



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

**Confederación
Hidrográfica del Guadalquivir**

Documento firmado electrónicamente			
Firmado por		Fecha de firma	Sello de tiempo
JOAQUIN PAEZ LANDA		05/06/2023 08:34:23	SIN SELLO
URL de validación			
https://sede.miteco.gob.es https://pfirma.chguadalquivir.es/gestorcsv			
Código CSV			
MA001WWQ0E50O02FT5S97GP0F97JB8PWNE			

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 2021-2022



Mayo de 2023



ÍNDICE

1	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
3	ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO Y TERMOMETRICO.	2
4	ANÁLISIS PIEZOMÉTRICO.....	5
4.1	RED PIEZOMÉTRICA.....	5
4.2	SISTEMA DE INDICADORES PIEZOMÉTRICOS.....	6
4.3	ANÁLISIS.	7
5	APLICACIÓN A LAS MASB DEL PLAN HIDROLÓGICO DE 2016.....	11
6	SEGUIMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS.....	13
7	SEGUIMIENTO DE LAS LAGUNAS PERIDUNARES DEL PARQUE NACIONAL.....	14
8	CONCLUSIONES.....	18

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 2021/22 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 2021/22. 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 1993/94-2021/22, 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 (2020/21) y para 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 107 medidas de concentración de nitratos tomadas entre febrero y agosto de 2022 en 95 puntos situados en las masas de agua subterráneas de Doñana. 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 La Rocina 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 35/2023, 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 Y TERMOMÉTRICO.

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. 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 29 años comprendido entre 1993/94 y 2021/22 por la mayor cobertura de puntos de la Red piezométrica. La precipitación media es casi idéntica a la del periodo completo (526 mm frente a 525 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, un año muy seco tras un periodo seco de 4 años.

En la figura 1 se distinguen tres periodos de gran sequía. 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. El tercero es el actual, que se caracteriza por su larga duración,



como se detalla más adelante. Destacan además 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.

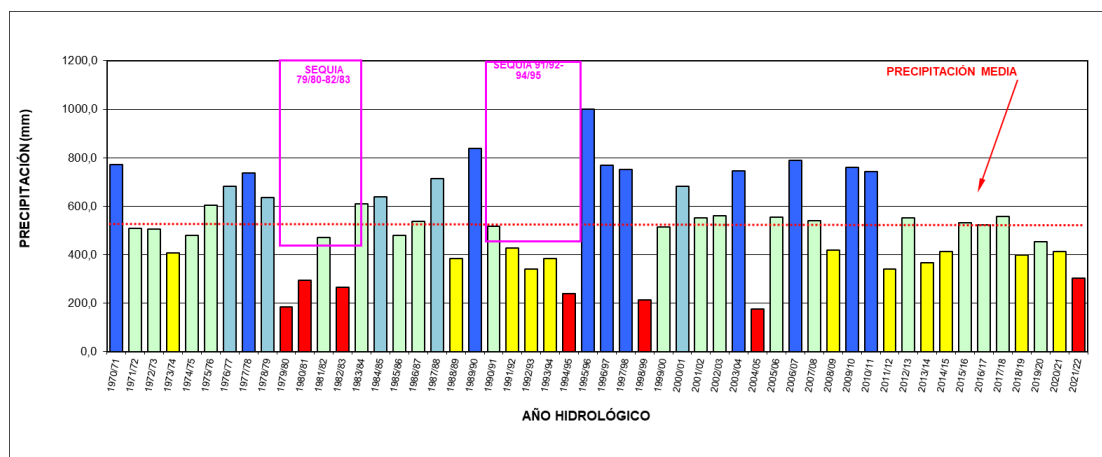


Figura 1. Serie histórica de precipitación. Azul oscuro muy húmedo, azul claro húmedo, verde normal, amarillo seco, rojo muy seco.

La precipitación del año hidrológico 2021/22 fue de 304 mm. (Octubre 2021 - Septiembre 2022). Se trata de un año muy seco, con solo un 58 % de la media. Ese carácter se extendió a lo largo de todo el año (Figura 2): el otoño fue muy seco, con el 47 % de la precipitación media (114 frente a 242), seguido por un invierno medio (115 frente a 169 mm). La primavera fue seca (59 mm frente a 82 mm de media), como también lo fue el estiaje, con 17 mm frente a 33 de media. El año hidrológico 2021/22 prolonga un año más el periodo seco en la zona: El último año húmedo en Doñana fue el 2010/2011, con 742 mm. Desde entonces ha habido cinco normales (2012/13, 2015/16, 2016/17, 2017/18 y 2019/20), cinco secos (2011/12, 2013/14 y 2014/15, 2018/19 y 2020/21) y uno muy seco (2021/22), con una media de 442 mm. Es el periodo de esta duración (once años) más seco desde 1970.

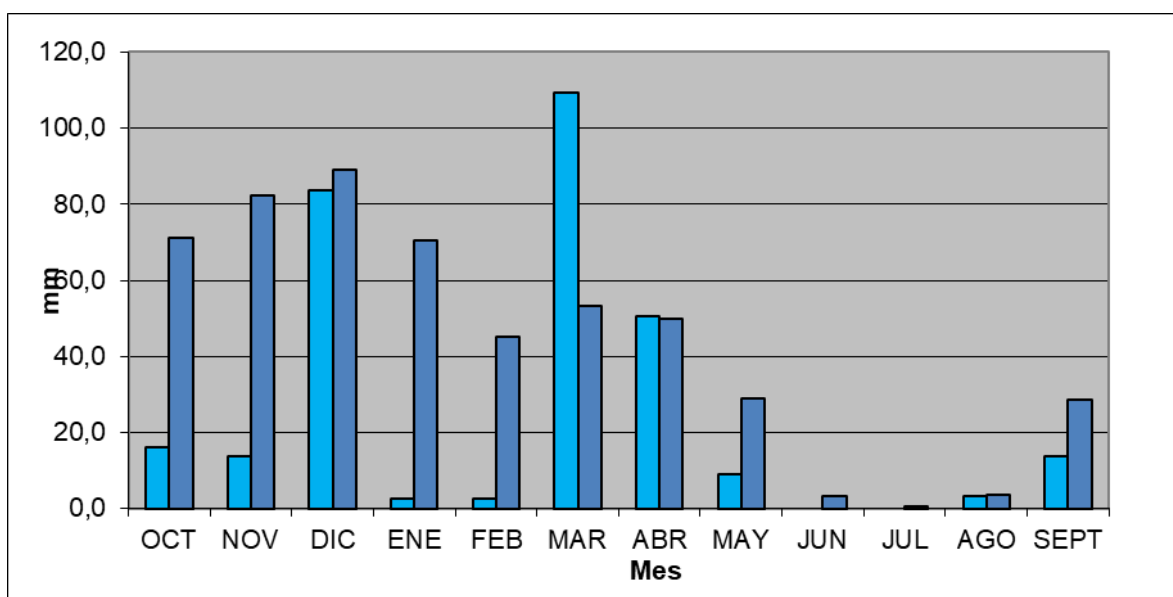


Figura 2. Distribución mensual de la pluviometría en 2021/22 (azul claro) y en el año medio (azul oscuro)



Este año se añade por primera vez un análisis de las temperaturas, basado en los valores medios de la Estación Biológica de Doñana, situada en el Palacio de Doñana¹. La temperatura media anual ha sido de 18,5 °C, la más alta de la serie disponible (1978/79-2021/22).

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MEDIA
2021/22	20,5	13,2	13,3	11,0	13,7	14,1	16,1	21,5	23,8	27,3	24,9	22,6	18,5
MEDIA	18,7	13,8	11,0	10,1	11,5	13,9	15,7	18,6	21,7	24,4	24,6	22,3	17,2
ANOMALIA	1,7	-0,6	2,3	1,0	2,2	0,2	0,4	2,9	2,1	2,9	0,3	0,3	1,3

Tabla 1. Comparación entre el año 2021/22 y la media de la serie 1978/79-2021/22.

Destacan las anomalías del periodo mayo-julio, con una media de 2,6 °C por encima de la media y las de los meses de diciembre, febrero y octubre. La tendencia histórica de la serie es creciente y estadísticamente significativa al 99 % ($p < 0,01$). Es interesante la evolución de las medias de los años frescos, medios y cálidos en las dos mitades de la serie. El cambio es especialmente llamativo en el tercil más frío: en la segunda mitad su media es superior a la del tercil medio de la primera. Dicho de un modo sencillo: ya no hay años frescos como los de antes, los medios son casi cálidos y los calidos lo son más aun.

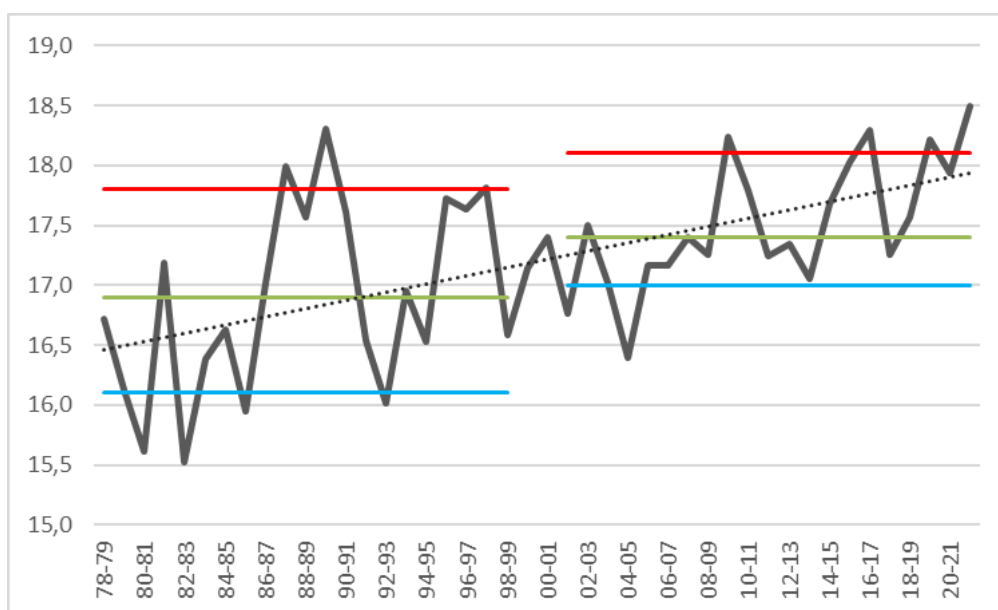


Figura 3. Evolución de las temperaturas medias (negro) y comparación entre los terciles frío (azul), medio (verde) y cálido (rojo) de las dos mitades de la serie 1978/79-2021/22. Tendencia, línea negra punteada.

¹ <http://icts.ebd.csic.es/datos-meteorologicos>. Los huecos se han rellenado usando la estación automática "Almonte" de AEMET.



4 ANALISIS PIEZOMETRICO.

4.1 RED PIEZOMÉTRICA.

En este apartado se evalúa el estado global e individual de los distintos sectores en los que tradicionalmente se han dividido los acuíferos de Doñana. Aunque el Plan Hidrológico del Guadalquivir distingue cinco MASb, a efectos de este informe se ha optado por mantener el análisis 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 a las cinco MASb.

Entre los 257 datos medidos este año en la red piezométrica especial de Doñana de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir se han seleccionado para este informe un total de 161 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 29 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).
- Zona Costera: Eliminados de la serie los piezómetros 104270006, 104280036 y 104280048, sin datos desde 2017 en el primer caso y desde 2015 en los dos últimos. Estos huecos distorsionan la media del sector.
- Ecotono Norte: se eliminan de la serie los piezómetros 114220048 y 114220049, sin dato desde 2015.



- Zona Norte: eliminado el piezómetro 114110004, sin dato desde 2020. Se añaden 999900007, 999900028 y 999900036, con dato desde 2010. Calibrados desde 1994 con el 104140047, con $r^2 = 0,76, 0,87$ y $0,86$. Los piezómetros 999900001, 999900003 y 999900035, con dato desde 2010 tienen un $r^2 < 0,70$ y no se han usado en el cálculo, aunque su evolución corrobora el diagnóstico.
- Cabecera Norte de la Rocina: Se añaden 999900005, 999900019 y 999900022, con dato desde 2010. Calibrados desde 1994 con 104160019. $R^2 = 0,73, 0,75$ y $0,88$

4.2 SISTEMA DE INDICADORES PIEZOMETRICOS.

Los índices de estado cuantitativo de las aguas subterráneas o índices de llenado se calculan a partir de lecturas del nivel piezométrico con periodicidad mensual y requieren que 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 análisis de la piezometría busca las tendencias a corto y a largo plazo. Las tendencias a corto plazo se ven con el Indicador de estado (Ie), las de largo plazo analizando la significancia estadística de la serie histórica del Ie y también la directa de los niveles piezométricos.

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 del nivel mensual del agua más del estiaje en cada año. Se considera estiaje al periodo de mayo a 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.
- P_{min} : Profundidad mínima en toda la serie para el mes de cálculo.
- P_{max} : 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 (detritico o eólico) y mediante su agrupación se estima el estado cuantitativo para sectores, masas de agua subterránea o el conjunto de acuíferos de Doñana. En un acuífero multicapa como el de Doñana, con piezómetros muy próximos que pueden medir niveles distintos permite una interpolación espacial que en el corto plazo es más robusta que la de los niveles.

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, 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 (CORTO PLAZO).

El estado general de la masa, entendiendo como tal el valor medio del indicador en los 161 piezómetros con dato en el año 2021/22 es de 0,24, similar al obtenido al aplicarlo a la precipitación (0,18). Ambos valores corresponden al intervalo de ALERTA (0,15-0,30). 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 2 se detallan los valores del indicador para los distintos sectores.

A grandes rasgos se agrupan en dos categorías, que pueden verse en la Figura 4:



- Sectores con un estado piezométrico acorde a la pluviometría²: Sur del Arroyo de la Rocina, Sur de Villamanrique (confinado), Vera-Retuerta, Zona Costera, Arroyo de la Rocina y Marismas. Tienen un valor medio ponderado de 0,32 (PREALERTA). En el Sector Sur del Arroyo de la Rocina es incluso mejor del esperable con un 95 % de certidumbre debido al cese de las extracciones en la finca Los Mimbrales.
- Sectores con un estado piezométrico peor que el que puede esperarse de la pluviometría del año hidrológico: Cabecera Norte de la Rocina, Lagunas de Doñana, Sur de Villamanrique (libre), Cabecera sur de La Rocina, Norte del Arroyo de La Rocina, Ecotono Norte, Norte del Rocío, Abalario, Zona Norte y Sector Intermedio. Tienen un valor medio de 0,08 (ALARMA).

SECTOR	le	Calificación	Situación	Nº datos
CONJUNTO TODOS LOS PIEZOMETROS	0,24	Alerta	Acorde a la pluviometría	161
PLUVIOMETRIA	0,18	Alerta	Año medio	1
SUR ARROYO DE LA ROCINA	0,45	Prealerta	Mejor que la pluviometría	20
SUR DE VILLAMANRIQUE (CONFINADO)	0,41	Prealerta	Acorde a la pluviometría	7
ECOTONO VERA RETUERTA	0,32	Prealerta	Acorde a la pluviometría	46
ZONA COSTERA	0,26	Alerta	Acorde a la pluviometría	15
ARROYO DE LA ROCINA	0,23	Alerta	Acorde a la pluviometría	15
MARISMAS	0,17	Alerta	Acorde a la pluviometría	3
CABECERA NORTE DE LA ROCINA	0,16	Alerta	Peor que la pluviometría	5
LAGUNAS DE DOÑANA	0,14	Alarma	Peor que la pluviometría	16
SUR DE VILLAMANRIQUE (LIBRE)	0,12	Alarma	Peor que la pluviometría	3
CABECERA SUR DE LA ROCINA*	0,10	Alarma	Peor que la pluviometría	1
NORTE ARROYO DE LA ROCINA	0,05	Alarma	Acorde a la pluviometría	5
ECOTONO NORTE	0,04	Alarma	Peor que la pluviometría	12
ABALARIO	0,03	Alarma	Peor que la pluviometría	3

² El mínimo valor del indicador le para la piezometría que se considera acorde con la pluviometría en 2021/22 es 0,17. El criterio para determinar esta coherencia se describe en el Anexo nº II.



NORTE DEL ROCIO	0,02	Alarma	Peor que la pluviometría	4
ZONA NORTE	0,01	Alarma	Acorde a la pluviometría	4
SECTOR INTERMEDIO	0,00	Alarma	Peor que la pluviometría	2

Tabla 2. Valor del indicador de estado, por sectores. * No representativo y no incluido en el análisis

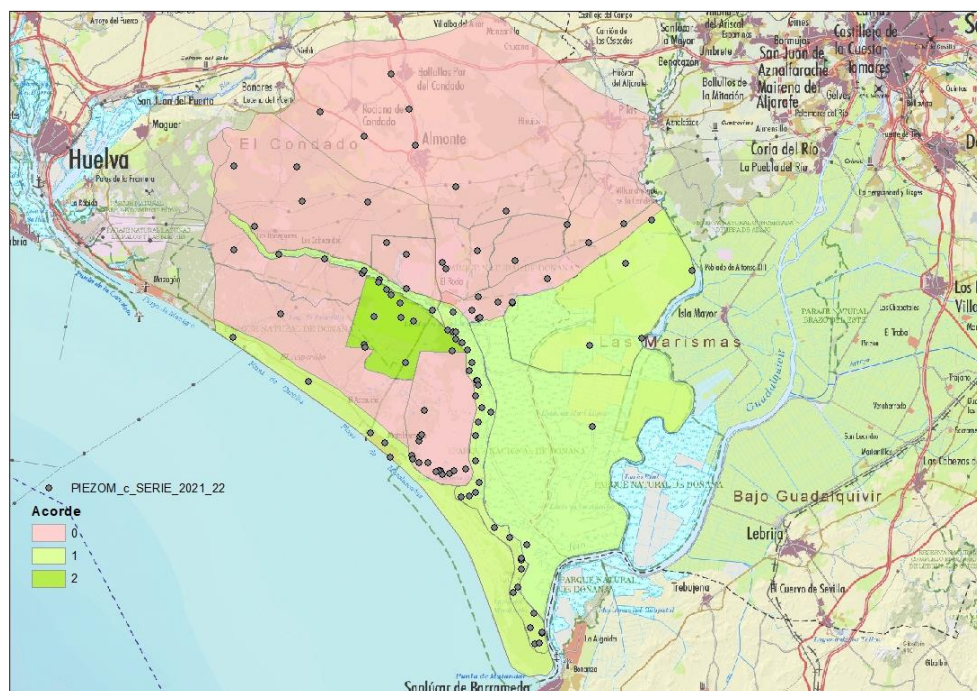


Figura 4. Agrupación de sectores según el valor del le respecto al de la precipitación.

4.3.2 ANÁLISIS DE LA TENDENCIA (LARGO PLAZO).

Hasta ahora se ha analizado el valor del indicador en el año 2021/22 para el conjunto de los piezómetros y para cada uno de los sectores. Para determinar el estado de un piezómetro, un acuífero o una masa de agua también es relevante su tendencia. Se estudia con la pendiente del indicador y del nivel piezométrico en la serie, así como su significancia estadística (el *p*-valor). En coherencia con los protocolos científicos usuales se ha considerado estadísticamente significativa una tendencia al 95 % (un *p*-valor <0,05 o posibilidad debida al azar inferior al 5 %). Para calcular el *p*-valor se usa la herramienta ANALISIS DE DATOS de la hoja de cálculo EXCEL-365 de MS-Office.

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 ya estructurales del acuífero. La tendencia de las precipitaciones muestra una tendencia descendente, con un 0,45 % anual de pendiente pero que no alcanza la significancia estadística.



La evolución del índice de estado global del conjunto de los piezómetros en el período de estudio tiene una pendiente media mayor (0,89 %) y es estadísticamente significativa con un grado de confianza del 99 % tanto para el indicador como los niveles.

SECTOR	Pendiente Indicador	Significancia pendiente del indicador	Significancia pendiente de los niveles
PLUVIOMETRIA	-0,45%	NO	NO
CONJUNTO DE TODOS LOS PIEZOMETROS	-0,89%	SI AL 99%	SI AL 99 %
ECOTONO VERA RETUERTA	0,10%	NO	NO
SUR DE VILLAMANRIQUE-ACUIFERO CONFINADO	-0,58%	NO	SI AL 99 %
SUR ARROYO DE LA ROCINA	-0,83%	NO	NO
ABALARIO	-1,01%	NO	NO
ZONA COSTERA	-1,03%	SI AL 99 %	SI AL 99 %
ARROYO DE LA ROCINA	-1,08%	SI AL 95 %	NO
MARISMAS	-1,09%	SI AL 99 %	SI AL 95 %
ZONA NORTE	-1,12%	SI AL 95 %	SI AL 95 %
LAGUNAS DOÑANA	-1,12%	SI AL 95 %	SI AL 95 %
CABECERA NORTE DE LA ROCINA	-1,18%	SI AL 95 %	NO
ECOTONO NORTE	-2,26%	SI AL 99 %	SI AL 99 %
NORTE ARROYO DE LA ROCINA	-2,46%	SI AL 99 %	SI AL 99 %
SECTOR INTERMEDIO	-2,68%	SI AL 99 %	SI AL 99 %
SUR DE VILLAMANRIQUE-ACUIFERO LIBRE	-2,82%	SI AL 99 %	SI AL 99 %
NORTE DEL ROCIO	-2,97%	SI AL 99 %	SI AL 99 %
CABECERA SUR DE LA ROCINA*	-4,07%	SI AL 99 %	SI AL 99 %

Tabla 3. Tendencia por sectores: pendiente y significancia estadística. * No representativo y no incluido en el análisis

Los únicos sectores sin tendencia estadísticamente significativa son Ecotono Vera-Retuerta, Abalario y Sur del Arroyo de la Rocina, aunque solo el primero está lejos de ella. Si se alcanza la significancia estadística en los descensos tanto para el indicador como de los niveles en los



sectores Zona Costera, Norte del Arroyo de la Rocina, Ecotono Norte, Norte del Rocío, Sector Intermedio, Sur de Villamanrique-acuífero libre, Zona Norte, Cabecera Sur de la Rocina, Marismas y Lagunas de Doñana. Este último sector resulta especialmente preocupante, ya que se trata de una zona del máximo valor ambiental y en 2021 alcanzó el nivel de significación para el indicador y en 2022 también para los niveles.

En el sector Cabecera Norte de la Rocina 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.

Las gráficas de las tendencias de cada sector se adjuntan en el Anexo III Índices de estado y piezometría.

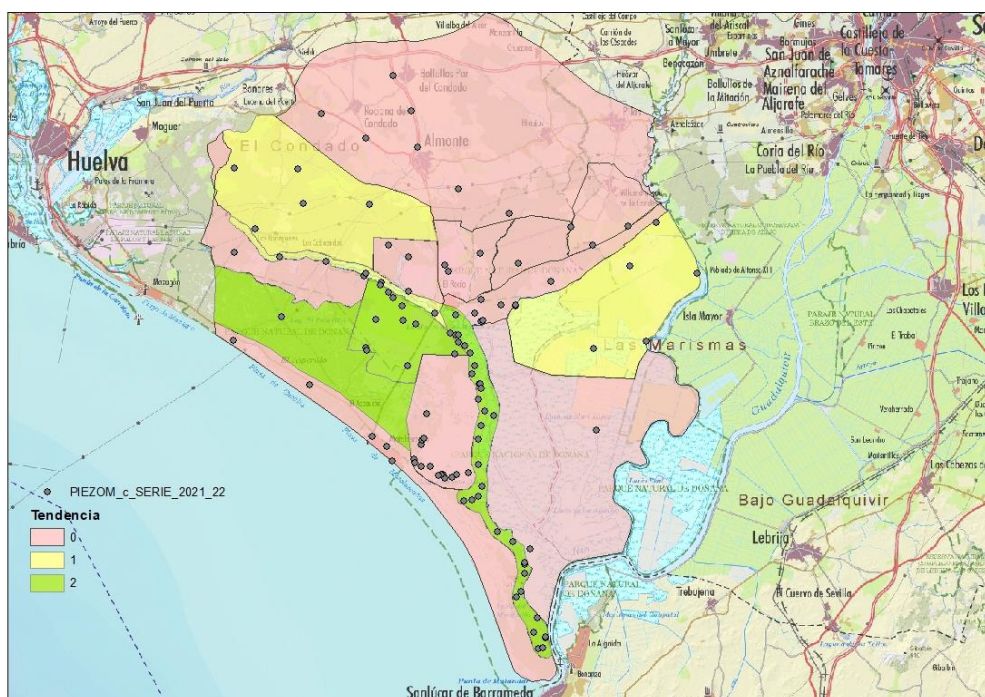


Figura 5. Agrupación de los sectores en función de la tendencia.

5 APLICACION A LAS MASb DEL PLAN HIDROLÓGICO VIGENTE.

Dado que desde el 10 de febrero de 2023 está en vigor el Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir, publicado por RD 35/2023, y que dicha norma legal subdivide la MASb 05.51 "Almonte-Marismas" en cinco MASb, resulta precedente una referencia a las mismas y un análisis de la aplicación de los indicadores utilizados. Sin embargo, se mantiene el informe por sectores, dada el detalle que permite su menor tamaño y su comparabilidad con informes 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 ES05MSBT000055105 "La Rocina"**: parte del acuífero detrítico libre incluido en el ámbito del Plan de la Corona Forestal del Norte de Doñana.

En la Figura 6 se refleja la delimitación de las MASb y la clasificación del estado cuantitativo realizada en el Plan Hidrológico.

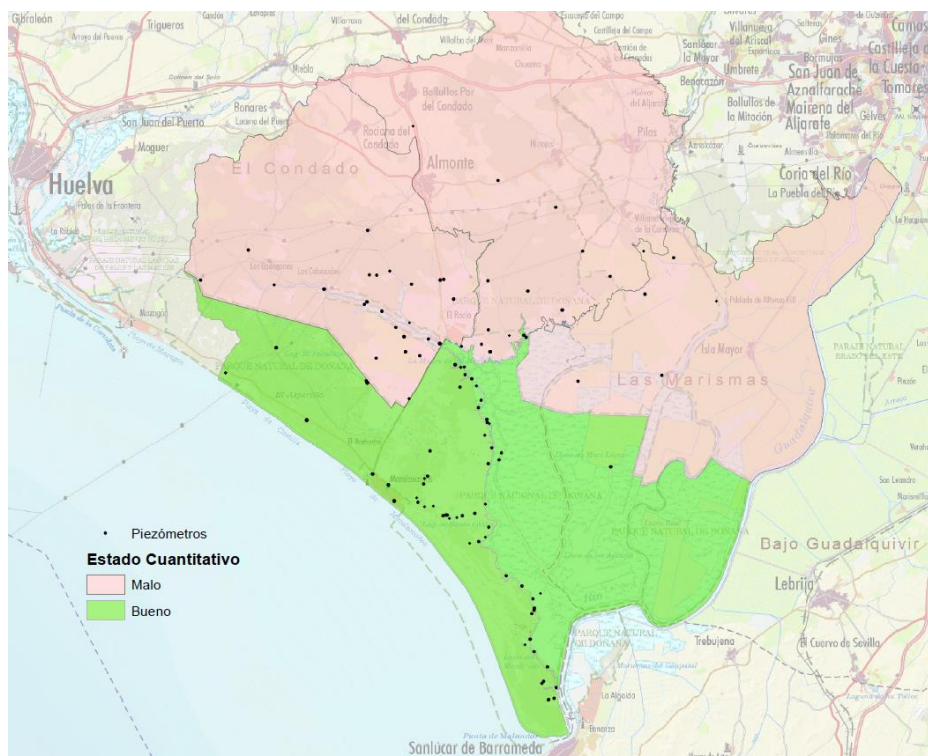


Figura 6. Masas de agua subterránea del RD 35/2023.



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

NOMBRE MASb	CODIGO MASb	Nº de datos	le 2021/22	Pendiente le (%) 1994-2022	Significancia estadística
Almonte	ES050MSBT000055101	19	0,05	-2,22	SI AL 99 %
Marismas	ES050MSBT000055102	7	0,31	-1,02	SI AL 99 %
Marismas de Doñana	ES050MSBT000055103	26	0,28	-0,53	NO
Manto eólico de Doñana	ES050MSBT000055104	66	0,26	-0,66	NO
La Rocina	ES050MSBT000055105	43	0,27	-1,23	SI AL 99 %
Precipitación	TODAS	1	0,18	-0,59	NO

Tabla 4. 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”. 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 “Marismas de Doñana” y “Manto Eólico de Doñana”. Sin embargo esta última está cerca del umbral del 95%, aunque aún no lo alcance.

6 SEGUIMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRATOS.

En los años anteriores se habían detectado niveles elevados de nitratos en las masas de La Rocina y Almonte, considerándose necesario un estudio específico para determinar el estado real de la segunda. Se realizó una campaña específica en febrero de 2022, además de la que se viene realizando en verano en las cinco masas de agua, así como en la red general de seguimiento de la CHG. Como resultado este año se ha dispuesto de un total de 107 medidas tomadas entre junio y agosto de 2022 en 95 puntos situados en las masas de agua subterráneas de Doñana. Los resultados generales³ y por masa de agua estan en la tabla 5 y pueden verse espacialmente en la Figura 7

³ Los datos en detalle pueden consultarse en el Anexo IV.



NOMBRE	CODIGO	NUMERO	MAXIMO	PROMEDIO	MEDIANA
ALMONTE	ES050MSBT000055101	73	303,0	63,7	47,0
LA ROCINA	ES050MSBT000055105	22	187,0	35,7	13,9
MARISMAS	ES050MSBT000055102	7	22,7	5,5	0,0
MARISMAS DE DOÑANA	ES050MSBT000055103	3	11,2	6,2	5,1
MANTO EOLICO DE DOÑANA	ES050MSBT000055104	2	3,8	1,9	1,9
TODO		107	303,0	51,0	33,0

Tabla 5. Concentraciones de nitratos en 2022 (mg/l)

Se dispone del dato de profundidad del pozo o sondeo en 88 de las 107 muestras. En las 73 consideradas someras (de 4 a 34 metros de profundidad, promedio 18 metros) el promedio de la concentración de nitratos es de 66 mg/l y la mediana 47 mg/l. En los 15 más profundos (de 40 a 196 metros de profundidad, promedio 96 metros) los valores son 5 y 2 mg/l, respectivamente.

MASA DE AGUA ALMONTE. 73 muestras. La media es de 63,7 mg/l y la profundidad media de 18 metros (65 muestras con esa información). Las altas concentraciones de nitratos se extienden por la mayor parte de la MASb, sobre todo, en las cuencas de los arroyos Moriana y Alcarallón, situadas en el tercio nordeste, con 12 puntos y una media de 131 mg/l y de 11 puntos y 97 mg/l respectivamente. También debe destacarse la cuenca del vecino arroyo Algarbe, con 6 puntos y 50 mg/l de media. El sur de la MASb, donde el acuífero tiene mayor potencia y profundidad y carácter confinado, muestra valores aceptables, salvo el extremo SW, donde hay 4 muestras de profundidades entre 5 y 17 metros y una media de 90mg/l.

MASA DE AGUA DE LA ROCINA. 22 muestras. La media es de 35,7 mg/l y la profundidad media de 40 metros (15 muestras). La peor situación es la del SE de la MASb, coincidiendo con el cono de depresión centrado en la zona del Rocío.

MASAS DE AGUA DE MARISMAS, MARISMAS DE DOÑANA Y MANTO EOLICO DE DOÑANA. 12 muestras. La media es de 5,1 mg/l y la profundidad media de 110 metros (9 muestras). El único valor que merece destacarse es 05.51.087 en la MASb "Marismas", con 22,7 mg/l y una profundidad de 48 metros y que debe ser vigilado.



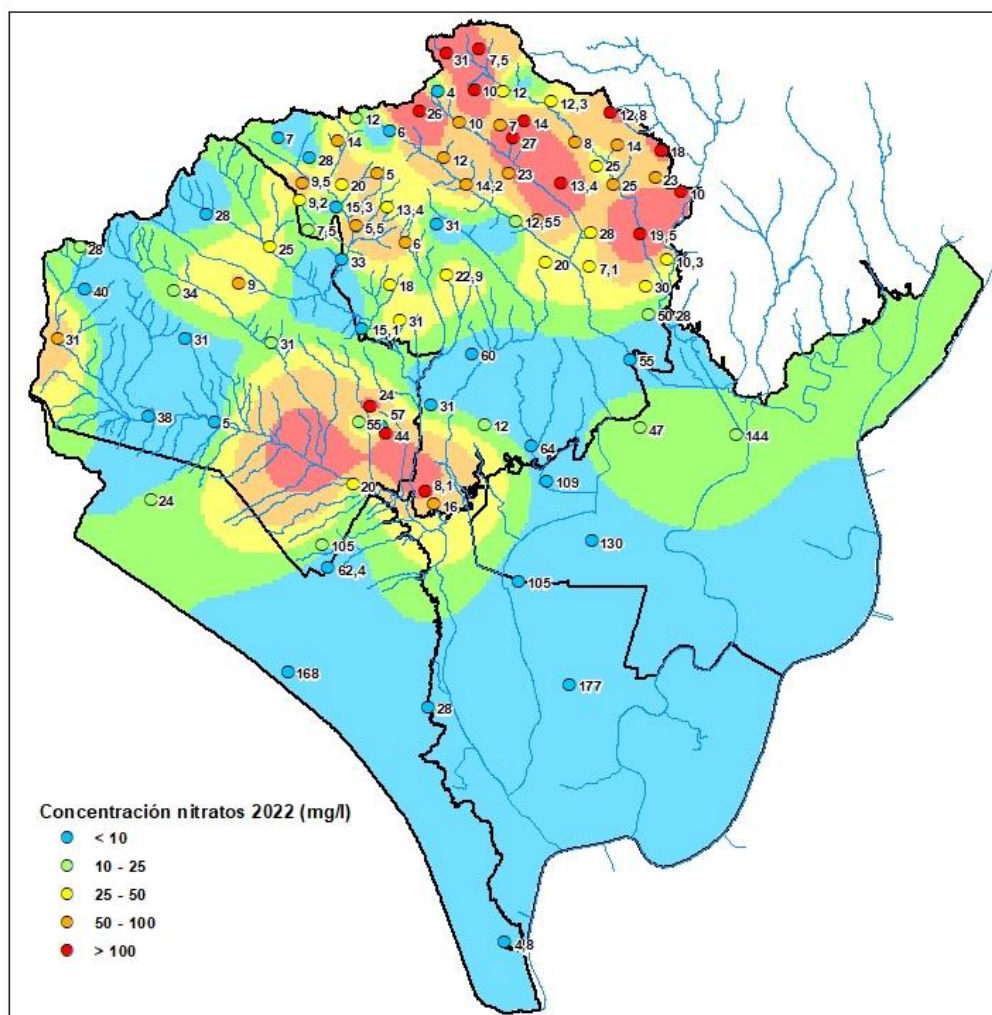


Figura 7. Color: concentración de nitratos (mg/l). Número: profundidad (m).

Se observa también que las zonas con mayores contaminaciones por nitratos se sitúan sobre zonas declaradas vulnerables según la Directiva 91/676/CEE (Figura 8).



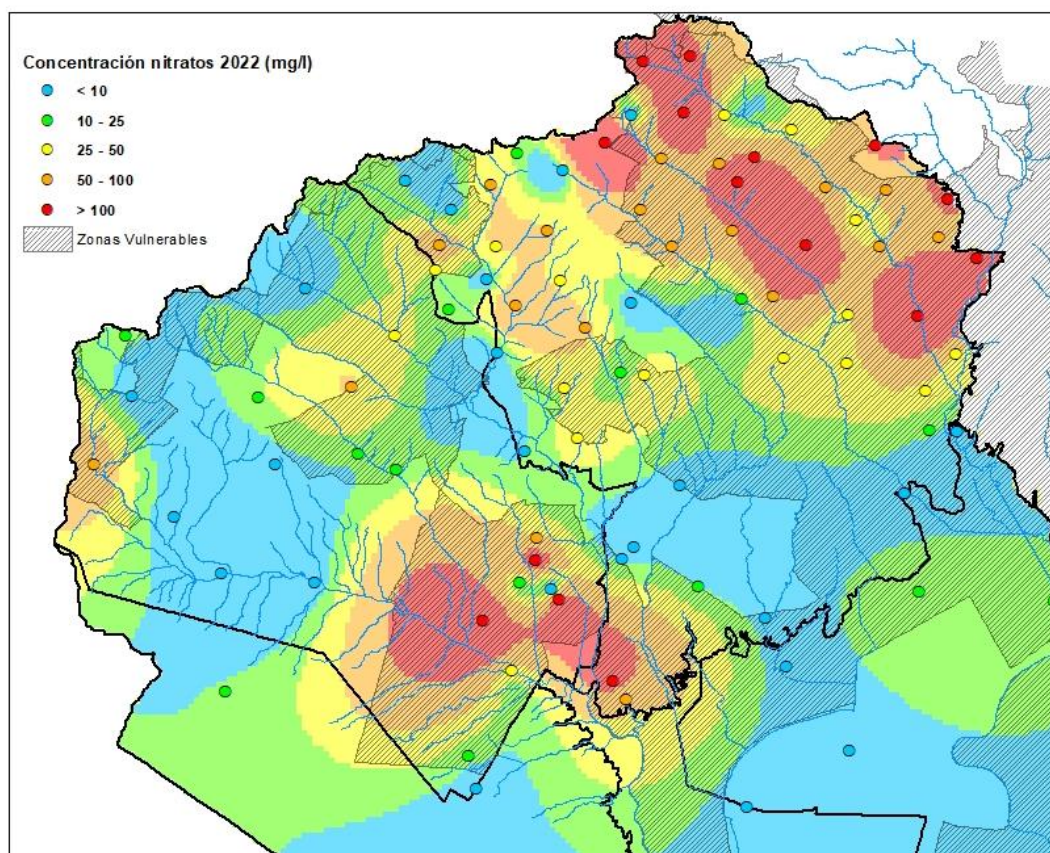


Figura 8. Detalle de la concentración de nitratos y zonas vulnerables.

A la vista de estos datos se considera que en los informes de seguimiento anual debe revisarse el estado de la MASb “Almonte”, que debe considerarse como en MAL ESTADO QUIMICO.

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 drena 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 9). 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.



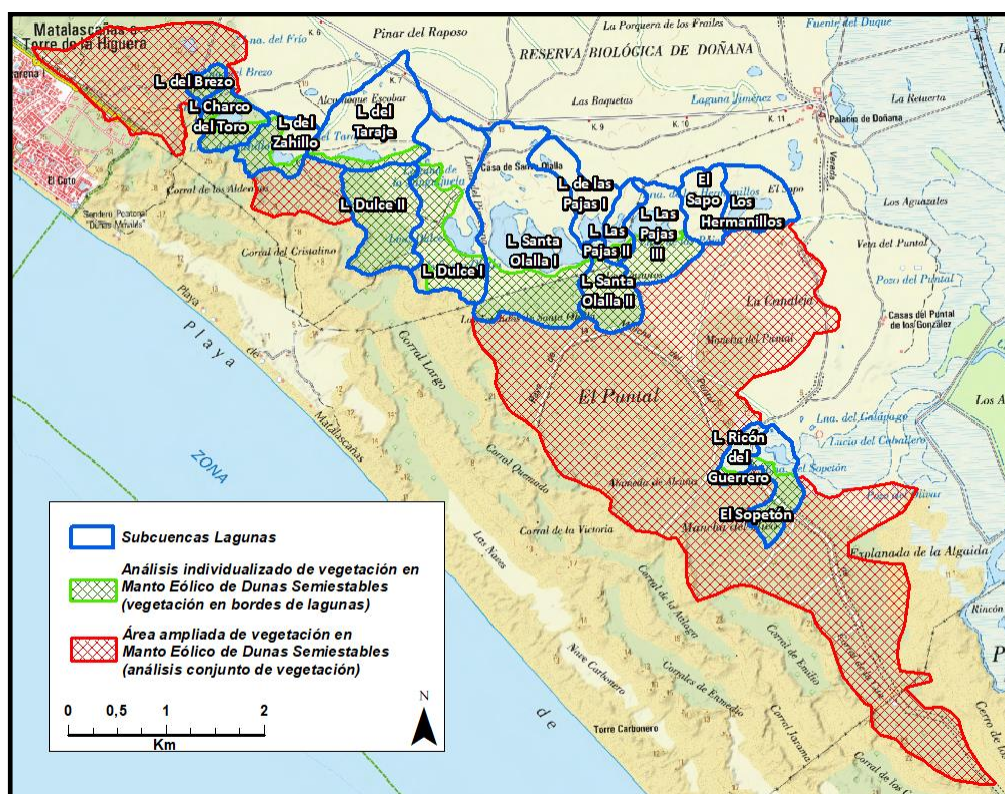


Figura 9. Localización de las lagunas peridunares de Doñana

La metodología y resultados pueden consultarse en el estudio “Seguimiento por teledetección de la superficie inundada de las lagunas de los mantos eólicos de Doñana y de la masa vegetal de su entorno”, 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 245 mm en el año 2021/22 y un valor medio de 529 mm en el periodo de referencia de 1993/94-2021/22. Se usan satélites del proyecto LANDSAT (5, 7 y 8) hasta septiembre 2017 y Sentinel 2 después.

Laguna	Charco del Toro	Zahillo	Taraje	Dulce	Santa Olalla	Las Pajas	Sapo	Los Hermanillos	Rincón de Guerrero	Sopotón	TOTAL
Ha inundadas 2021-22	0	0	0	25.420	117.517	2.655	0	0	0	5.608	151.200
Mediana Ha inundadas	787	3.038	4.400	45.150	227.373	30.713	29	2.138	1.800	14.130	332.730
Ha inundadas 2020-21/Ha mediana	0%	0%	0%	56%	52%	9%	0%	0%	0%	40%	45%

Tabla 6. Superficie inundada media en las principales lagunas en 2021/22, mediana del periodo 1993/94-2021/22 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 6 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 (15 ha) para el conjunto en 2021/2022, es algo menos de la mitad de la mediana del periodo de referencia (33,2 ha). Las lagunas mayores Santa Olalla, Dulce y Sopotón son las menos



afectadas por un año muy difícil, que se sitúa en torno al percentil 5 de la serie de precipitaciones. Debe destacarse el hecho de que la laguna de Santa Olalla ha llegado a secarse por completo por primera vez desde 1995. En la figura 10 se observa la evolución de la superficie inundada y de la vegetación en el cordón dunar adyacente a las lagunas y que es su principal zona de recarga. Ambas series muestran tendencia creciente y estadísticamente significativa al 99 % ($p < 0,01$).

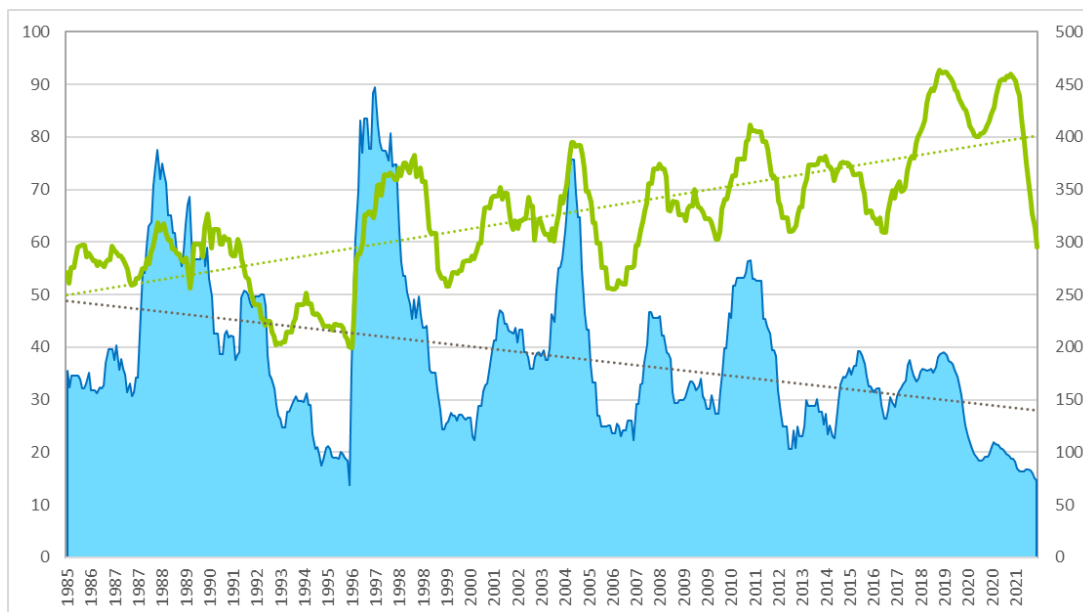


Figura 10. Evolución de la superficie inundada (ha, eje izquierdo) y cobertura vegetal (NDVI x 1000, eje derecho). Suavizado de 12 meses.

8 CONCLUSIONES.

El conjunto de piezómetros usados tiene un valor medio del indicador (Ie) de 0,24, similar al de la lluvia de 2021/22 (0,18). Sin embargo la tendencia a largo plazo tiene una evolución desfavorable: el número de sectores con descenso estadísticamente significativo pasa de 7 de un total de 16 en 2012/13 a 13 en 2022/23 (figura 11). El conjunto de todos los piezómetros alcanzó este umbral en 2014/15.



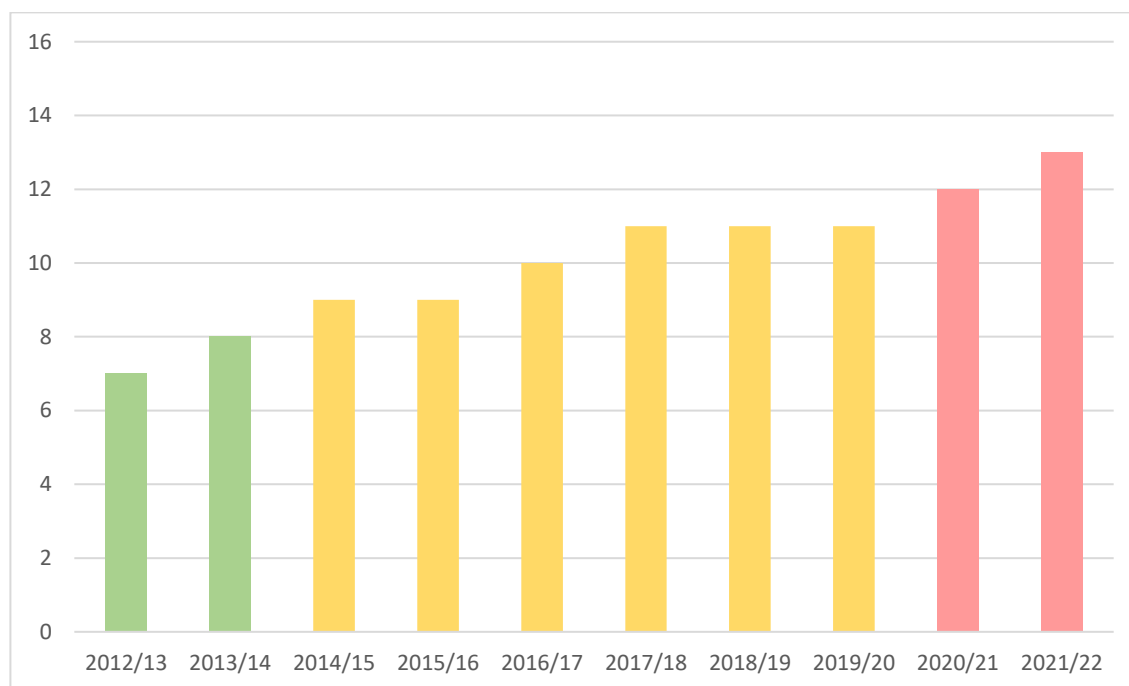


Figura 11. Número de sectores con descenso estadísticamente significativo en el indicador o los niveles. Color: evolución del conjunto de piezómetros: verde sin tendencia significativa, marrón al 95 %, rosa al 99 %

Todo ello a pesar de que las extracciones han disminuido en 10,5 hm³ desde 2015 (6,8 hm³ tras la compra Los Mimbrales y 3,7 hm³ tras la sustitución por aguas superficiales en la zona de Arroyo de Don Gil), que han mejorado la situación en las zonas en las que se han aplicado, a pesar del ciclo seco.

Los análisis anteriores permiten sectorizar su estado tal y como se representa en la Figura 12.

- Hay una zona cada vez menor con un estado piezométrico acorde con la climatología y sin tendencias significativas. Ya solo abarca los sectores Ecotono Vera-Retuerta, Abalarío y Sur del Arroyo de La Rocina, aunque los dos últimos muestran una tendencia próxima a la significancia estadística, que podrían alcanzar con otro año seco.
- El resto tiene tendencia descendente estadísticamente significativa. Destaca la banda de 5 - 10 km de anchura que bordea el Parque Nacional entre El Rocío y Villamanrique de la Condesa, con 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.
- Esta tendencia negativa es menos pronunciada en Sur de Villamanrique-confinado, Arroyo de la Rocina y Cabecera Norte de la Rocina.



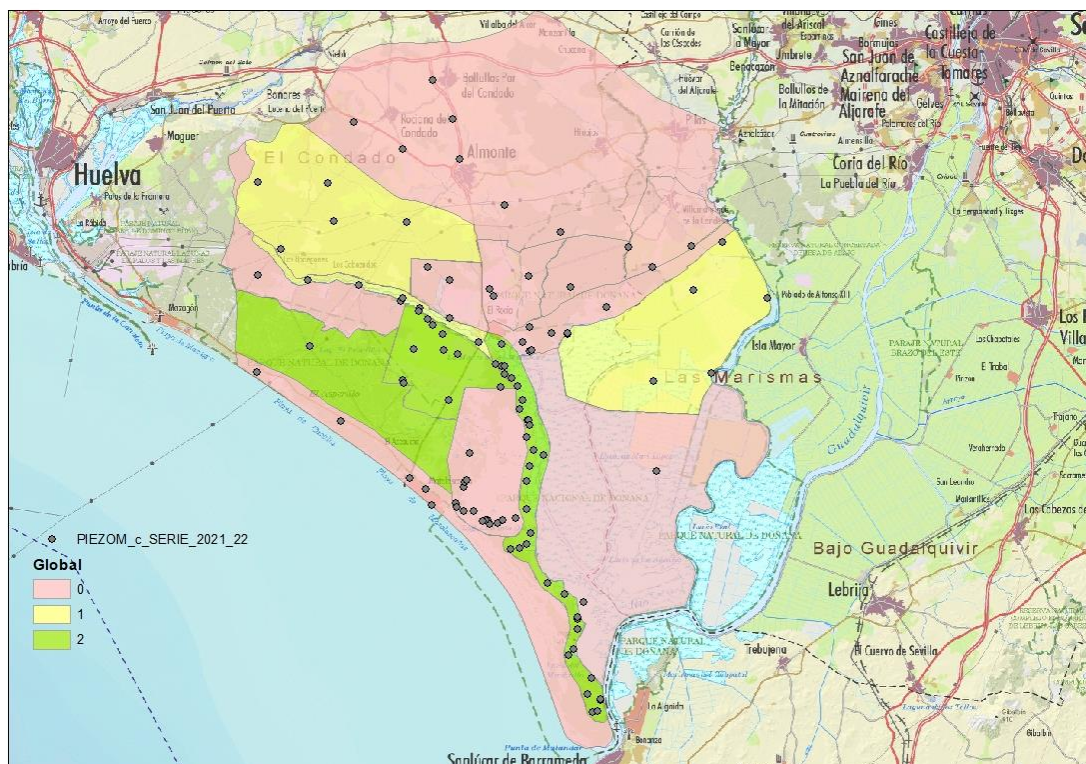


Figura 12. Agrupación de los sectores en función de su estado global

Este análisis permite afirmar que el actual grado y modo de explotación de los recursos subterráneos en zonas del acuífero detrítico compromete 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. 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 Plan Hidrológico del tercer ciclo, publicado por RD 35/2023 del 24 de enero incluye un conjunto de medidas para la mejora del estado de las aguas subterráneas en Doñana, basadas en la denominada “ALTERNATIVA 2” descrita en la ficha número 11 del Esquema de Temas Importantes y presentada ante el Consejo de Participación del Espacio Natural Doñana el 9 de julio de 2021.

La estrategia para el buen estado de las MASb de Doñana contempla los siguientes aspectos:



- Incremento cero de la superficie susceptible de obtener concesión. Aplicación rigurosa de la legalidad: Cierre de captaciones ilegales. Eliminación de regadíos no legalizables.
- 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 completa del trasvase de 19,99 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.
- Autorización y declaración de Interés General de la conducción desde la ETAP del Tinto a Matalascañas, asociada a un nuevo trasvase de pequeña cuantía de hasta 3 hm³ para sustituir definitivamente los bombeos del acuífero (RDL 4/2023 de 11 de mayo), quedando los sondeos exclusivamente para situaciones coyunturales de emergencia. Reubicación de los más próximos al Parque.
- Recarga artificial en aquellas zonas donde sea viable.
- Necesidad de una gobernanza fuerte:
 - 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.
- Aplicación de las medidas previstas en el Decreto 36/2008 de la Junta de Andalucía para zonas vulnerables
- Potenciación de las redes de medida química de las aguas subterráneas y superficiales.
- Recrecimiento del embalse del Agrio para sustituir aguas subterráneas por superficiales



- Mejora de la coordinación entre administraciones.

SEVILLA, MAYO DE 2023

EL JEFE DE LA OFICINA DE
PLANIFICACION HIDROLOGICA

VICTOR JUAN CIFUENTES SANCHEZ

CONFORME EL PRESIDENTE

JOAQUIN PAEZ LANDA

