indicador | Significancia pendiente del indicador | Significancia pendiente de los niveles |
|---|----------------------------|--|---|
| PLUVIOMETRIA | -0,38% | NO | NO |
| CONJUNTO DE TODOS LOS PIEZOMETROS | -0,86% | SI AL 95% | SI AL 99 % |
| ECOTONO VERA RETUERTA | 0,12% | NO | NO |
| ABALARIO | -0,55% | NO | NO |
| ARROYO DE LA ROCINA | -0,67% | NO | NO |
| SUR DE VILLAMANRIQUE-ACUIFERO CONFINADO | -0,69% | NO | SI AL 99 % |
| ZONA NORTE | -0,88% | SI AL 95 % | SI AL 95 % |
| MARISMAS | -0,89% | SI AL 95 % | NO |
| LAGUNAS DOÑANA | -0,94% | NO | NO |
| ZONA COSTERA | -0,98% | SI AL 95 % | SI AL 95 % |
| SUR ARROYO DE LA ROCINA | -1,03% | SI AL 95 % | NO |
| CABECERA NORTE DE LA ROCINA | -1,44% | SI AL 95 % | NO |
| NORTE ARROYO DE LA ROCINA | -2,08% | SI AL 99 % | SI AL 99 % |
| ECOTONO NORTE | -2,35% | SI AL 99 % | SI AL 99 % |
| NORTE DEL ROCIO | -2,61% | SI AL 99 % | SI AL 99 % |
| SECTOR INTERMEDIO | -2,77% | SI AL 99 % | SI AL 99 % |
| SUR DE VILLAMANRIQUE-ACUIFERO LIBRE | -3,07% | SI AL 99 % | SI AL 99 % |
| CABECERA SUR DE LA ROCINA* | -4,59% | SI AL 99 % | SI AL 99 % |

Tabla 2. Tendencia por sectores: pendiente y significancia estadística. * No representativo y no incluido en el análisis

Por sectores la tendencia descendente alcanza la significancia estadística tanto para el indicador como para los niveles en los siguientes sectores: Zona Norte, Zona Costera, Norte del Arroyo de la Rocina, Ecotono Norte, Norte del Rocío, Sector Intermedio, Sur de Villamanrique-acuífero libre y Cabecera Sur de la Rocina. En los sectores Cabecera Norte de la Rocina, Sur del Arroyo de la Rocina y Marismas la tendencia es significativa para el indicador, pero no para el nivel y en Sur de Villamanrique-acuífero confinado, al revés. Se les considera en una situación intermedia.

El caso del Sector Sur de la Rocina es muy alentador, ya que está a punto de tener tendencia descendente estadísticamente significativa en los niveles, después de haberla dejado en el valor del indicador. Por el contrario, el Sector Marismas presenta por primera vez una tendencia estadísticamente significativa (en el indicador) y el Sector Zona Costera tiene por primera vez tendencia negativa tanto en niveles como en el indicador. Las gráficas de las tendencias de cada sector se adjuntan en el Anexo III Índices de estado y piezometría.



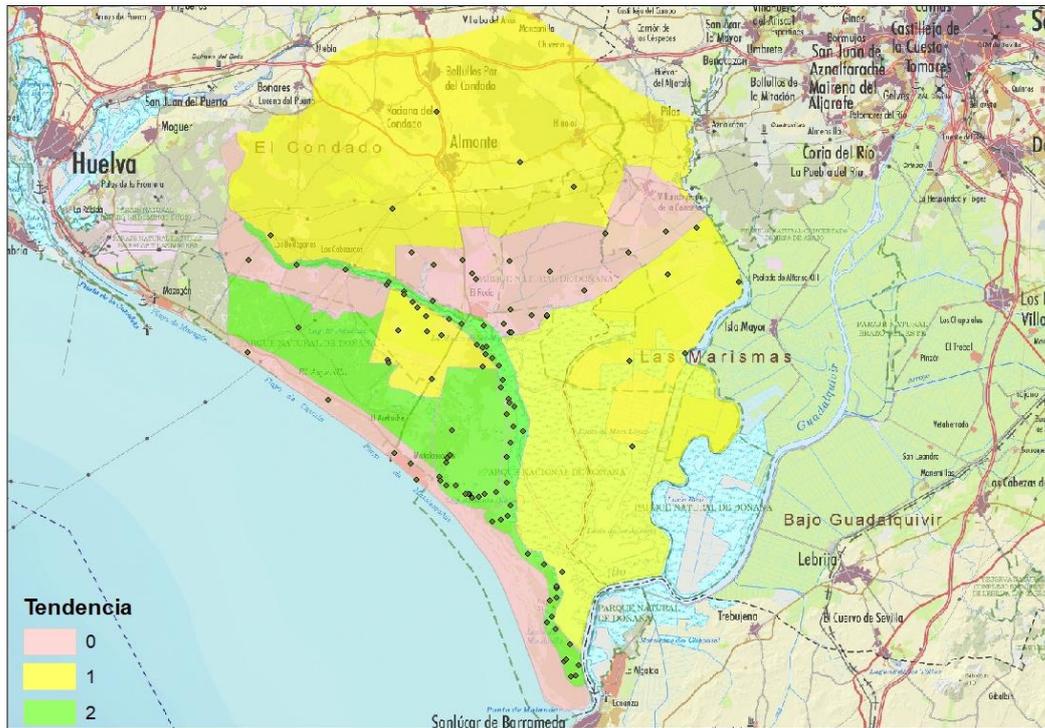


Figura 4. Agrupación de los sectores en función de la tendencia

5 APLICACION A LAS MASb DEL PLAN HIDROLGICO DE 2016.

Dado que desde el 16 de enero de 2016 está en vigor el Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir, publicado por RD 1/2016, y que dicha norma legal subdivide la MASb 05.51 "Almonte- Marismas" en cinco MASb, resulta precedente una referencia a las mismas e incluso un análisis, siquiera general, de la aplicación de los indicadores utilizados. Sin embargo, se mantiene el análisis por sectores, dada el mayor detalle que permite su menor tamaño, para su comparación con informes de años anteriores.

De un modo general y sencillo las MASb vigentes se describen como sigue:

- **MASb ES05MSBT000055101 "Almonte"**: parte del acuífero detrítico libre no incluido en el ámbito del Plan de la Corona Forestal del Norte de Doñana.
- **MASb ES05MSBT000055102 "Marismas"**: parte del acuífero confinado no incluido en el Parque Nacional de Doñana.
- **MASb ES05MSBT000055103 "Marismas de Doñana"**: parte del acuífero confinado incluido en el Parque Nacional de Doñana.
- **MASb ES05MSBT000055104 "Manto eólico de Doñana"**: Frente costero y conjunto de arenas eólicas hasta las MASb "La Rocina" y "Marismas de Doñana".



- **MASb ES050MSBT000055105 "La Rocina"**: parte del acuífero detrítico libre incluido en el ámbito del Plan de la Corona Forestal del Norte de Doñana.

En la Figura 5 se refleja la delimitación de las MASB y la clasificación del estado cuantitativo realizada en el Plan Hidrológico.

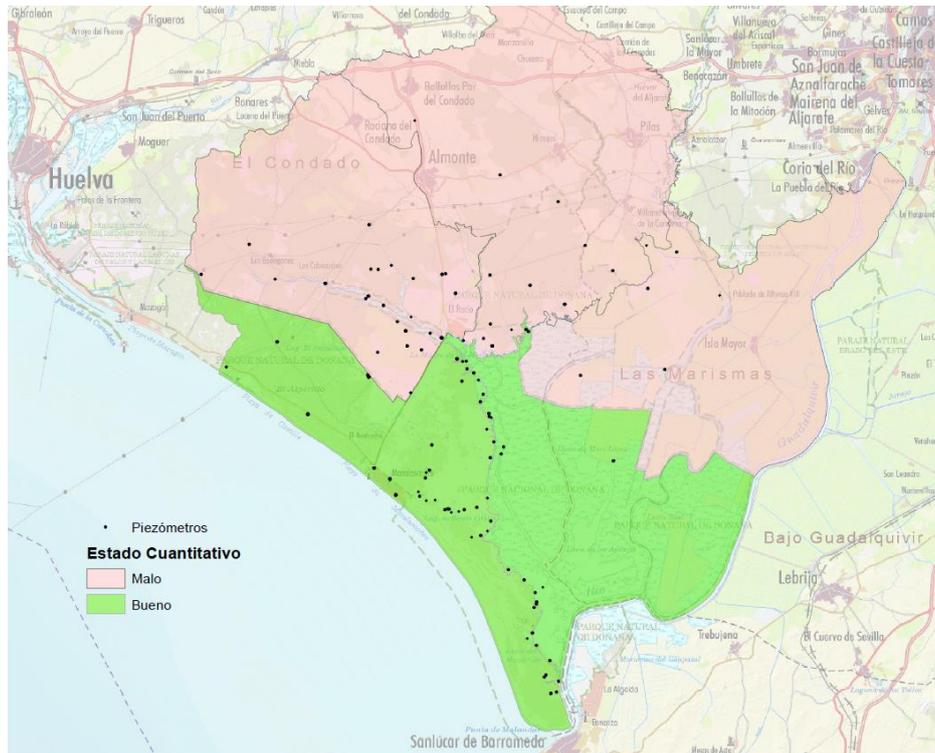


Figura 5. Masas de agua subterránea del RD 1/2016.

Los resultados sobre el indicador y la tendencia de le se reflejan en tabla siguiente:

| NOMBRE MASb | CODIGO MASb | Nº de datos | le 2020 | Pendiente le (%) 1994-2020 | Significancia estadística |
|------------------------|--------------------|-------------|---------|----------------------------|---------------------------|
| Almonte | ES050MSBT000055101 | 19 | 0,20 | -2,32 | SI AL 99 % |
| Marismas | ES050MSBT000055102 | 7 | 0,29 | -1,06 | SI AL 99 % |
| Marismas de Doñana | ES050MSBT000055103 | 27 | 0,43 | -0,17 | NO |
| Manto eólico de Doñana | ES050MSBT000055104 | 69 | 0,41 | -0,52 | NO |
| La Rocina | ES050MSBT000055105 | 46 | 0,43 | -1,18 | SI AL 99 % |
| Precipitación | TODAS | 1 | 0,39 | -0,35 | NO |

Tabla 3. Aplicación de los indicadores a las nuevas masas de agua subterránea



Los valores medios del indicador le son coherentes con la pluviometría en todas las masas de agua excepto en “Almonte”, aunque en “Marismas” está en el límite (0,29). Sin embargo, la tendencia descendente en “Almonte”, “Marismas” y “La Rocina” confirma la clasificación de estado del Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir, que sitúa a esas masas en MAL ESTADO CUANTITATIVO y en BUEN ESTADO CUANTITATIVO a “Manto Eólico de Doñana” y “Marismas de Doñana” (Figura 5). 1 En el momento de la redacción de este informe se trabaja en su actualización (plan del tercer ciclo), sin cambios relevantes en el diagnóstico a nivel de MASb.

6 SEGUIMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRATOS.

Se ha analizado la concentración de nitratos con 84 medidas tomadas entre Febrero de 2019 y Febrero de 2021 en 43 puntos situados en las masas de agua subterráneas de Doñana. Los datos pueden consultarse en el Anexo IV. La concentración promedio es de 35 mg/l y la mediana 7,2 mg/l. En la MASb Almonte hay dos puntos con valores anormalmente altos en relación a su entorno: el del punto 05.51.065 está en una zona sin actividad agraria intensiva asociada cercana, pero mantiene valores muy altos en los dos muestreos realizados, con una media de 397,93 mg/l. El otro es el 01.051.01.01, junto a la intersección de las carreteras A-481 y A-49, con un valor medio de 152 mg/l, también mantenido en tres muestreos. Sin esos dos datos la concentración media global bajaría a 22,8 mg/l y la mediana a 6,9 mg/l.

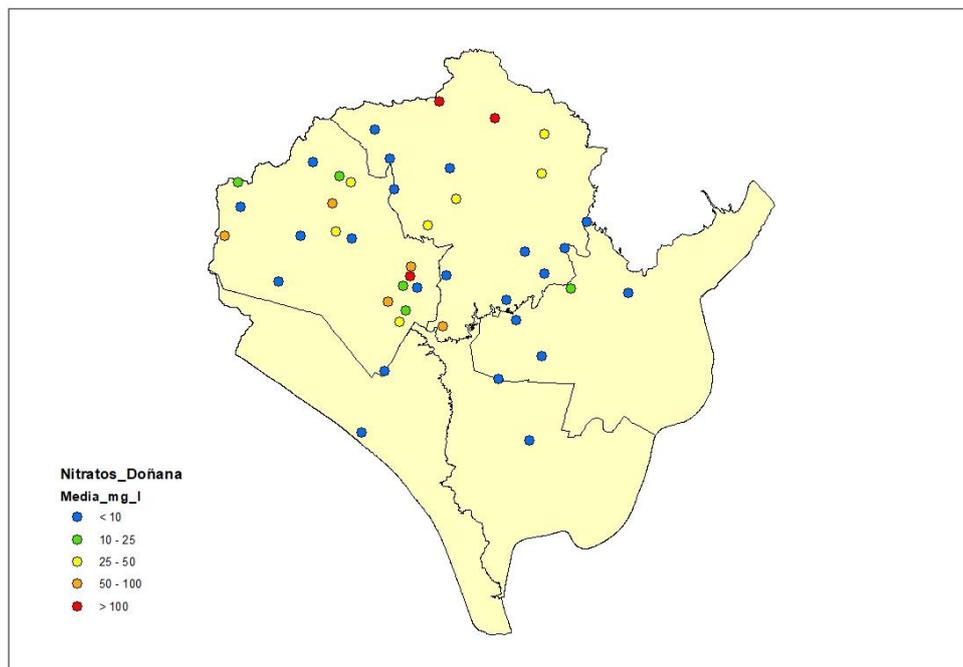


Figura 6. Concentración de nitratos



Además de estos dos puntos, cuya representatividad debe ser analizada, hay otros seis con concentraciones medias de nitratos que superan el umbral de 50 mg/l: cinco en la MASb “La Rocina” y 1 en la MASb “Almonte”.

De los cinco puntos de la MASb “La Rocina” tres están en su parte baja (5.51.05.02, A-027-01-P01 y 114150103), uno en la parte media (5.51.05.02) y uno cerca de la divisoria con la demarcación del Tinto Odiel y Piedras (05.51.057). En la MASb hay un total de 19 datos, la media es de 32,9 mg/l y la mediana 20,7 mg/l.

En la masa de Almonte hay tres puntos que superan los 50 mg/l, aunque ninguno parece asociado a actividad agraria intensiva: los dos puntos considerados anómalos anteriormente indicados y un tercero, 114210010 “Casa de la Pichiricha” en una zona sin actividad agraria, pero situada en la parte baja del Arroyo del Partido y cercana a la EDAR de El Rocío y a la zona más afectada de la MASb “La Rocina”. En el resto de la masa es de destacar que en los sectores “Sur de Villamanrique-acuífero libre” y “Ecotono Norte”, afectados por descensos piezométricos y con gran actividad agraria los valores están por debajo de los 10 mg/l. En la MASb hay un total de 16 datos, la mediana es de 6,5 mg/l y la media de 50,9 mg/l, que bajaría a 18,9 mg/l sin los dos puntos anómalos.

De los 6 puntos situados² en la MASb “Marismas”, 5 tienen valores por debajo de 10 mg/l. El sexto tiene un valor de 17,35 mg/l. La mediana es 5 mg/l y la media de 6,3 mg/l.

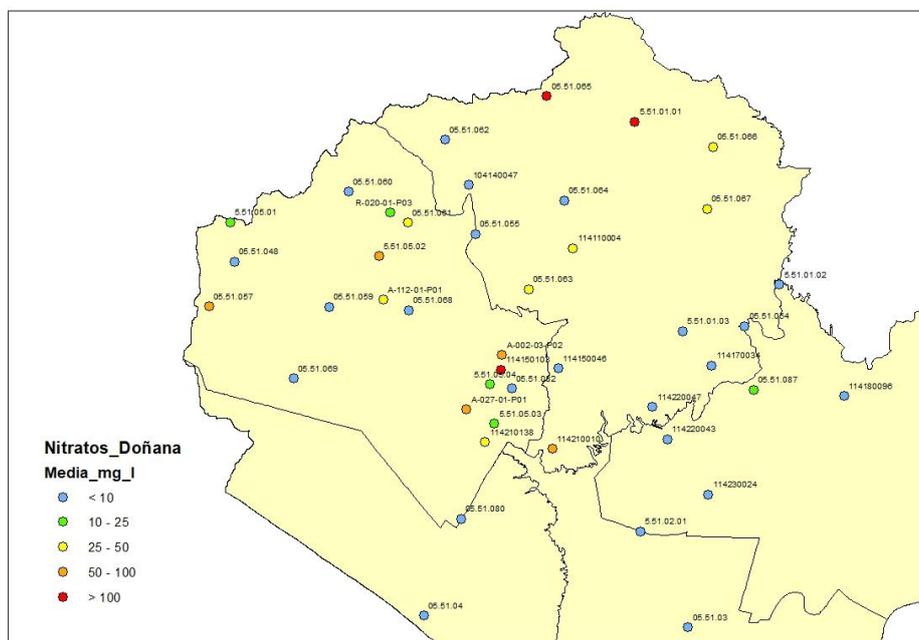


Figura 7. Detalle con código de punto de la concentración de nitratos

² El punto 5.51.02.01 se encuentra en la MASb “Marismas de Doñana”, pero solo por 40 m y dada su situación se le ha incluido, a efectos de este análisis en el MASb “Marismas”



Asimismo hay un punto, el 5.51.03 en la MASb “Marismas de Dañana” con un valor medio de 4,5 mg/l y otro, el 5.51.04 en la MASb “Manto Eólico de Dañana” con 3,4 mg/l

A la vista de estos datos se considera adecuado el diagnóstico del Plan Hidrológico, que considera a la MASb “La Rocina” en mal estado químico. Además esta MASb está declarada como en riesgo de no alcanzar el buen estado químico. Las otras dos se consideran en buen estado, aunque en el caso de la MASb de Almonte este diagnóstico debe ser objeto de un estrecho seguimiento.

7 SEGUIMIENTO DE LAS LAGUNAS PERIDUNARES DEL PARQUE NACIONAL.

El complejo de lagunas peridunares del Parque Nacional es quizás el lugar más emblemático de Doñana. Se trata de un conjunto de lagunas situadas en la cara distal desde la costa del cordón dunar que dreña el acuífero eólico y constituye uno de los ecosistemas más importantes del ámbito: un espacio con aguas dulces permanentes junto a una marisma estacional y muy cercana al litoral (Figura 8). La CHG hace un seguimiento mediante imágenes de satélite de la superficie inundada de las principales lagunas del complejo (Charco del Toro, Zahillo, Taraje, Dulce, Santa Olalla, Pajas, Sapo, Hermanillos, Rincón de Guerrero y Sopotón), así como de la masa vegetal de su entorno.

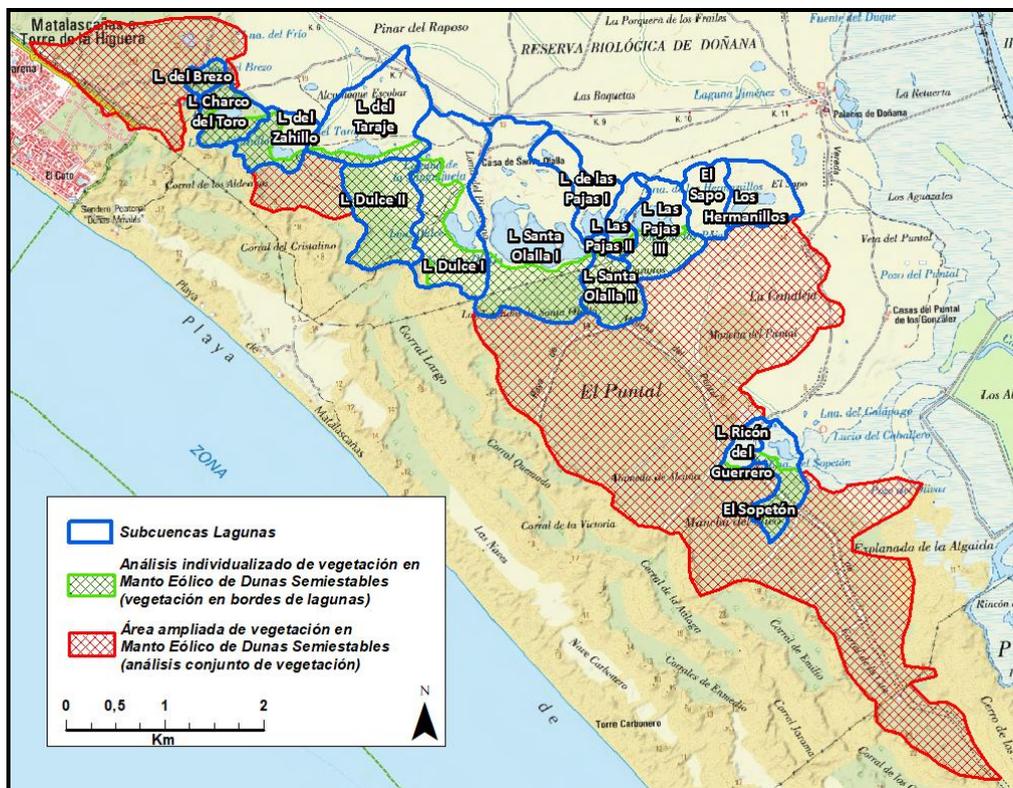


Figura 8. Localización de las lagunas peridunares de Doñana



La metodología y resultados pueden consultarse en el Estudio de la evolución de la superficie inundada de las lagunas de Doñana entre octubre de 2019 y septiembre de 2020, disponible en la ubicación web <https://www.chguadalquivir.es/estudios-tecnicos>. En este caso se ha usado el valor local de precipitación de la estación “Palacio Doñana”, gestionada por la Estación Biológica de Doñana (<http://icts.ebd.csic.es/datos-meteorologicos>), con 468 mm en el año 2019/20 y un valor medio de 540 mm en el periodo de referencia de 1983/84-2019/20.

| Laguna | Charco del Toro | Zahillo | Taraje | Dulce | Santa Olalla | Las Pajas | Sapo | Hermanillos | Rincón Guerrero | Sopetón | SUMA | Lluvia (mm) |
|--------------------------------|-----------------|---------|--------|-------|--------------|-----------|-------|-------------|-----------------|---------|--------|-------------|
| Ha inundadas 2019/20 | 0,000 | 0,080 | 0,144 | 1,972 | 15,598 | 0,499 | 0,000 | 0,135 | 0,000 | 0,622 | 19,049 | 468 |
| Mediana Ha inundadas 1993-2000 | 0,085* | 0,304 | 0,461 | 4,608 | 22,893 | 3,136 | 0,149 | 0,326 | 0,181 | 1,414 | 33,472 | 540 |
| Ha 2020/Ha mediana | 0% | 26% | 31% | 43% | 68% | 16% | 0% | 41% | 0% | 44% | 57% | 87% |

Tabla 4. Superficie inundada media en las principales lagunas en 2019/20, mediana del periodo 1992/94-2019/20 y relación entre ambas. * En Charco del Toro se ha usado la media del periodo de referencia, ya que la mediana es 0.

La tabla 4 refleja la inundación media para el conjunto y a nivel de detalle por laguna comparada con la mediana del periodo de referencia. El valor promedio de la superficie inundada (19 ha) para el conjunto en 2019/2020, es algo más de la mitad de la mediana del periodo de referencia (33,5 ha). Las lagunas mayores (Santa Olalla y Pajas), así como Sopetón son las menos afectadas por un año difícil, con un inicio seco y un inicio de recuperación en Enero truncada por el Febrero más seco de la serie histórica. La primavera fue lluviosa, pero no lo suficiente como para recuperar las medias anuales.

En la figura 7 se observa la evolución del índice de vegetación medio anual (NDVI x1.000) a lo largo del periodo en el cordón dunar adyacente a las lagunas y que constituye su principal zona de recarga. El valor del año 2019/20 es 351, máximo histórico de la serie y muy superior a la tanto a la media como a la mediana (293 y 300, respectivamente). La tendencia es creciente y estadísticamente significativa al 99 % ($p < 0,01$).



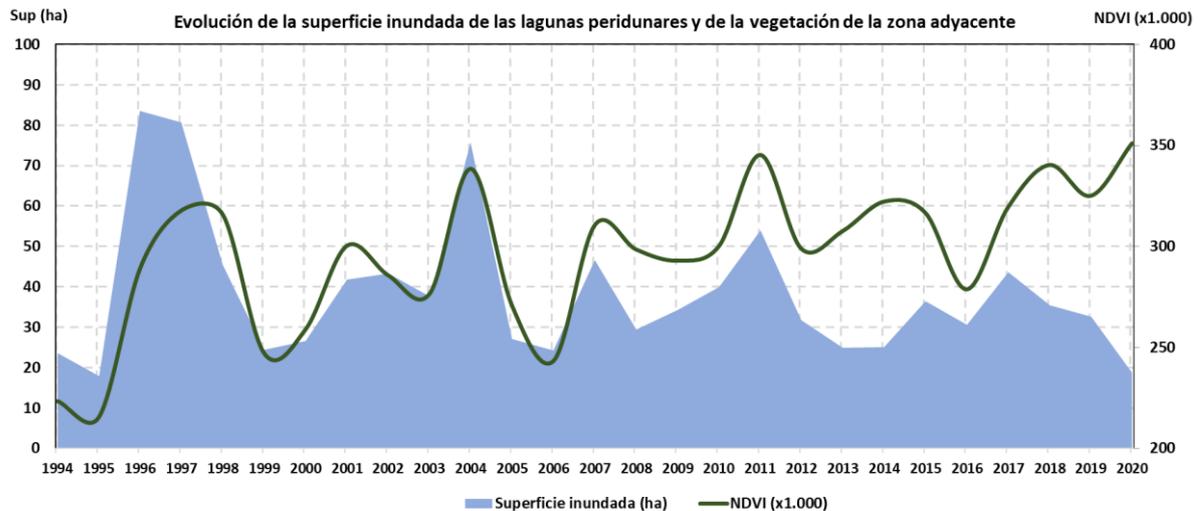


Figura 9. Evolución de la superficie inundada de las lagunas peridunares y de la vegetación de la zona adyacente

8 CONCLUSIONES.

De modo global, el conjunto de piezómetros usados tiene un valor medio del indicador de 0,39, el mismo que el de la pluviometría para el año 2019/20 (454 mm). Los análisis anteriores permiten sectorizar su estado en tres grandes categorías cuya distribución se representa en la Figura 10.

- Zona con un estado piezométrico acorde con la climatología. Es una franja continua que agrupa toda la zona de dunas y su área de descarga, la marisma y el Arroyo de la Rocina. Comprende los sectores Abalarío, Lagunas de Doñana, Vera-Retuerta, Marismas y Arroyo de la Rocina.
- Zona con un estado piezométrico marcadamente inferior al que cabría esperar de la pluviometría y con una tendencia descendente significativa. Conforman una banda de 5 - 10 km de anchura que bordea los límites del Parque Nacional entre El Rocío y Villamanrique de la Condesa. Está caracterizada por dos grandes conos de depresión piezométrica con relación a las cotas medidas en 1995, uno situado al Norte de El Rocío y otro al Sur de Villamanrique. Comprende los sectores Norte Arroyo de la Rocina, Norte del Rocío, Sector intermedio, Ecotono Norte, Sur de Villamanrique-acuífero libre y Cabecera Sur de la Rocina. Se incluye también el sector costero, con un valor de le inferior al esperado y tendencia significativa decreciente, aunque sin datos de la amplia zona situada al Sur de Matalsacañas.
- Zona en situación intermedia, con tres sectores con un valor del indicador piezométrico inferior al esperable de la pluviometría y con tendencia estadísticamente significativa en el indicador, pero no en los niveles piezométricos (sectores Zona Norte, Sur del Arroyo de la



Rocina, Cabecera Norte de La Rocina y Marismas) o al revés (Sur de Villamanrique-confinado).

Entre los aspectos positivos destaca la mejoría sostenida del Sector Sur del Arroyo de la Rocina, que de continuar le permitirá pasar a la categoría del mejor estado. Entre los negativos, Marismas presenta por primera vez una tendencia negativa estadísticamente significativa, aunque su relación directa con los ecosistemas terrestres sea escasa, y que no se haya revertido la tendencia de la Zona Costera, que hasta hace poco tiempo se encontraba en una situación favorable.

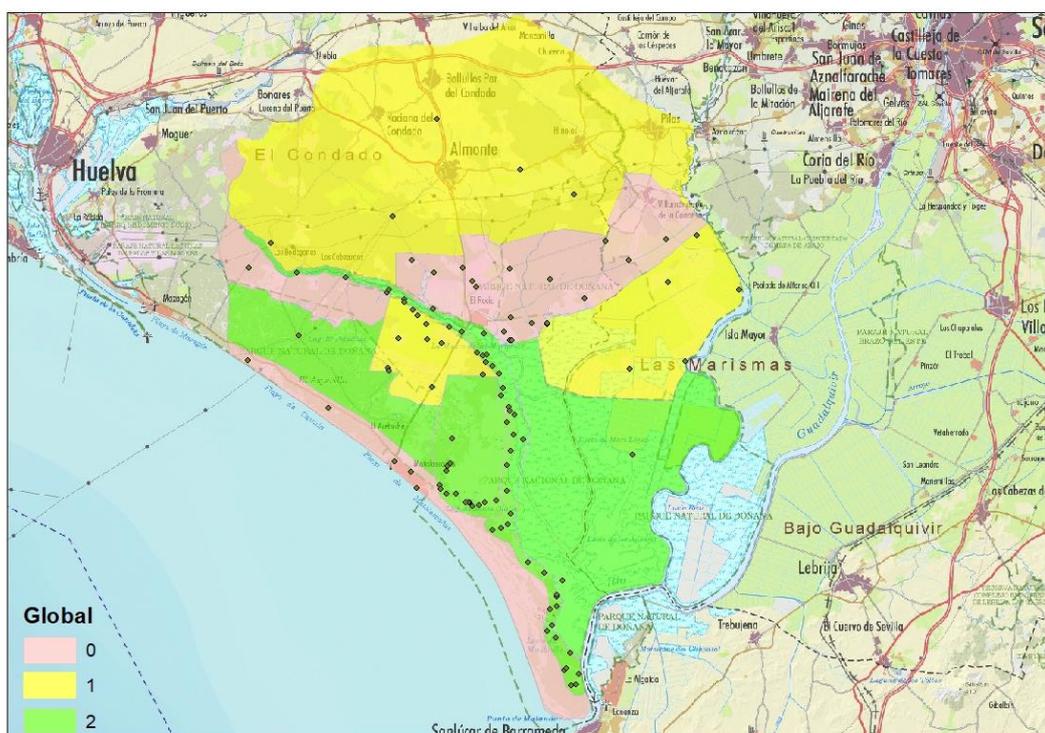


Figura 10. Agrupación de los sectores en función de su estado global

Este análisis permite afirmar que el actual grado y modo de explotación de los recursos subterráneos en zonas del acuífero detrítico, de mantenerse, comprometería su buen estado y el de los ecosistemas terrestres dependientes, lo que se evidencia en que tres de las cinco MASb integrantes del sistema acuífero no alcanzan el buen estado cuantitativo, ni se prevé puedan alcanzarlo para el horizonte de la entrada en vigor del Plan Hidrológico, previsto para el primer semestre de 2022 y actualmente en fase de revisión.

Esto obliga a la administración hidráulica a tomar una serie de medidas para asegurar el no deterioro, así como a realizar todas las acciones posibles para revertir este mal estado con vistas al horizonte de 2027. También es urgente que por parte de la autoridad competente se tomen medidas para mantener los niveles de nitratos dentro de los niveles marcados por la normativa.



Para ello, la CHG declaró el 16 de Julio de 2020 en Junta de Gobierno declarar en mal estado tres MASB (Almonte, Marismas y La Rocina) y en riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo y tampoco el químico en caso de La Rocina, según las previsiones del artículo 56 del TRLA, haciéndose efectiva esta declaración tras su publicación en el BOE del 20 de Agosto de 2020. Asimismo, el borrador del Plan Hidrológico incluye un conjunto de medidas para la mejora del estado de las aguas subterráneas en Doñana, que se basan en la denominada “ALTERNATIVA 2” descrita en la ficha número 11 del Esquema de Temas Importantes que ha servido de base para el Plan.

La estrategia para recuperar el estado de las MASB de Doñana deberá contemplar los siguientes aspectos:

- Reversión de la tendencia descendente, especialmente en los sectores entre El Rocío y Villamanrique. Se plantea como horizonte la vuelta en 2027 a la situación del año 2000, lo que requerirá como mínimo la implementación del trasvase de 15 hm³ previsto en la Ley 10/2018, de 5 de Diciembre, así como medidas para disminuir las extracciones en la zona de contacto entre las MASB Almonte y Marismas (zona de los Hatos y adyacente): aportación de aguas superficiales incrementando la regulación del río Agrio, uso conjunto de aguas reguladas, no reguladas, regeneradas y subterráneas de modo que estas disminuyan sustancialmente, adquisición de derechos, etc.
- Recarga artificial en aquellas zonas donde sea viable.
- Necesidad de una gobernanza fuerte:
 - Incremento cero de la superficie susceptible de obtener concesión. Aplicación rigurosa de la legalidad. Cierre de captaciones ilegales. Eliminación de regadíos no legalizables.
 - Agrupación de los usuarios en Comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas (CUAS) como interlocutores de la administración.
 - Elaboración por parte de la administración de Planes de Extracción, que garanticen el cumplimiento de los objetivos planteados.
 - Seguimiento del estado de las aguas subterráneas, con un refuerzo de la guardería fluvial, del seguimiento mediante telecontrol y teledetección, creación de la figura del hidrogeólogo residente en las CUAS.
- Conocimiento de las aguas subterráneas: incorporación de la modelización hidrogeológica de Doñana al trabajo cotidiano de la CHG para el apoyo a la toma de decisiones.
- Eliminación de nutrientes en agrupaciones de vertido de menos de 10.000 habitantes.



- Definición por la autoridad competente de un plan de actuación y control en las prácticas agrícolas.
- Potenciación de las redes de medida química de las aguas subterráneas y superficiales.
- Recrecimiento del embalse del Agrio para sustituir aguas subterráneas por superficiales
- Reubicación a corto plazo de los dos sondeos de Matalascañas más próximos al Parque Nacional, considerándose a largo plazo la posibilidad de sustituir definitivamente los 2,75 hm³ anuales de bombeos de Matalascañas mediante un nuevo trasvase de pequeña cuantía desde la ETAP de del Tinto.
- Mejora de la coordinación entre administraciones.

SEVILLA, MAYO DE 2021

EL JEFE DE LA OFICINA DE
PLANIFICACION HIDROLOGICA

VICTOR JUAN CIFUENTES SANCHEZ

CONFORME EL PRESIDENTE

JOAQUIN PAEZ LANDA

