

RESEARCH ARTICLE

Configuration of quality control network of coastal groundwater bodies by model of hydrosectors specific case of Campo de Cartagena (Murcia, Spain)

Configuración de redes de control de calidad de masas de agua subterránea costeras por el modelo de los hidrosectores: caso específico del Campo de Cartagena (Murcia, España)

Federico José García Mariana¹

¹ Jefe de Servicio del Área de Calidad – Comisaría de Aguas. Confederación Hidrográfica del Segura. Calle Acisclo Díaz. nº 5A. 30005 – Murcia, España.

Corresponding author: Federico_garcia@chsegura.es (Federico José García Mariana)

ABSTRACT

Key points

We establish a statistical modeling framework that helps us improve the evaluation of the status and chemical quality of groundwater bodies

We evaluate the correlation between the co-series assigned to the same hydrosector with homologous conditions

We evaluate the interrelation between different hydrosectors of the same aquifer, and between the aquifers within the same groundwater body

The design of groundwater quality control networks must be based, fundamentally, on an index of optimal average density of sampling points per surface of groundwater body (hereinafter, MSBT), estimated at 1 point per 50 km², and defining some hydrosectors with homologated conditions as hexagonal cells, in each of which a selection of equivalent control stations with analytically harmonized series is made in order to be able to extend the historical series of quality data of the extractions of water sampling, to improve periodicity and monitoring through possible concatenations and / or overlaps between said simultaneous co-series obtained (between 2 or more series), and define associations of sectoral stations that maintain comparable concentrations of anthropic components, at least for a sampling period within the same hydrogeologically homogeneous sector. These concepts are accompanied by the introduction of a precise formulation through the adoption of new statistical indices that would be applied to the different masses of groundwater but, mainly, to one of the coastal MSBTs that presents one of the greatest management complexities, among other external causes, to its complicated intrinsic hydrogeological structure (heterogeneity and anisotropy), such as the Campo de Cartagena MSBT. The objective is to establish a statistical modeling framework that helps us improve the evaluation of the status and chemical quality of groundwater bodies, in general, but, this time, not only on the unique interpretation of the isolated data series of each of the control stations definable in time, but rather by evaluating the correlation between these co-series assigned to the same hydrosector with homologous conditions, as well as in the interrelation between the different hydrosectors belonging to the same aquifer, and for each of the aquifers within the same complex structure groundwater body.

Keywords: Hydrosectors; Co-series; Sectorseries; Aquifer; Aquitard; Heterogeneity; Anisotropy.

Article History:

Received: 25/02/2021
Accepted: 04/09/2021

RESUMEN

Puntos clave

Se establece un marco de modelación estadística para la evaluación de estado y de calidad química de las masas de agua subterránea

Se evalúa la correlación entre las co-series asignadas a un mismo hidrosector con condiciones homólogas

Se evalúa la interrelación entre hidrosectores de un mismo acuífero, y entre los acuíferos dentro de la misma masa de agua subterránea

El diseño de las redes de control de calidad de aguas subterráneas debe basarse, fundamentalmente, en un índice estándar de densidad media óptima de puntos de muestro por superficie de masa de agua subterránea (en adelante, MSBT), estimado en 1 punto por 50 km², y definiendo unos hidrosectores de condiciones homólogas a modo de celdillas hexagonales, en cada una de las cuales se hace una selección de estaciones de control equivalentes con series analíticamente armonizadas con el objetivo de poder prolongar las series históricas de datos de calidad de las extracciones de muestreo de agua, para mejorar la periodicidad y el seguimiento a través de concatenaciones y/o solapamientos posibles entre co-series simultáneas obtenidas (entre 2 o más series), y definir asociaciones de estaciones sectoriales que mantienen unas concentraciones de componentes antrópicos equiparables, al menos para un periodo de muestreo y dentro del mismo sector hidrogeológicamente homogéneo. Estos conceptos se acompañan con la introducción de una formulación precisa a través de la adopción de unos nuevos índices estadísticos que se aplicarían sobre las distintas masas de agua subterránea, pero, principalmente, sobre una de las MSBT de índole costero que presenta una de las mayores complejidades de gestión debido, entre otras causas externas, a su complicada estructura intrínseca hidrogeológica (heterogeneidad y anisotropía), como es la MSBT del Campo de Cartagena. El objetivo es establecer un marco de modelación estadística que nos ayude a mejorar la evaluación de estado y de calidad química de las masas de agua subterránea, en general, pero, esta vez, no sólo sobre la interpretación única de las series de datos aislados de cada una de las estaciones de control definibles en el tiempo, sino evaluando la correlación entre estas co-series asignadas a un mismo hidrosector con condiciones homólogas, así como en la interrelación entre los distintos hidrosectores pertenecientes a un mismo acuífero, y para cada uno de los acuíferos dentro de la misma masa de agua subterránea de estructura compleja.

Palabras clave: Hidrosector; Co-serie; Sectorserie; Acuífero; Acuitardo; Heterogeneidad; Anisotropía.

Historial del artículo:
Recibido: 25/02/2021
Aceptado: 04/09/2021

1. Introducción

Para establecer un índice estándar de densidad media óptima de puntos de muestro por superficie de MSBT, desde el punto de vista del llamado “Criterio de Experto”, vamos a proponer 1 punto de muestreo por 50 km², conforme a las conclusiones de la *Guía del CEDEX: “Trabajos para la Implementación de la DMA” Red de Calidad de Aguas Subterráneas – Criterios Generales de Diseño, (CEDEX- 2008)*.

De este modo podemos partir de dicho Índice de Densidad de Estaciones Optimo para Muestreo (IDEOM), en aplicación a las MSBT de índole costero dentro de la Demarcación Hidrográfica del Segura (en adelante, DHS); y en concreto, sobre una de las más complejas a causa de su heterogeneidad, anisotropía y régimen de presiones significativas antrópicas, como resulta ser la MSBT del Campo de Cartagena, con código identificativo 070.052 (del Plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Segura vigente 2015-2021 (PHDHS 2015-2021) (Figura 1).

Aparte de la MSBT del Campo de Cartagena, encontramos las masas de agua subterránea de índole costero dentro la DHS siguientes: “Águilas”, “Cabo Roig”, “Mazarrón”, “Sierra de Cartagena”, “Terciario de Torre Vieja”, y “Vega Media y Baja del Segura”.

En todas estas 7 masas se ha analizado la relación posible que puede existir entre los puntos de muestreo generales y los puntos concretos que vamos a denominar, en sentido estricto, estaciones de control. Ya que se considera que debe diferenciarse la noción de punto de muestreo, como un punto arbitrario donde puede realizarse un muestro de agua genérico con el objeto de obtener un análisis esporádico o discrecional en el tiempo, sin que tenga que ir asignada a un programa o plan periódico de muestreo, y reservar el término de estación de control o, simplemente estación, para los puntos de muestreo periódicos dentro de una programación específica de seguimiento.

Por otra parte, podemos también definir asociaciones de estas estaciones interrelacionadas entre sí por una misma hidrofacies, pero igualmente por la correlación entre series de valores que vamos a denominar “armonizadas”, conforme a un modelo estadístico que plantearemos en la interrelación entre los datos de muestras simultáneas. Aspectos reconocibles para una misma porción o hidrosector de la formación o nivel acuífero que comprende una sección general de flujo hidrogeológico transversal, regular y estable para un periodo de tiempo dado. Sin embargo, para los casos de zonas o áreas concretas de acumu-

lación de flujo de recarga o de descarga (distorsiones de flujo), se llevará a cabo las correcciones pertinentes en dicha sectorización, para hacer validar la regla general de este modelo.

En la Figura 1 se representa la masa del Campo de Cartagena, entre otras, con hidrosectores a modo de celdillas hexagonales de 50 km², sobre una piezometría parcial basada en los trabajos desarrollados por García-Aróstegui (en: *"Cuantificación de la descarga subterránea al Mar Menor mediante modelización hidrogeológica del acuífero superficial Cuaternario"*. Memoria final. Diciembre, 2017. - C.R. ARCO SUR MAR MEMOR - FutureWater Report 176- .), exclusivamente para el nivel acuífero Cuaternario, dentro de la delimitación topográfica denominada "Cota 120". Esta piezometría, por tanto, no resulta de ningún modelo sino de la interpolación directa de las medidas experimentales obtenidas en dicho trabajo durante el año 2012.

Según este esquema se observa que las isopiezas guardan cierta regularidad por cada hidro-

sector definible, sin que se produzcan importantes distorsiones debidos a zonas de recargas o descargas; por lo que la interpolación que se pretende establecer en el modelo a dicha escala puede ser muy asumible para deducir agrupaciones de estaciones equivalentes con co-series analíticas armonizadas entre así; al menos para ciertas condiciones de profundidad, y en función del nivel acuífero intersectado (como veremos). Por lo que mientras se conserven, fundamentalmente, unas mismas condiciones quasi-estables de flujo podremos sectorizar una red de control y seguimiento periódico en base a esta distribución.

2. Contexto hidrogeológico de la MSBT Campo de Cartagena para la asignación de hidrosectores y estaciones sectoriales

Para la aplicación del modelo de los hidrosectores hexagonales de 50 km² del apartado anterior, en primer lugar, debemos buscar un sistema

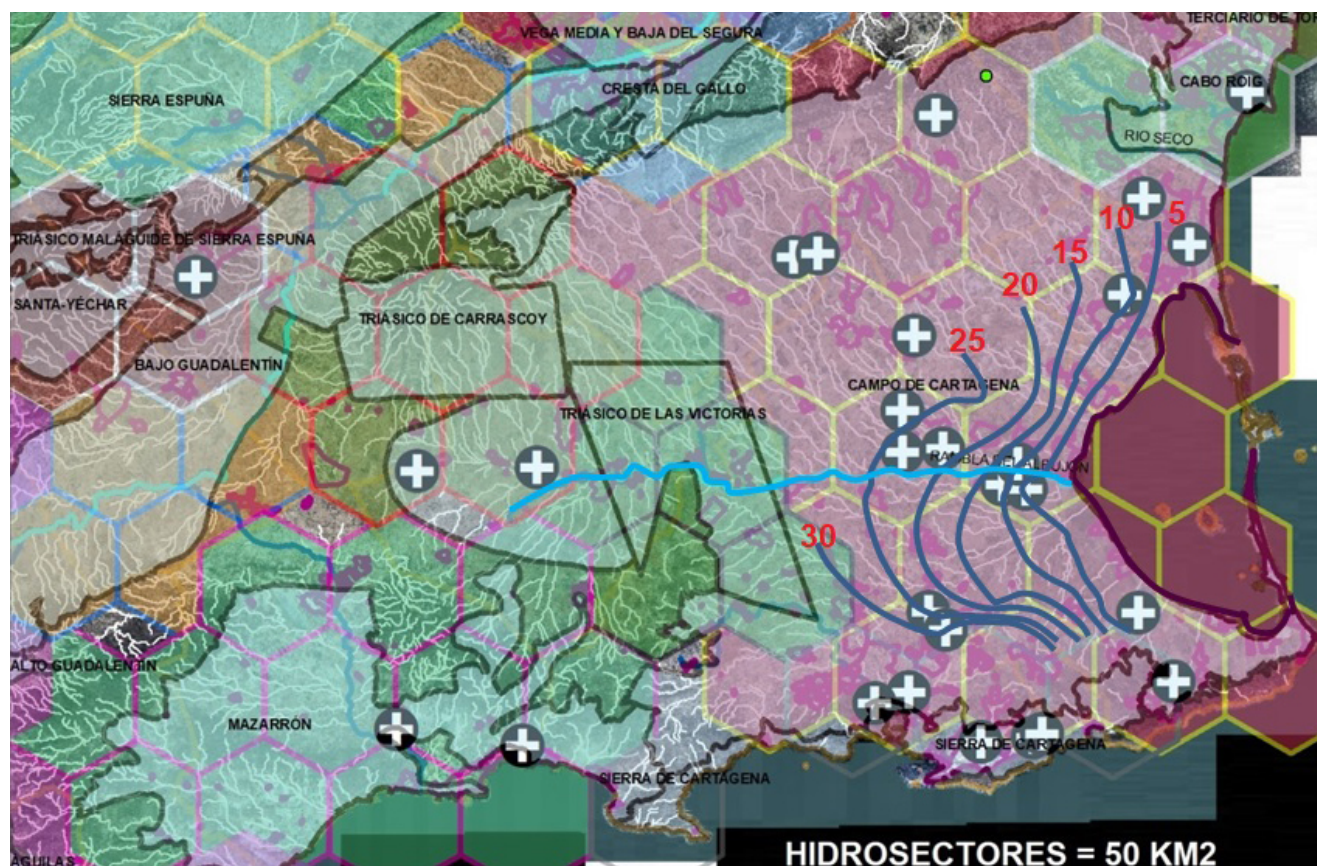


Figura 1. Mapa de la red de control de calidad de aguas subterráneas sobre la definición de hidrosectores de 50 km² de superficie, de forma hexagonal, sobre el trazado de isopiezas.

Figure 1. Map of the groundwater quality control network on the definition of hydrosectors with a surface area of 50 km², hexagonal in shape, on the layout of isopiezas.

de codificación de los mismos, que sea intuitivo y relativamente fácil de localizar en un mapa. Se propone la codificación basada en la codificación numérica binaria del Instituto Geográfico Nacional, asumida por el IGME con la introducción de los nueve dígitos (octantes y números de orden). Si bien sólo se va a utilizar los primeros cuatro dígitos, considerando que se trata de hexágonos y no cuadrantes y, para la correspondencia por no ser exacta sino aproximada, se va a necesitar la añadidura de letras o números accesorios al código. No obstante, es difícil provocar una duplicidad o indeterminación en la asignación unívoca del código ya que éste también se complementa con parte del código respectivo de cada MSBT referida.

A modo de ejemplo se adjuntan todos los hidrosectores definidos en la MSBT "070.052 Campo de Cartagena" (Tabla 1), cuyos códigos incluyen los acuíferos que vamos a denominar acuíferos areales (indicados con un recuadro), como aquellos que se pueden definir dentro de una MSBT a lo largo de su superficie; y los correspondientes a niveles de acuíferos verticales (a lo largo de su perfil o profundidad).

De esta manera vamos a asignar a cada uno de los 41 hidrosectores areales las asociaciones de estaciones sectoriales, diferenciando las de los respectivos niveles acuíferos verticales.

Los hidrosectores de una misma área se corresponden con unas mismas primeras 4 cifras del código; a continuación, el código de la MSBT, añadiendo unos números tras unas barras inclinadas y/o guiones que hacen referencia al acuífero areal y/o al nivel acuífero, respectivamente.

El criterio general que se propone, sería el siguiente (Tabla 1):

- "52": Hace referencia a la entidad del código de la masa de agua subterránea implicada.
- "099": Código correspondiente al acuífero areal correspondiente
- "-1": Código del nivel acuífero del Cuaternario (como nivel más superficial)
- "-2": Código del nivel acuífero del Plioceno
- "-3": Código del nivel acuífero del Andalusiense
- "-4": Código del nivel acuífero del Tortoniense (que es ausente posiblemente en vertical, pero no como acuífero areal, denominado "La Naveta")
- "-5": Código del nivel acuífero del zócalo Bético (mármoles y calizas de mantos béticos)

3. Método del modelo estadístico para la definición de estaciones equivalentes a partir de sus co-series analíticas simultáneas en la MSBT Campo de Cartagena

Para verificar objetivamente dentro de una asociación de estaciones sectoriales si sus series analíticas están armonizadas, debemos establecer un índice estadístico concreto que nos sirva de criterio para llevar a cabo dicho reconocimiento.

Para ello nos basaremos en el concepto estadístico de la proporción o razón armónica, que se define como: *serie de tres valores, en la que el máximo ("A") tiene respecto del mínimo ("C") la misma razón que la diferencia entre el máximo y el medio ("B") tiene respecto de la diferencia entre el medio "B" y el mínimo* [en Hall, H.S. & Knight, S.R. (1949)]. Es decir, a modo de ejemplo, el concepto se basa en la sucesión de números que forman una progresión armónica de una colección de tres números consecutivos; a modo de ejemplo, los valores: 6, 4, 3.

Pero dicha proporción armónica puede expresarse bajo la fórmula siguiente: $B = 2 \cdot A \cdot C / (A + C)$.

Y en consecuencia, despejando:

$B = 2 / [(A + C) / (A \cdot C)] = 2 / [(A / A \cdot C) + (C / A \cdot C)] = 2 / [(1/C) + (1/A)]$; que es la expresión general de la media armónica aplicada a la proporción armónica de una triada de valores. Por lo que la media armónica, en general, se expresa: $B = MH = n / [(1/x_1) + \dots + (1/x_n)]$ (para $i=1 \dots i=n$).

Por otra parte: A, B, y C pueden ser los valores máximo, medio y mínimo, respectivamente, de cada una de la serie-triada de datos obtenidos en tres fechas simultáneas de muestreos por cada estación de control en un mismo hidrosector.

Por lo que, si asignamos una primera estación sectorial como "X", y una segunda como "Y" se definen dobles triadas de datos para 3 fechas sucesivas únicas (o próximas en el tiempo), con 3 términos simultáneos, cuya correlación se puede plantear en la forma: $\{ (Ax_1, Cx_2, Bx_3) ; (Ay_1, By_2, Cy_3) \}$.

Nótese que las correlaciones sólo pueden realizarse entre las mismas fechas simultáneas o muy próximas en la fecha, y que tampoco tiene por qué ser los valores de cada término simultáneo ascendientes en la forma: $(Ax_1 < Bx_2 < Cx_3)$, o descendientes según: $(Ax_1 > Bx_2 > Cx_3)$; sino que pueden darse casos variables en la misma triada.

Nº	ESTACIONES SECTORIALES	CÓDIGO HIDROSECTOR	ACUÍF. /NIVELES	HETEROGENEIDAD /ANISOTROPÍA	COD. MSBT
1	CA0731012, CA0731013	26380-52/099	099	Acuífero La Naveta Tortoniense	070.052
2	CA07NI-40, CA07NI-40S	26380-52-1-2	100-q-p	Nivel Acuíf. Cuater-Plioceno	070.052
3	CA0731028	26387-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
4	CA0731026	26394-52-3	100-a	Nivel Acuíf. Andaluciense	070.052
5	CA07NI-47	27373-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
6	CA0731011	27373-52-2	100-p	Nivel Acuíf. Plioceno	070.052
7	CA0731011A	27373-52-3	100-a	Nivel Acuíf. Andaluciense	070.052
8	CA0731020S	27376-52-1-2-3	100-a-p-q	Nivel Acuíf. Cuater-Plioc_Andal	070.052
9	CA0731001	27376-52-2	100-p	Nivel Acuíf. Plioceno	070.052
10	CA0731021, CA0731021S	27376-52-2-3	100-p-a	Nivel Acuíf. Plioc-Andal	070.052
11	CA0731020	27376-52-3	100-a	Nivel Acuíf. Andaluciense	070.052
12	CA0731023, CA07NI-45, CA07NI-48	27377-52-3	100-a	Nivel Acuíf. Andaluciense	070.052
13	CA07NI-34	27380-52-1-2	100-q-p	Nivel Acuíf. Cuater-Plioceno	070.052
14	CA07000022	27380-52-2	100-p	Nivel Acuíf. Plioceno	070.052
15	CA07NI-46	27383-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
16	CA0731010	27383-52-3	100-a	Nivel Acuíf. Andaluciense	070.052
17	CA07NI-44, CA0731SM-12	27384-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
18	CA0731-SIC01	27384-52-3	100-a	Nivel Acuíf. Andaluciense	070.052
19	CA07NI-39	27386-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
20	CA07NI-42	27387-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
21	CA07NI-37	27387-52-1-2	100-q-p	Nivel Acuíf. Cuater-Plioceno	070.052
22	CA0731002	27387-52-2	100-p	Nivel Acuíf. Plioceno	070.052
23	CA07000032S, CA0731- ALB2, CA0731SM-06	27388-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
24	CA0731-ALB3	27388-52-1-2	100-q. p	Nivel Acuíf. Cuater-Plioceno	070.052
25	CA07000030, CA07000030S, CA0731-ALB5	27388-52-2	100-p	Nivel Acuíf. Plioceno	070.052
26	CA07NI-65	27392-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
27	CA07NI-38, CA0731-LINDE2	27392-52-5	100-b	Nivel Acuíf. Bético	070.052
28	CA0731003, CA07NI-49, CA0731-EDSAL	27393-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052
29	CA0731-POBRES	27393-52-1-5	100-q-b	Nivel Acuíf. Cuater-Bético	070.052
30	CA0731022	27394-52-5	100-b	Nivel Acuíf. Bético	070.052
31	CA0731-SIC02, CA0731- SIC02S, CA0731SM-01	27399-52-1	100-q	Nivel Acuíf. Cuaternario	070.052

Tabla 1. Agrupaciones de estaciones de control por hidrosectores areales (enmarcados); con sus correspondientes niveles acuíferos de la "MSBT. Campo de Cartagena". Base de datos NABIA- CHS (2021).

Table 1. Groups of control stations by areal hydrosectors (framed); with their corresponding aquifer levels of the "MSBT. Campo de Cartagena". NABIA-CHS Data Database (2021).

Para el ejemplo anterior, precisamente, presentamos el caso variable de: $Ax_1 > Cx_2 > Bx_3$; y para la segunda triada el caso descendiente: $Ay_1 > By_2 > Cy_3$.

A continuación, operaremos en la fórmula de la proporción armónica correlacionando, dos a dos, cada término simultáneo de la triada, del modo siguiente:

Cuando: $Ax_1 > Ay_1 \rightarrow A = Ax_1$; $C = Ay_1$; Luego: $B_1 = 2 Ax_1 \cdot Ay_1 / (Ax_1 + Ay_1)$

Que es lo mismo que si: Si $Ax_1 < Ay_1 \rightarrow A = Ay_1$; $C = Ax_1$; Luego: $B_1 = 2 Ay_1 \cdot Ax_1 / (Ay_1 + Ax_1)$

Y representando todos los demás casos de la triada, generalizando y resumiendo, se obtiene las siguientes relaciones:

- $B_1 = 2 Ay_1 \cdot Ax_1 / (Ay_1 + Ax_1) = MH_1$
- $B_2 = 2 Cx_2 \cdot Ay_2 / (Cx_2 + Ay_2) = MH_2$
- $B_3 = 2 Bx_3 \cdot Cy_3 / (Bx_3 + Cy_3) = MH_3$

Es decir, a efectos de su aplicación técnica entre 2 estaciones, podemos identificar los respectivos valores medios “B₁”, “B₂” “B₃” con el concepto de las respectivas medias armónicas “MH₁”, “MH₂”, “MH₃”, reconociendo intuitivamente que cuanto más cerca esté la media armónica de cualquiera de los términos simultáneos “MH” a su media aritmética “MA”, (o como índice MH/MA más próximo a la unidad), la relación de los promedios de las triadas va a estar más “armonizado” bajo un mismo efecto antrópico común que puede afectar simultáneamente al mismo par de estaciones potencialmente equiparables, para cada uno de los valores obtenidos en sus co-series, y para cierto periodo de estabilidad de flujo en el mismo hidrosector.

Y, en definitiva, definimos un nuevo índice del promedio de los índices armonizados: $1/n \sum (MH_i/MA_i)$ (para $i=1 \dots i=n$), procedentes de series analíticas simultáneas (para 2 o más estaciones); aunque es conveniente partir de 3 fechas simultáneas (no menos de 3). Es decir, definir triadas de valores con el fin de que el Índice del Promedio de Armonización de las analíticas sea lo más característico para un periodo de correlación, según: $I_{par} = [B_1/MA_1 + B_2/MA_2 + B_3/MA_3] / 3$

No obstante, el valor del Índice del Promedio de Armonización “I_{par}” será más significativo cuanto mayor sea el número de registros o términos sincrónicos correlacionados.

Y como conclusión final del modelo en su aplicación experimental, se propone que para $I_{par} \geq 70\%$ se pueda inducir el hecho de que dichas se-

ries de estaciones de control estén armonizadas en el mismo sector por un mismo efecto antrópico externo, lo que hace que dichas estaciones puedan actuar como equivalentes; al menos para un periodo concreto de tiempo considerado y si no se producen importantes variaciones del flujo hidrogeológico.

Sin embargo, también debemos diferenciar lo que vamos a denominar: “series correlacionadas” y “series armonizadas”; ya que para el primer caso el índice estadístico que aplicamos es el coeficiente de determinación (cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson, R^2), como índice adimensional que adquiere valores entre 0 y 1 ($R^2 = 1$, ajuste lineal perfecto); pero no siempre un modelo lineal está armonizado como se determina por la aplicación del I_{par} ,

No obstante, para la definición de la bondad del modelo entre co-series armonizadas ($I_{par} \geq 70\%$) esto se fundamenta, aproximadamente, en el mismo rango de bondad que se le atribuye a R^2 en el percentil 69%. De modo que veremos a continuación cómo cada uno de estos índices nos determina unas conclusiones por separado para hacernos replantear, en general, 3 diferentes escenarios de correlaciones y armonizaciones dentro del hidrosector (y 4 o 5 ejemplos por separado, como se verá en el apartado de resultados):

ESCENARIO A: Se obtienen co-series armonizadas para un parámetro antrópico entre estaciones de un mismo hidrosector del acuífero, con valor: $I_{par} \geq 70\%$; independientemente del valor R^2 .

ESCENARIO B (EFECTO LOCAL): Son los casos intermedios, donde $I_{par} < 70$, por lo que inducimos que se trata de co-series no armonizadas si bien sus co-series simultáneas para las hidrofacies pueden estar correlacionadas según $R^2 > 0,5$. En la Tabla 2 se representa alguno de estos casos para 2 estaciones de un mismo hidrosector del mismo nivel acuífero (Andaluciese), donde ambas series están correlacionadas sobre la base de los parámetros mayoritarios (p.ej.- los cloruros), con hidrofacies correlacionadas e incluso armonizadas; pero en cambio sus co-series para el parámetro nitrato no están armonizadas ($I_{par} < 70$).

Este escenario, aparentemente paradójico, podría representar la suma de efectos mixtos o indeterminados cuyo origen podría deberse a 2 causas: a) particularidad de la configuración de flujo del hidrosector considerado, debido a un posible salto piezométrico interno (por la posibilidad de intersección de mezcla entre niveles); o por el

		CA07NI-45		CA07NI-48			
PARÁMETRO	FECHA	X	Y	MA	MH	MH/MA	
CLORUR	18-jun-07	1161,20	920,70	1040,95	1027,06	0,99	
CLORUR	12-nov-07	1296,00	998,30	1147,15	1127,84	0,98	
CLORUR	14-abr-08	1016,00	1042,00	1029,00	1028,84	1,00	
CLORUR	13-oct-08	1802,80	1241,10	1521,95	1470,12	0,97	
						0,99	I_{par}
	Coef_correlación R^2 :		0,69				

PARÁMETRO	FECHA	X	Y	MA	MH	MH/MA	
NITRAT	18-jun-07	4,60	1,35	2,97	2,09	0,70	
NITRAT	12-nov-07	14,00	2,11	8,05	3,67	0,46	
NITRAT	14-abr-08	1,60	0,79	1,20	1,06	0,89	
NITRAT	14-oct-08	0,50	3,50	2,00	0,88	0,44	
						0,62	I_{par}
	Coef_correlación R^2 :		0,00				

Tabla 2. Efecto local: cotejo de estaciones de un mismo hidrosector con co-series del parámetro cloruro (hidrofacies), y con co-series del parámetro nitrato sin armonización completa $I_{par} < 70\%$ (MASB. Campo de Cartagena. Base de datos NABIA-CHS (2021).

Table 2. Local effect: Comparison of stations of the same hydrosector with co-series of the chloride parameter (hydrofacies), and with co-series of the nitrate parameter without complete harmonization $I_{par} < 70\%$ (MASB. Campo de Cartagena. NABIA Data Base - CHS (2021).

contrario, b) debido a una posible fuerte dispersión en los efectos antrópicos (alta variedad puntual o estacional en la recarga superficial del hidrosector); ya que, aunque sean estaciones del mismo nivel acuífero, las hidrofacies a pesar de su buena correlación presentarían una desarmonía entre sus co-series analíticas para el parámetro nitrato que denominaremos “efecto local”: p.ej.- una recarga puntual diferenciada (con una mayor o menor concentración del analito) que puede darse sólo para una de las estaciones, lo que las hace no-armonizadas aunque ambas estén en el mismo nivel acuífero.

Para estos casos, por tanto, las causas pueden ser atribuidas a diferentes condiciones en la sincronización de la afección del hidrosector de muestreo. Tal vez por presumibles afecciones antrópicas y/o piezométricas diferenciadas; o porque los efectos antrópicos que se originan en la contaminación no se han registrado exactamente de un modo simultáneo (entre otras causas posibles por determinar).

ESCENARIO C: Por último, para: $I_{par} < 70$ e índices $R^2 < 0.5$ debemos inducir, en principio, que se trata de co-series no armonizadas y no correlacionadas, por lo que si sus estaciones se ubican en el mismo hidrosector areal debemos concluir

que intersectan niveles acuíferos en vertical diferentes (hidrosectores solapados verticales).

Y, en resumen, el índice fundamental a tener en cuenta para la determinación de estos escenarios debe de considerarse el “ I_{par} ”, como se verá más adelante.

4. Justificación del criterio de la selección de las formas de mallas en forma hexagonal para el modelo de sectorización de las MSBT

Hasta el momento se ha hablado de la utilización de un mallado de celdillas hexagonales de 50 km², pero no se ha justificado el motivo por lo que se debe emplear éstas y no otras, considerando que existe en la bibliografía, para la utilización de los modelos de flujo, mallas de celdilla de diferentes tipos; como triángulos equiláteros o, en general, el mallado con celdillas cuadradas o rectangulares.

Cabe destacar que lo que se pretende con la configuración del mallado para la sectorización de una red de control poco o nada tiene que ver con el algoritmo para los mallados bidimensionales empleados en los modelos de flujo hidrodinámico, que es por lo que se debe distinguir, previamente, sus objetivos principales.

En general, la definición de una malla óptima para la sectorización de una red de control de calidad con celdillas homologables, fundamentalmente, debemos basarnos en las siguientes características:

Máxima teselación: entendiéndolo por ello la referencia a la simetría que ofrece la regularidad en la disposición de una celdilla extendida en dos dimensiones, y bajo las premisas de que no queden espacios o huecos en los vértices, para que pueda existir un solapamiento o superposición entre ellas (en sentido vertical).

Es por ello que para nuestro primer propósito se excluyen las mallas con celdillas irregulares (no hay cadencia), así como los pentágonos, heptágonos, etc. (originarían huecos en los vértices). Ya que se tiene que cubrir toda una superficie modelable para el conjunto de una misma masa de agua subterránea, sin que se pueda producir estas anomalías.

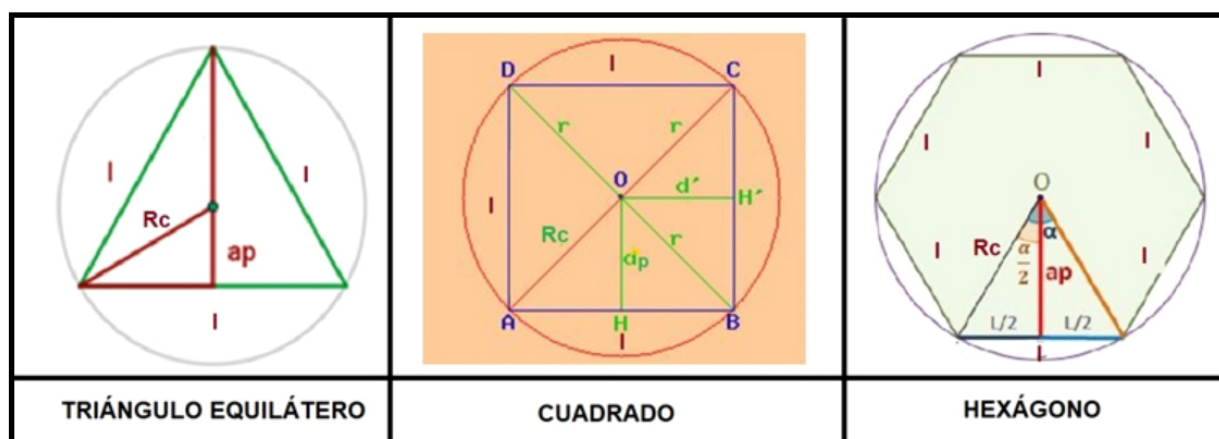
Principio del mínimo esquinamiento: Asimismo, las celdas tienen que cumplir con el mínimo

“Índice de esquinamiento” (I_e). Que se define como: $I_e = R_c / A_p$

Donde: “ R_c ” es el valor de los radios de los círculos circunscritos a las respectivas formas de las celdillas; y “ A_p ” es el valor de las respectivas apotemas de cada una de estas formas de celdilla.

En la Figura 2 se representa las fórmulas, los valores y los trazados de R_c y A_p para cada una de las celdillas fundamentales regulares motivo de la máxima teselación (triángulos equiláteros, cuadrados y hexágonos), sobre la base de una misma Área de 50 km².

Se deduce que la única celdilla regular de las descritas que puede formar un mallado con el valor mínimo del índice de esquinamiento tiene la forma del hexágono, ya que para mínimos inferiores a: $I_e = 1,5$ como el heptágono, octógono, decágono, etc., estas celdillas no formarían mallas teseladas. Y para el caso extremo del círculo, formaría mallas con vértices sin definición de flujo.



CELDILLA REGULAR	ÁREA [km ²]	Formula “Rc”	“Rc” [Kms]	Fórmula “Ap”	“Ap” [Kms]	$I_e = R_c / A_p$
Triángulo Equilátero	50	$(2/3) * \text{Raiz2}[Area * \text{TAN}(\pi/3)]$	6,20	$(1/3) * \text{Raiz2}[Area * \text{TAN}(\pi/3)]$	3,10	2,00
Cuadrado	50	$\text{Raiz2}[2 * Area] / 2$	5,00	$\text{Raiz2}[Area] / 2$	3,54	1,41
Hexágono	50	$2 * \text{Raiz2}[Area * \text{TAN}(\pi/6) / 6]$	4,39	$\text{Raiz2}[Area * \text{TAN}(\pi/6) * 6]$	3,80	1,15

Figura 2. Relación de índices para una misma área de 50 km² entre las celdillas regulares fundamentales motivo de la máxima teselación (triángulos equiláteros, cuadrados y hexágonos).

Figure 2. Relation of indices for the same area of 50 km² between the fundamental regular cells that are the reason for the maximum tessellation (equilateral triangles, squares and hexagons).

Por lo que el objetivo final de esta justificación se centra en que vamos a elegir la forma de una celdilla que pueda comprender elementos que sean espacialmente los más próximos y donde los efectos de los esquinamientos sean los mínimos; pero también que cumplan con los mínimos perimetrales de celdilla. Para este supuesto, por tanto, el ideal es la celdilla hexagonal que forma el mallado típico en panal de abeja.

5. Resultados

Para la aplicación real del modelo estadístico basado en el índice " I_{par} " para la armonización de algunas de las series simultáneas de estaciones de control de los hidrosectores de la MSBT del Campo de Cartagena, vamos a tomar como parámetro químico de interrelación la concentración del nitrato, cuyo valor límite de la norma de calidad se fija en 50 mg/l, con el fin de poder analizar el efecto antrópico posible en la armonización de co-series de estaciones sectoriales e intersectoriales (Tabla 3).

Y generalizando, se obtiene el promedio " I_{par} " de los respectivos índices armonizados: $1/n \sum (MH_i/MA_i)$ (para $i=1 \dots i=n$), según la interpretación de los distintos casos para los diferentes escenarios descritos anteriormente (Figuras 3, 4, 5 y 6), determinados por el promedio de los respectivos cocientes entre la media aritmética y la media armónica deducible: $B_i = H_i = n (A_i \cdot C_i) / (A_i + C_i)$.

En la Figura 3 se muestra el claro ejemplo de 2 estaciones con co-series armonizadas para el parámetro nitrato en el mismo hidrosector, por lo que ambas estaciones pueden ser consideradas como equivalentes en la concatenación y/o solapamiento de sus series de valores para el parámetro en cuestión (escenario A).

Por el contrario, 2 estaciones ubicadas en un mismo hidrosector "areal", pero no armonizadas, nos indica, en general, que pueden estar en niveles de acuíferos diferentes con condiciones contrapuestas; es decir, significa que pueden pertenecer a hidrosectores diferentes definibles en la vertical (caso del ejemplo que se comenta a continuación).

En la Figura 4, en cambio, se muestra el caso de la Tabla 2, cuando dos estaciones que, en principio, están correlacionadas por unas mismas hidrofacies al estar ubicadas en un mismo acuífero confinado como puede ser el nivel Andalucien-se de la MASBT "Campo de Cartagena", ofrecen co-series simultáneas no totalmente armoniza-

das, donde las causas antrópicas de contaminación pueden no ser exactamente homólogas, aparte de otras posibles causas ya mencionadas, como las distorsiones internas de flujo hidrogeológico dentro del mismo hidrosector por el "efecto local", etc. (escenario B)

Para los ejemplos de las Figuras 5 y 6, se cumple lo que por lo común se debe cumplir para las series de hidrosectores diferentes (escenario C), donde se diferencian, respectivamente, los casos entre estaciones de hidrosectores areales distintos y entre hidrosectores verticales diferentes. En estos casos, aunque las co-series de las hidrofacies puedan estar correlacionadas aparecen como no armonizadas para un parámetro antrópico (p.ej.- el nitrato), cuya explicación más plausible es sencillamente considerar que no hay aquí un efecto antrópico común para dicha sustancia y las estaciones no pueden ser equivalentes.

Estos 4 casos parte de los escenarios básicos que puede establecerse en la relación de co-series simultáneas entre estaciones de control. Si bien, puede darse un 5º caso donde las co-series de distintos hidrosectores areales se ofrecen armonizadas; algo que puede suceder y que sería casi lo normal, ya que se interpretaría como un efecto homogéneo extensible a una mayor superficie de la MASBT. Sin embargo, los análisis del modelo estadístico de armonización del cotejo de co-series simultáneas siempre debe partir de estaciones ubicadas dentro del mismo hidrosector areal o vertical (sectoseries).

Y para los casos excepcionales de estaciones de control que están como armonizadas y ubicadas en hidrosectores verticales diferentes esto tampoco supone ninguna paradoja ya que nos indica que las condiciones de calidad entre los niveles acuíferos que comprende una MASBT también podría considerarse como isótropa para esos niveles, aunque no se localice próxima la causa antrópica que origina la contaminación identificada del analito; es decir, para estos casos se reforzaría el ejemplo de la persistencia generalizada de una contaminación "difusa" global a los nitratos extendida a una MASBT de comportamiento isótropo.

No obstante, nos reiteramos, que estos ejemplos de armonización entre series de estaciones en acuíferos o niveles de acuíferos diferentes deben estar fuera del planteamiento inicial de los objetivos de nuestro modelo estadístico, ya que no debe extrapolarse más allá del hidrosector como unidad base.

ESTACIÓN-X	FECHA SINCRÓNICA	HIDROSECTOR	VALOR A	ESTACIÓN-Y	HIDROSECTOR	VALOR C
CA0731003	13-mar-07	27393-52	218,96	CA07NI-49	27393-52	160,60
CA0731003	19-jun-07	27393-52	253,80	CA07NI-49	27393-52	172,80
CA0731003	13-nov-07	27393-52	221,70	CA07NI-49	27393-52	150,40
CA0731003	15-abr-08	27393-52	226,50	CA07NI-49	27393-52	178,00
CA0731003	17-sep-08	27393-52	150,20	CA07NI-49	27393-52	178,70
CA0731003	13-mar-19	27393-52	161,00	CA07NI-49	27393-52	244,00
CA0731003	26-feb-20	27393-52	202,22	CA07NI-49	27393-52	323,00
CA0731003	29-abr-20	27393-52	257,00	CA07NI-49	27393-52	266,00
CA0731003	16-jul-20	27393-52	388,00	CA07NI-49	27393-52	316,00
CA0731003	18-feb-21	27393-52	151,00	CA07NI-49	27393-52	238,10
CA0731001	30-jul-90	27376-52-2	36,90	CA0731002	27387-52	62,30
CA0731001	29-jun-92	27376-52-2	6,00	CA0731002	27387-52	28,00
CA0731001	23-nov-92	27376-52-2	20,00	CA0731002	27387-52	32,00
CA0731001	30-sep-93	27376-52-2	12,00	CA0731002	27387-52	22,00
CA0731001	01-may-94	27376-52-2	9,00	CA0731002	27387-52	35,00
CA0731001	01-mar-95	27376-52-2	13,00	CA0731002	27387-52	41,00
CA0731001	20-sep-95	27376-52-2	13,00	CA0731002	27387-52	4,00
CA0731001	24-may-96	27376-52-2	10,00	CA0731002	27387-52	5,00
CA0731001	11-feb-02	27376-52-2	12,80	CA0731002	27387-52	65,10
CA0731001	04-jul-02	27376-52-2	18,60	CA0731002	27387-52	94,80
CA0731001	29-ene-03	27376-52-2	20,30	CA0731002	27387-52	98,30
CA0731001	02-jul-03	27376-52-2	15,30	CA0731002	27387-52	63,40
CA0731001	24-nov-05	27376-52-2	11,80	CA0731002	27387-52	129,60
CA0731001	21-nov-06	27376-52-2	5,00	CA0731002	27387-52	102,80
CA0731001	04-dic-07	27376-52-2	0,80	CA0731002	27387-52	83,60
CA0731001	09-sep-08	27376-52-2	13,10	CA0731002	27387-52	126,10
CA0731001	16-mar-10	27376-52-2	3,91	CA0731002	27387-52	0,00
CA0731001	18-may-10	27376-52-2	5,51	CA0731002	27387-52	79,72
CA0731001	22-dic-10	27376-52-2	11,74	CA0731002	27387-52	0,00
CA0731001	15-jun-11	27376-52-2	1,11	CA0731002	27387-52	0,00
CA0731001	23-nov-11	27376-52-2	4,26	CA0731002	27387-52	0,00
CA0731001	03-jul-12	27376-52-2	0,10	CA0731002	27387-52	0,10
CA0731001	15-ene-13	27376-52-2	1,23	CA0731002	27387-52	0,00
CA0731001	23-may-13	27376-52-2	0,00	CA0731002	27387-52	0,00
CA0731020	25-abr-16	27376-52-3	9,08	CA0731020S	27376-52	115,00
CA0731020	25-abr-18	27376-52-3	49,00	CA0731020S	27376-52	106,00
CA0731020	23-jul-18	27376-52-3	14,00	CA0731020S	27376-52	105,00
CA0731020	10-dic-18	27376-52-3	7,20	CA0731020S	27376-52	107,00
CA0731020	11-abr-19	27376-52-3	22,00	CA0731020S	27376-52	90,00
CA0731020	26-may-20	27376-52-3	62,00	CA0731020S	27376-52	99,00
CA0731020	29-jul-20	27376-52-3	34,00	CA0731020S	27376-52	153,00
CA07NI-45	18-jun-07	27377-52-3	4,60	CA07NI-48	27377-52-3	1,35
CA07NI-45	12-nov-07	27377-52-3	14,00	CA07NI-48	27377-52-3	2,11
CA07NI-45	14-abr-08	27377-52-3	1,60	CA07NI-48	27377-52-3	0,79
CA07NI-45	14-oct-08	27377-52-3	0,50	CA07NI-48	27377-52-3	3,50

Tabla 3. Ejemplo de registros de muestreos simultáneos (co-series) para el parámetro nitrato entre estaciones del mismo y de diferentes hidrosectores de la Red de Control de Calidad de Aguas Subterráneas. MSBT del “Campo de Cartagena”. Base de datos NABIA- CHS (2021).

Table 3. Example of simultaneous sampling records (co-series) for the nitrate parameter between stations of the same and of different hydrosectors of the Groundwater Quality Control Network. MSBT of the “Campo de Cartagena”. NABIA-CHS Database (2021).

FECHA	CA0731003 / 27393-52	CA07NI-49 / 27393-52	MA	MH	MH/MA
13-mar-07	218,96	160,60	189,78	185,29	97,64
19-jun-07	253,80	172,80	213,30	205,61	96,39
13-nov-07	221,70	150,40	186,05	179,22	96,33
15-abr-08	226,50	178,00	202,25	199,34	98,56
17-sep-08	150,20	178,70	164,45	163,22	99,25
13-mar-19	161,00	244,00	202,50	194,00	95,80
26-feb-20	202,22	323,00	262,61	248,72	94,71
29-abr-20	257,00	266,00	261,50	261,42	99,97
16-jul-20	388,00	316,00	352,00	348,32	98,95
18-feb-21	151,00	238,10	194,55	184,80	94,99
					97,26 I_{par}

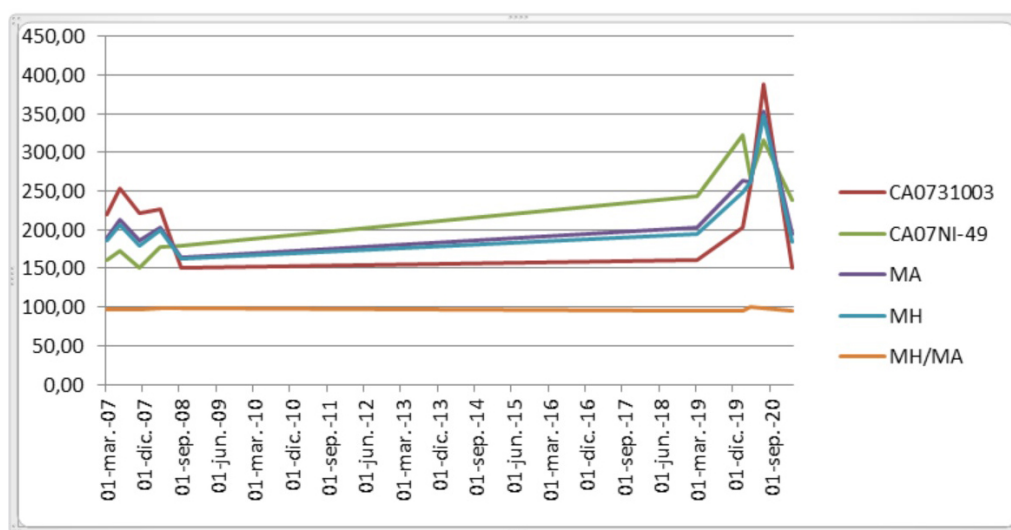


Figura 3. Estaciones con co-series armonizadas por encima de la Norma de calidad para el parámetro nitrato. Estaciones en el mismo hidrosector “27393-52” MASBT Campo de Cartagena.

Figure 3. Stations with harmonized co-series above the Quality Standard for the nitrate parameter. Stations in the same hydrosector “27393-52” MASBT Campo de Cartagena.

6. Discusión

6.1. Aplicación general de las estaciones sectoriales básicas en el diseño de las redes de control en las MSBT de ámbito costero de la demarcación hidrográfica del Segura

Por un lado se puede definir la Superficie Acuifera (S_{Aq}) de una MSBT como la suma de todas las superficies de acuíferos incluidos en dicha MSBT. Es decir: $S_{Aq} = \sum_{i=n}^{i=m} S_i$

Por otra parte se puede definir un Índice de Contribución de Acuíferos (I_{CA}) a la MSBT como el tanto por ciento de contribución de la superficie de un acuífero específico “i” dentro de la superficie acuifera. Es decir: $I_{CA} \% = S_i / S_{Aq}$

Asimismo, será fundamental considerar el Grado de homogeneidad de la superficie acuífe-

ra dentro de una masa de agua subterránea ($G_{hm} \%$), como el tanto por ciento que comprende la superficie total acuifera (S_{Aq}) dentro de la superficie total de la masa de agua subterránea.

De este modo, como corolario, se deduce también el Grado de heterogeneidad de la superficie acuifera dentro de la misma masa de agua subterránea ($G_{ht} \%$), como concepto complementario al de la homogeneidad, en la forma: $1 - G_{hm} \%$.

Y en general, el concepto de Grado de heterogeneidad nos sirve para establecer la proporción de superficies no-acuíferas respecto a una unidad hidrogeológica o incluso de las formaciones sin inventariar de toda una cuenca hidrológica (p.ej.- las cuencas vertientes de la DHS).

Este último caso se representa en la Figura 7 donde puede observarse la superficie que ocupa unas 37 Zonas de Exclusión de Masas de Agua

Subterránea (ZEMAS), como una cartografía en negativo respecto a las verdaderas unidades de agua subterránea que representa las MASBT.

Y en consecuencia puede definirse las zonas externas que se excluyen de las masas de agua subterránea como los cajones de sastre o la amalgama de formaciones geológicas que son impermeables, semipermeables y subálveos permeables, pero que por el momento han sido excluidas de la definición oficial de las MASBT por el PHDHS 2015-2021.

De estas ZEMAS cabe destacar las formaciones semipermeables que se identifican con los también denominados acuitardos, así como los subálveos permeables que se comportan como pequeños acuíferos locales con escaso coeficiente de almacenamiento.

En referencia a los acuitardos estos pueden definirse como formaciones de alta porosidad (20% al 40%), y con unos rangos de permeabilidad que varían entre los 10^{-4} a los 10^{-7} cm/s. (García Mariana, 2017); pudiendo actuar como

reservorios de los verdaderos acuíferos a través de una dirección de flujo predominantemente vertical (hacia arriba o hacia abajo), frente al flujo subhorizontal general de los acuíferos propiamente dichos.

Estos conceptos nos hacen estimar un índice final que vamos a denominar: “Número Óptimo de Estaciones Extrínsecas” (N_{OEX}); esto es, considerando la componente “areal” (en horizontal) de la masa de agua subterránea; sin considerar las formaciones permeables o niveles acuíferos en la vertical del terreno de una MSBT.

Por lo que se deduce el índice: $N_{OEX} = I_{DEOM} \times \text{Superficie Acuífera de una MSBT } (S_{Aq})$.

Y por otra parte, en los aspectos de isotropía/anisotropía interna de los acuíferos dentro de una MSBT, se puede definir un índice suplementario para el: “Número Óptimo de Estaciones Intrínsecas” (N_{OIN}); pero en este caso, considerando las formaciones permeables o incluso semipermeables en la vertical del terreno de una MSBT.

FECHA	CA07NI-45 /27377-52-3	CA07NI-48 /27377-52-3	MA	MH	MH/MA
25-abr-16	4,60	1,35	2,97	2,09	0,70
09-abr-17	14,00	2,11	8,05	3,67	0,46
25-abr-18	1,60	0,79	1,20	1,06	0,89
23-jul-18	0,50	3,50	2,00	0,88	0,44
					0,62

I_{par}

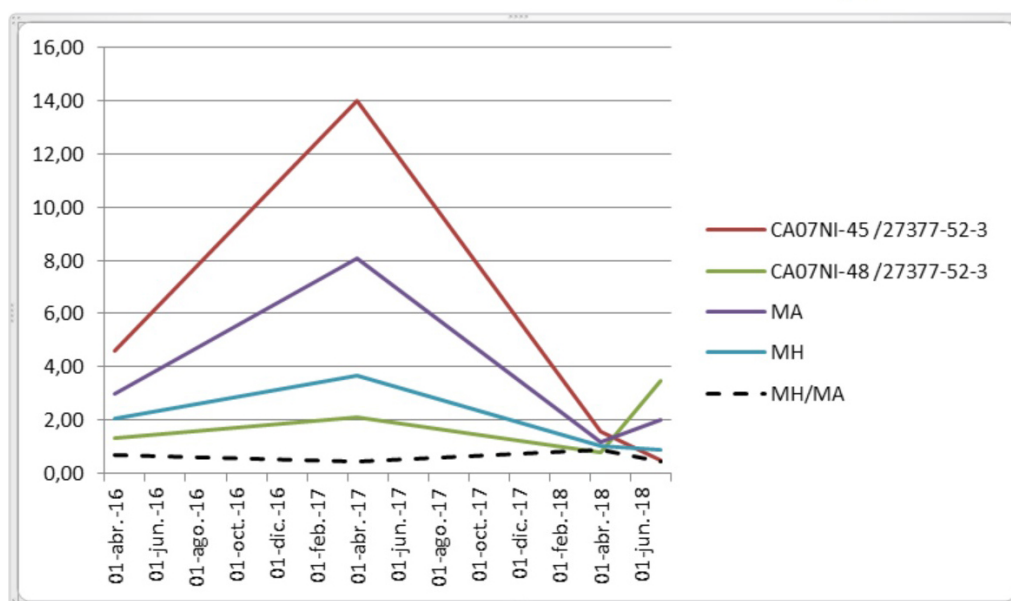


Figura 4. Estaciones con co-series no armonizadas para el parámetro nitrato en el mismo hidrosector vertical (mismo nivel acuífero confinado del Andaluciense) “27377-52-3”. MASBT “Campo de Cartagena”.

Figure 4. Stations with non-harmonized co-series for the nitrate parameter in the same vertical hydrosector (same confined aquifer level as the Andalucian) “27377-52-3”. MASBT “Campo de Cartagena”.

FECHA	CA0731001/ 27376-52-2	CA0731002/ 27387-52	MA	MH	MH/MA
27-jul-90	36,90	62,30	49,60	46,35	93,44
02-jul-92	6,00	28,00	17,00	9,88	58,13
24-nov-92	20,00	32,00	26,00	24,62	94,67
30-sep-93	12,00	22,00	17,00	15,53	91,35
04-may-94	9,00	35,00	22,00	14,32	65,08
01-mar-95	13,00	41,00	27,00	19,74	73,11
11-sep-95	13,00	4,00	8,50	6,12	71,97
06-jun-96	10,00	5,00	7,50	6,67	88,89
19-feb-02	12,80	65,10	38,95	21,39	54,93
10-jul-02	18,60	94,80	56,70	31,10	54,85
29-ene-03	20,30	98,30	59,30	33,65	56,75
03-jul-03	15,30	63,40	39,35	24,65	62,65
28-nov-05	11,80	129,60	70,70	21,63	30,59
20-nov-06	5,00	102,80	53,90	9,54	17,69
13-feb-07	0,80	83,60	42,20	1,58	3,76
10-sep-08	13,10	126,10	69,60	23,73	34,10
					59,50

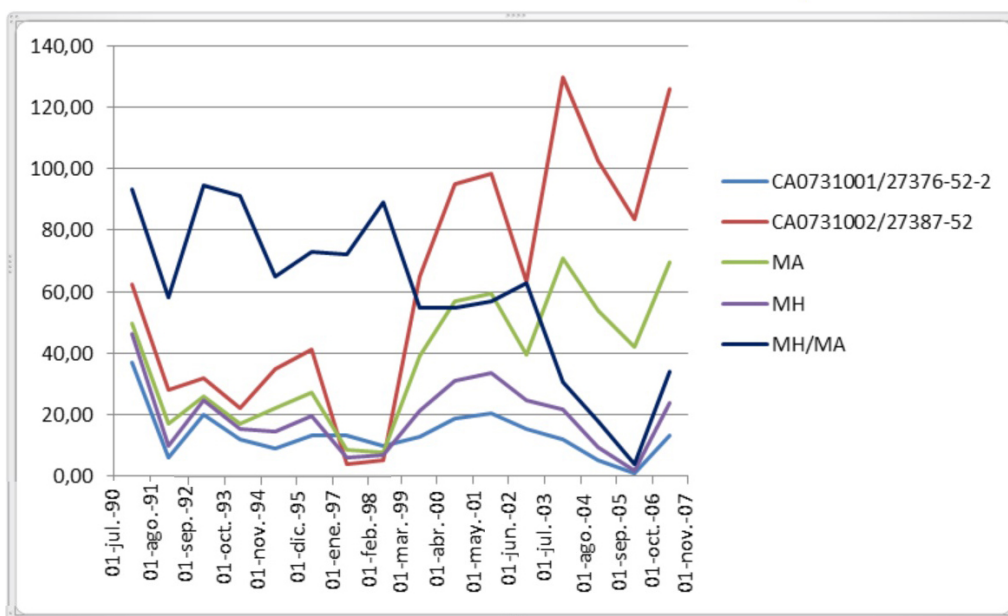
I_{par}

Figura 5. Estaciones con co-series no armonizadas para el parámetro nitrato por encima de la Norma de calidad. Estaciones en distintos hidrosectores areales: “27376-52-2” y “27387-52” MASBT Campo de Cartagena.

Figure 5. Stations with non-harmonized co-series for the nitrate parameter above the Quality Standard. Stations in different areal hydrosectors: “27376-52-2” and “27387-52” MASBT Campo de Cartagena.

Es decir: $N_{OIN} = \sum_{i=1}^{i=Tr} (Talla \text{ o } \text{Número Máximo de niveles acuíferos (i)} \times \text{Área Acuífero (i)}) / 50$ (redondeado al máximo entero).

Donde “Tr” es el Número Máximo de acuíferos areales que comprende la MSBT (lo que se puede denominar “Tara”). Así como, la “Talla” va a ser el número de niveles o formaciones captados dentro de un acuífero o MASBT anisótropo.

En definitiva, podemos concluir que: $N_{OEX} = N_{OIN}$ en una MSBT cuando se cumple que la Talla = 1 en todos los acuíferos. Condiciones que pue-

den considerarse el estándar para el control de calidad de una MSBT, pero con la excepción ejemplar del caso de la MSBT del Campo de Cartagena, como estamos viendo.

En definitiva, para el conjunto de las 7 masas de agua subterránea de ámbito costero, se obtiene las Tablas 4, 5, y 6 (que se expone más adelante), en las que se incluyen algunos de los mencionados parámetros e índices estadísticos que se han definido para los acuíferos areales de las respectivas MSBT. de ámbito costero, a modo de síntesis.

FECHA	CA0731020/ 27376-52-3	CA0731020S/ 27376-52	MA	MH	MH/MA
25-abr-16	9,08	115,00	62,04	16,83	0,27
25-abr-18	49,00	106,00	77,50	67,02	0,86
23-jul-18	14,00	105,00	59,50	24,71	0,42
10-dic-18	7,20	107,00	57,10	13,49	0,24
11-abr-19	22,00	90,00	56,00	35,36	0,63
26-may-20	62,00	99,00	80,50	76,25	0,95
29-jul-20	34,00	153,00	93,50	55,64	0,60
					0,60

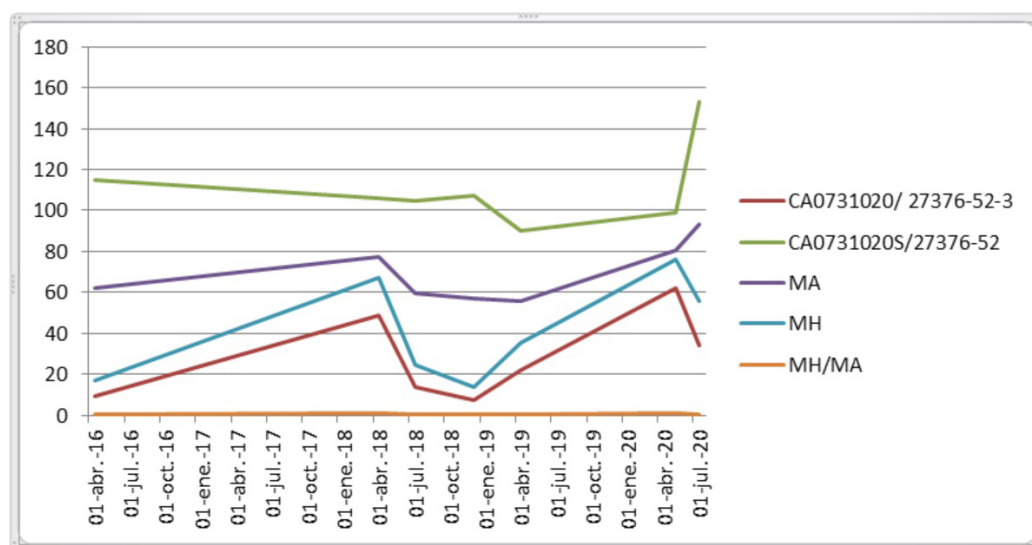
 I_{par} 

Figura 6. Estaciones con co-series no armonizadas para el parámetro nitrato en distintos hidrosectores verticales y en el mismo areal (en distintos niveles acuíferos) “27376-52-3” y “27376-52” MASBT Campo de Cartagena.

Figure 6. Stations with non-harmonized co-series for the nitrate parameter in different vertical hydrosectors and in the same areal (at different aquifer levels) “27376-52-3” and “27376-52” MASBT Campo de Cartagena.

Y en consecuencia el denominado “ N_{OIN} real” puede identificarse con el “Número Óptimo de Estaciones” sectoriales de los acuíferos y/o niveles acuíferos intrínsecos por cada MSBT; es decir, el número óptimo de estaciones básicas necesarias para una buena configuración de una red de control para el seguimiento de la calidad del agua subterránea. Número que podrá estar posteriormente “recortado” según la supervisión del Criterio de experto, pero siempre teniendo en cuenta los aspectos siguientes (como condiciones de contorno al modelo de los hidrosectores):

A) Discontinuidad litológica (tectónica y/o sedimentaria): A modo de ejemplo, en la MSBT Campo de Cartagena donde teóricamente podría detectarse hasta 5 niveles de acuíferos en profundidad, en algunos sectores de la extensión horizontal no tienen por qué definirse todos ellos. Caso es del nivel acuífero Andaluciense que difícil-

mente se intersecta en profundidad hacia la zona meridional o margen derecha de la rambla del Albuñón. O, por el contrario, las formaciones permeables béticas que difícilmente se detectan en la parte norte de dicha rambla. Asimismo, para el hipotético caso de la presumible formación permeable en profundidad del Tortoniense, sólo aflora éste en el vértice Noroeste-Norte de la MSBT. del Campo de Cartagena, definido como un acuífero areal independiente (reconocido con código “099”), pero sin evidencias claras de una continuación litológica en profundidad hacia el centro de la MASBT del Campo de Cartagena.

B) Diferentes acuíferos con las mismas facies analíticas armonizadas: como ya vimos, más allá de los casos propiamente sectoriales donde varias estaciones pueden considerarse equivalentes para un mismo acuífero o nivel acuífero, puede de-

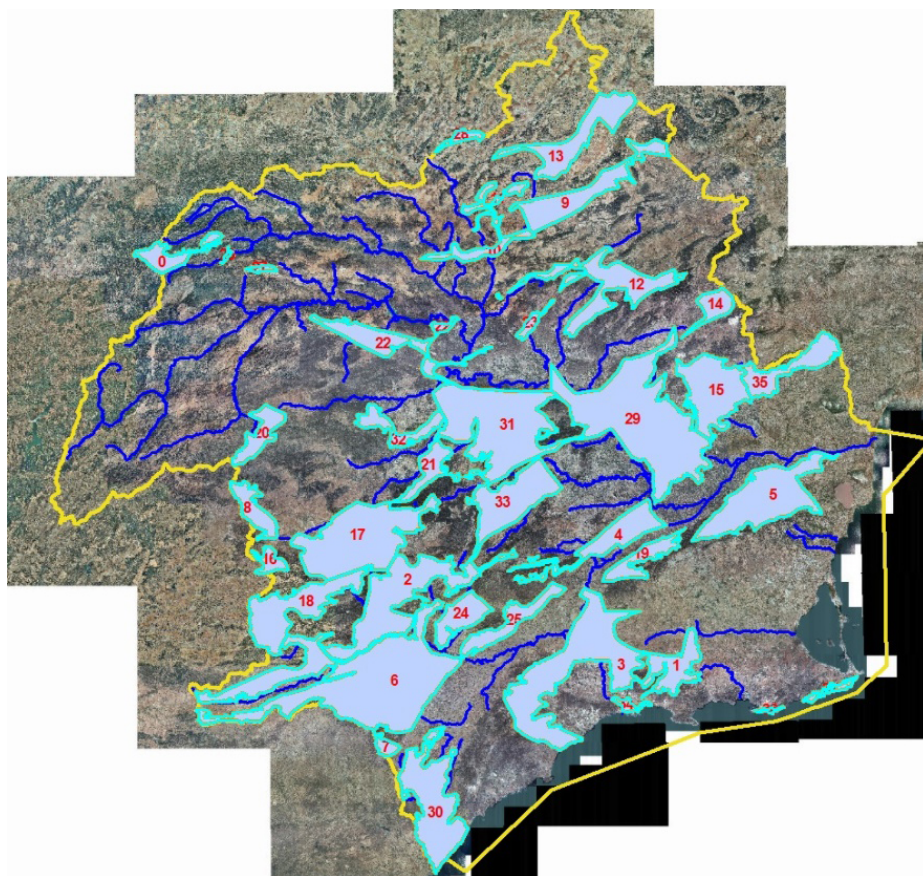


Figura 7. Mapa mostrando las Zonas de Exclusión de Masas de Agua Subterráneas (ZEMAS) en la DHS. Áreas de acuitardos, acuicludos y otros acuíferos menores (García Mariana, 2017).

Figure 7. Map showing the Groundwater Mass Exclusion Zones (ZEMAS) in the DHS. Areas of aquitards, aquicludes and other minor aquifers (García Mariana, 2017).

ducirse que el comportamiento analítico de algunos niveles acuíferos, más o menos colaterales en profundidad, pueden también presentarse como conjuntos armonizados ante casos generales de contaminación, aunque estén integrados por formaciones de niveles acuíferos de distinta edad geológica. Es decir, aunque puedan presentar hidrofacies diferenciadas, a veces presentan facies analíticas armonizadas para algunos de los parámetros de impacto de una misma acción antrópica. Este es el ejemplo de la contaminación potencial como pueden aparecer los niveles del Cuaternario y del Plioceno de la MSBT. del Campo del Cartagena que, a efectos del control y del seguimiento de la concentración de nitratos, pueden considerarse como un mismo nivel conjunto de control o de gestión (niveles con sectoserías armonizadas para el analito nitrato), aunque sean formaciones con hidrofacies algo dis-

tintas. Y ello también se debe a que en ocasiones los pozos de muestreo interseccionan ambos niveles donde se extraen aguas de facies mixtas.

En definitiva, para el concepto de armonización de las sectoserías la clave de su definición debe basarse en la vinculación de la formación acuífera o niveles acuíferos concretos con el tipo del parámetro analítico en que se basa su programa de control operativo de seguimiento. Por lo que las concentraciones detectadas entre 2 co-series simultáneas de estaciones para un mismo parámetro con $I_{pac} > 70\%$ será condición suficiente para considerarlas como armonizadas, sí y sólo sí, para ese parámetro. Ya que, aunque pueda parecer una condición necesaria que 2 estaciones para poder presentar sectoserías analíticas armonizadas en las operaciones de muestreo deben pertenecer a un mismo hidrosector acuífero o nivel acuífero concreto, como equivalentes, esto no es una condición suficiente.

Los índices que se incluyen en las Tablas 4, 5, 6 y 7 (en esta última como índices globales de cada MSBT), resumen, por tanto, los distintos caracteres y parámetros intrínsecos de los respectivos acuíferos y MSBT de índole costero en la DHS. Estos coeficientes nos sirven para ca-

racterizar la estructura interna de cada una de estas MSBT, pero principalmente, nos sirve de base para optimizar la red de control más óptima y eficiente.

Todas estas nociones van a ser fundamentales a la hora de establecer relaciones entre: a)

NOMBRE MASUBT.	STotal (Km2)	SAq (Km2)	ICA %	NOMBRE ACUÍFERO	TR: TARA	TL: TALLA	NOIN MAS.	Nº ESB
ÁGUILAS	377,95	50,1	33,60	AGUILAS-CALA REONA	1,00	1,00	1,00	1
ÁGUILAS	377,95	2,8	1,88	ATALAYA-TEJEDO	1,00	1,00	0,06	0
ÁGUILAS	377,95	1,8	1,21	CABEZO DE LA HORMA	1,00	1,00	0,04	0
ÁGUILAS	377,95	1,3	0,87	CABEZO DEL POZO	1,00	1,00	0,03	0
ÁGUILAS	377,95	1,5	1,01	CASA DE LAS LOMAS	1,00	1,00	0,03	0
ÁGUILAS	377,95	25,1	16,83	COPE-CALA BLANCA	1,00	1,00	0,50	1
ÁGUILAS	377,95	25,7	17,24	CUBETA DE PULPI	1,00	1,00	0,51	1
ÁGUILAS	377,95	2,5	1,68	ESCARIHUELA	1,00	1,00	0,05	0
ÁGUILAS	377,95	1	0,67	LAS ZORRAS	1,00	1,00	0,02	0
ÁGUILAS	377,95	1,2	0,80	LOSILLA	1,00	1,00	0,02	0
ÁGUILAS	377,95	0,2	0,13	MOJON	1,00	1,00	0,00	0
ÁGUILAS	377,95	0,2	0,13	MOJON	1,00	1,00	0,00	0
ÁGUILAS	377,95	1,9	1,27	PILAR DE JARAVIA	1,00	1,00	0,04	0
ÁGUILAS	377,95	2,4	1,61	PUERTO DEL CARRIL	1,00	1,00	0,05	0
ÁGUILAS	377,95	18,9	12,68	RAMBLA DE LOS AREJOS	1,00	1,00	0,38	0
ÁGUILAS	377,95	1,4	0,94	RAMBLA DE LOS BOLOS	1,00	1,00	0,03	0
ÁGUILAS	377,95	1,6	1,07	SAN ISIDRO	1,00	1,00	0,03	0
ÁGUILAS	377,95	4,3	2,88	SIERRAS DE LOS PINOS Y DEL AGUILON	1,00	1,00	0,09	0
ÁGUILAS	377,95	4,7	3,15	TEBAR	1,00	1,00	0,09	0
ÁGUILAS	377,95	0,7	0,47	VERTICE PALOMAS	1,00	1,00	0,01	0
CABO ROIG	61,52	50,1	81,44	CABO ROIG	1,00	1,00	1,00	1
CAMPO DE CARTAGENA	1311,6	1266	96,52	CAMPO DE CARTAGENA	1,00	3,00	75,96	76
CAMPO DE CARTAGENA	1311,6	45,6	3,48	LA NAVETA	1,00	1,00	0,91	1

Tabla 4. Parámetros intrínsecos deducibles en los acuíferos, Águilas, Cabo Roig y Campo de Cartagena de la DHS.

Table 4. Deductible intrinsic parameters in the aquifers, Águilas, Cabo Roig and Campo de Cartagena of the DHS.

NOMBRE MASUBT.	STotal (Km2)	SAq (Km2)	ICA %	NOMBRE ACUÍFERO	TR: TARA	TL: TALLA	NOIN MAS.	Nº ESB
MAZARRÓN	283,9	6,3	2,22	CABEZO DE LOS PAJAROS	1,00	1,00	0,13	0
MAZARRÓN	283,9	0,06	0,02	SALTADOR	1,00	1,00	0,00	0
MAZARRÓN	283,9	4,8	1,69	UGEJAR	1,00	1,00	0,10	0
MAZARRÓN	283,9	7,4	2,61	RINCONES	1,00	1,00	0,15	0
MAZARRÓN	283,9	1,6	0,56	RAMBLA DE AGUA DULCE	1,00	1,00	0,03	0
MAZARRÓN	283,9	8	2,82	MORATA-CUCOS	1,00	1,00	0,16	0
MAZARRÓN	283,9	52,8	18,60	LOS VAQUEROS	1,00	1,00	1,06	1
MAZARRÓN	283,9	20,8	7,33	LOS MOLARES-LORENTE	1,00	1,00	0,42	0
MAZARRÓN	283,9	14,9	5,25	LO ALTO-LA PINILLA	1,00	1,00	0,30	0
MAZARRÓN	283,9	8	2,82	LAS MORERAS	1,00	1,00	0,16	0
MAZARRÓN	283,9	36	12,68	LA MAJADA-LEYVA	1,00	1,00	0,72	1
MAZARRÓN	283,9	0,5	0,18	LA MAJADA	1,00	1,00	0,01	0
MAZARRÓN	283,9	1,3	0,46	LA CRISOLEJA	1,00	1,00	0,03	0
MAZARRÓN	283,9	15,6	5,49	VERTICE HORNO	1,00	1,00	0,31	0
MAZARRÓN	283,9	6,2	2,18	LA AZOHIA	1,00	1,00	0,12	0
MAZARRÓN	283,9	40,8	14,37	ERMITA DEL SALADILLO	1,00	1,00	0,82	1
MAZARRÓN	283,9	0,2	0,07	ÁGUILA	1,00	1,00	0,00	0
MAZARRÓN	283,9	4,1	1,44	COLLADO DE EGEEA	1,00	1,00	0,08	0
MAZARRÓN	283,9	4	1,41	BOCAORIA	1,00	1,00	0,08	0
MAZARRÓN	283,9	4,2	1,48	GAÑUELAS	1,00	1,00	0,08	0

Tabla 5. Parámetros intrínsecos deducibles en los acuíferos MSBT. Mazarrón.**Table 5.** Deductible intrinsic parameters in MSBT aquifers. Mazarron.

los valores de muestras de cada estación; b) entre las distintas estaciones equivalentes dentro y fuera de los distintos hidrosectores; y c) la relación de la “superficie acuífera” según el grado de homogeneidad/anisotropía respecto a la superficie total de la MSBT.

A estas 3 escalas o niveles de análisis de la información posible de obtener en los muestreos de una masa de agua subterránea es lo que puede alimentar un segundo modelo estadístico con el objetivo de mejorar la evaluación del estado químico de dicha MSBT; como alternativa de sustitución de los algoritmos que se contemplan en los 5 test que se establece actualmente la Guía DGA-MITECO-Abril, 2021. En definitiva,

como un principio metodológico: nunca se debe partir de la teoría del todo a la discrecionalidad de la parte sino de la discrecionalidad de la parte (o hidrosector) a la teoría del todo (MSBT).

6.2. Mejora que supone la aplicación del modelo de los hidrosectores en las redes de control de sectores analíticas armonizadas

A las posibles asociaciones de estaciones a las que vamos a atribuir una misma facies analítica armonizada nos supone asumir análisis equivalentes vinculados a un mismo sector o subunidad de la MSBT; como una correlación entre

NOMBRE MASBT.	STotal (Km2)	SAq (Km2)	ICA %	NOMBRE ACUÍFERO	TR: TARA	TL: TALLA	NOIN MAS.	Nº ESB
Sª CARTAGENA	66,13	11,4	17,24	TIÑOSO	1,00	1,00	0,23	0
Sª CARTAGENA	66,13	4,5	6,80	GORGUEL	1,00	2,00	0,18	0
Sª CARTAGENA	66,13	12,3	18,60	ESCOBRERAS	1,00	1,00	0,25	0
Sª CARTAGENA	66,13	2,6	3,93	SAN JUAN	1,00	1,00	0,05	0
Sª CARTAGENA	66,13	1,4	2,12	GALERAS	1,00	1,00	0,03	0
Sª CARTAGENA	66,13	1,8	2,72	MACO	1,00	1,00	0,04	0
Sª CARTAGENA	66,13	21,3	32,21	LA UNION-PORTMAN	1,00	1,00	0,43	0
Sª CARTAGENA	66,13	2,3	3,48	ALGAMECA	1,00	1,00	0,05	0
TERCIARIO DE TORREVIEJA	168,71	174,5	100,00	TERCIARIO DE TORREVIEJA	1,00	1,00	3,37	3
VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA	752,34	1022	100,00	VEGAS MEDIA Y BAJA DEL SEGURA	1,00	2,00	30,09	30

Tabla 6. Parámetros intrínsecos deducibles en los acuíferos MSBT: Sª. Cartagena, Terciario de Torrevieja y Vega Media y Baja del Segura.

Table 6. Deductible intrinsic parameters in MSBT aquifers. : Sª. Cartagena, Tertiary of Torrevieja and Vega Media and Baja del Segura.

los posibles datos de series históricas de estaciones de control que determinaría toda una secuencia de datos analíticos a lo largo de un periodo de tiempo, vinculadas entre sí dentro del mismo hidrosector areal (en horizontal) de unos 50 km² de referencia; que para su definición o reconocimiento se parte de un elenco indiferente de estaciones en las que se ha muestreado históricamente o se puede muestrear en algún momento co-series simultáneas (al menos para cierto periodo de estabilidad de flujo).

En definitiva, los hidrosectores son porciones de MSBT teóricamente homogéneas de 50 km² de celdilla en forma hexagonal, ya que las celdillas circulares, ya vimos que establecen vértices sin definición de flujo; sin embargo, los hexágonos serían las mejores formas de celdilla para representar un flujo de tránsito interno entre estaciones para un mismo posible efecto antrópico contaminante común. Asimismo, las formas hexagonales son las geometrías que mejor se amoldan al concepto circular del índice "Ro" de representatividad de un "Radio Óptimo", mante-

niendo la mayor sencillez respecto a las formas geométricas superiores (heptágono, decágono, etc.), y más cerca de la representación hipotética máxima de la del círculo.

De este modo puede hablarse de hidrosectores de flujo como hexágonos de un "Ro" (radio óptimo) = 4.3 km; y con apotemas de 3.8 km. como mínimo.

Y como corolario, deducir un "Índice de la Densidad de Estaciones Óptimas de Muestreo" (I_{DEOM}). Donde: $I_{DEOM} = 1 \text{ Estación sectorial} / 50 \text{ km}^2 = 0.02 \text{ Es} / \text{km}^2$

En la Figura 8 se muestra todos los parámetros de definición para los hidrosectores hexágonos de 50 km².

6.3. Definición de Estación Sectorial Base (ESB)

Al hablar del "Índice de Densidad de Estaciones Óptimas de Muestreo" (I_{DEOM}) de una MSBT, se puede generalizar (a modo de síntesis y de representación) que el conjunto de dichas aso-

ciaciones de estaciones sectoriales equivalentes puede ser representado por una sola estación teórica virtual de control ubicada en el centro de dicho hidrosector; que es lo que podemos denominar como “Estación Sectorial Base” (ESB).

Evidentemente, el concepto de una “Estación Sectorial Base” se propone a efectos de la definición del “Ro”, pero el número final de hidrosectores y de estaciones equivalentes por hidrosector, según el mismo razonamiento del argumento que lo desarrolla más adelante, vendrá en función de la heterogeneidad y/o anisotropía existente en el acuífero; al menos 1 hidrosector por acuífero, pero también, al menos, 1 estación sectorial por cada hidrosector definido dentro de la MSBT.

Por lo que debemos rechazar, al menos de partida, el criterio de considerar como no representativos los acuíferos que son menores del 20% de la superficie total de la MSBT (rebatiendo el argumento que se propone en la “*Guía para la Evaluación del Estado de las Aguas Superficiales y Subterráneas*”. DGA-MITECO, Abril, 2021). La justificación es: que el criterio o algoritmo que se incluyen en la mencionada Guía puede producir importantes sesgos en los Programas de Seguimiento de calidad para la evaluación de Estado de las MSBT, tanto por las deficiencias en el número de estaciones de control necesarias seleccionadas como en la aplicación de dichos algoritmos estadísticos para la evaluación de estado.

Por lo que el alcance del incumplimiento o del mal estado de una MSBT no se debe realizar en términos de volumen o de área, sino según el peso que determina cada una de las estaciones existentes en la MSBT, pero en función de los hidrosectores definibles; de este modo se debe evaluar cuáles son esas mismas condiciones de riesgo que origina una mala calidad, y que persiste homologable en cada uno de esos sectores. Por ello el concepto del hidrosector intenta suplantar el uso hipotético de los Polígonos de Thiessen para los casos de la posible ponderación de los efectos antrópicos de contaminación difusa.

Desde siempre (y hasta ahora), las estaciones de control periódico de calidad de aguas subterráneas se han basado en la falsa concepción de ser puntos (en principio, aleatorios) y de mediciones fijas desde el punto de vista espacial, y permanentes desde el punto de vista temporal; pero sin reflexionar que el problema de la gestión

de dichos trabajos de muestreos periódicos son muchas veces casos reales tan alejados de las condiciones teóricas que pocas veces se podría tomar de base para establecer modelos conceptuales de partida; pues se consideran de antemano a las estaciones de muestreo como “espíritus puros”, perpetuos o sempiternos que hipotéticamente se eligen como inamovibles y no sujetos a factores logísticos y/o particulares (el albedrío de los propietarios, las barreras accidentales infranqueables, las roturas o averías de instalaciones, etc.).

Por ese motivo se debe de replantear el problema de los muestreos periódicos del control de calidad de las aguas subterráneas desde el punto de vista de los grupos o asociaciones de estaciones que puedan ser equivalentes para un sector acuífero con condiciones quasi-homogéneas o interpolables para un analito o para una misma facies analítica armonizada, que es lo que nos daría la definición de las estaciones sectoriales equivalentes, o las de su representación en la forma de la “Estación Sectorial Básica” (ESB). En la última columna de la Tabla 7, se recoge el número teórico máximo necesario de estas ESB virtuales por cada MSBT, en base al estudio realizado sobre el “Índice de Densidad de Estaciones Óptimas de Muestreo” (IDEOM).

De este modo definimos una “Estación Sectorial Base” (ESB) como una estación de control teórica o virtual, representante de la asociación de estaciones sectoriales equivalentes, centrada en un perímetro hexagonal de 50 km. cuadrados, que hemos denominado “hidrosector”, con condiciones homogéneas desde el punto de vista de la calidad y con piezometría regional “estable” (principalmente para las zonas de tránsito hidrogeológico). Pero también debemos analizar las excepciones en los sectores donde predomina la recarga o la descarga de flujo, donde va a existir una mayor variabilidad de facies exógenas y una mayor variabilidad en los resultados de la acción antrópica sobre la calidad del agua subterránea.

La representación de las “ESB” se interpretaría como estaciones de referencia para las series históricas de datos periódicos registrados, que ya no tienen por qué corresponderse con datos de series aisladas en estaciones discrecionales con medidas de seguimiento sin vinculación, sino que dichos registros podrían ser continuados a través de solapamientos y/o encadenamientos de las series armonizadas para cada

NOMBRE MASUBT.	STotal (Km2)	SAq (Km2)	G. HOMO GEN %	H. HETERO GEN %	NOES MAS.	TR: MAS.	TL: MAS.	NOIN MAS.	Nº ESB
AGUILAS TOTAL	377.95	149.1	39.45	60.55	2.98	19.00	19.00	2.98	3
CABO ROIG TOTAL	61.52	50.1	81.44	18.56	1.00	1.00	1.00	1.00	1
CAMPO DE CARTAGENA TOTAL	1311.6	1311.6	100.00	0.00	26.23	2.00	4.00	76.87	77
MAZARRON TOTAL	283.9	237.56	83.68	16.32	5.68	20.00	20.00	4.75	5
SIERRA DE CARTAGENA TOTAL	66.13	57.6	87.10	12.90	1.32	8.00	9.00	1.24	1
TERCIARIO TORREVIEJA TOTAL	168.71	174.5	100.00	0.00	3.37	1.00	1.00	3.37	3
VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA TOTAL	752.34	1022	100.00	0.00	15.05	1.00	2.00	30.09	30

Tabla 7. Parámetros intrínsecos de MSBT costeras en la DHS, según índices globales.

Table 7. MSBT intrinsic parameters of coastal areas in the DHS, according to global indices.

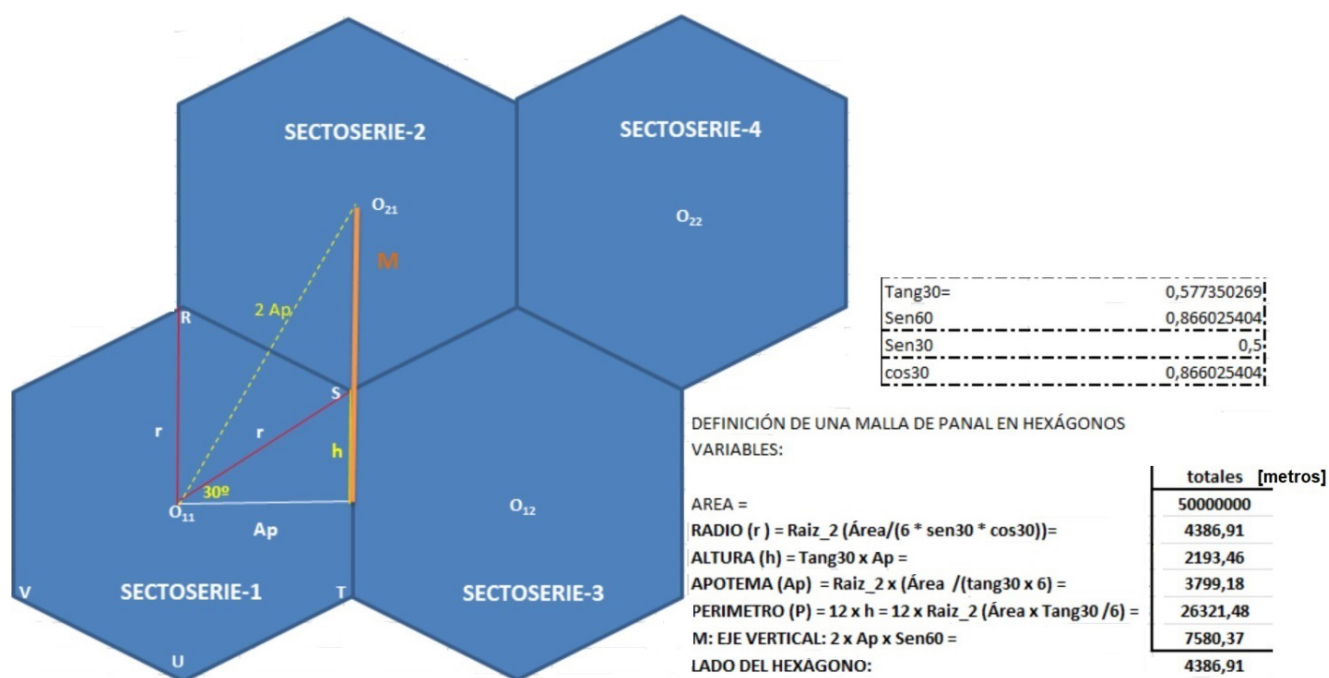
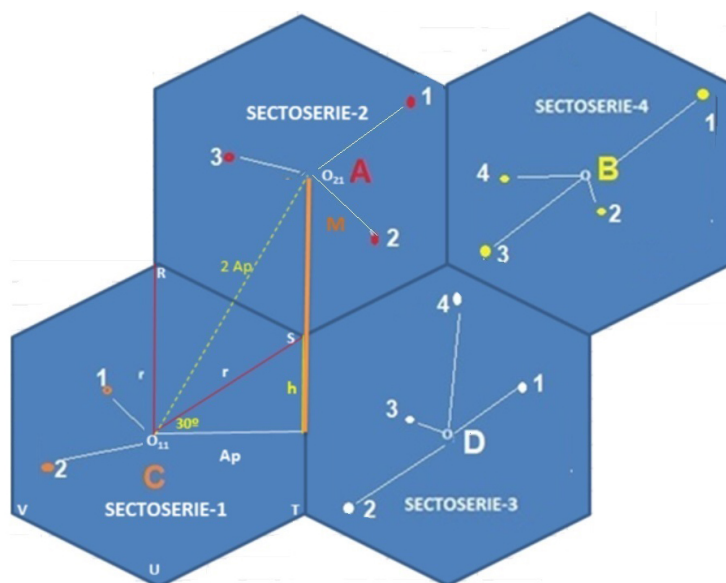


Figura 8. Definición de hidrosectores con sus parámetros geométricos para una superficie de 50 km².

Figure 8. Definition of hydrosectors with their geometric parameters for an area of 50 km².



"A" Representa de modo equivalente a las estaciones : 1, 2, 3 en el hidrosector 2

"B" Representa de modo equivalente a las estaciones : 1, 2, 3, 4 en el hidrosector 4

"C" Representa de modo equivalente a las estaciones : 1, 2 en el hidrosector 1

"D" Representa de modo equivalente a las estaciones : 1, 2, 3, 4 en el hidrosector 3

Figura 9. Ejemplos de definición de Estaciones Sectorial Base centradas en hidrosectores hexagonales de 50 km².

Figure 9. Examples of definition of Base Sector Stations centered on hexagonal hydrosectors of 50 km².

una de las estaciones equivalentes definibles y representativas dentro del mismo hidrosector (Figura 9); al menos para un periodo de estabilidad piezométrica en la obtención de los datos.

7. Conclusiones

En este trabajo se propone la introducción de una serie de índices estadísticos para fijar un modelo de diseño de redes de control de aguas subterráneas fundamentada en el concepto de la sectorización de las MSBT; sobre todo de aquellas que son más complejas desde el punto de vista de su gestión y configuración geológica (heterogéneas y anisótropas); es decir, con más de un acuífero comprendido en su delimitación geográfica (como "acuíferos areales") y/o con más de un nivel acuífero en profundidad. De estos casos es un ejemplo la MSBT del Campo de Cartagena, así como algunas de las demás MSBT de ámbito costero del sureste de la Demarcación hidrográfica del Segura.

El planteamiento es, en síntesis, la definición de una sectorización para cada MSBT sobre la base de trazar celdillas hexagonales de 50 km² en su superficie, que denominamos *hidrosectores*, como la solución más óptima para poder

hacer homologables las series de estaciones con unas mismas condiciones equivalentes de afección antrópica, a partir del estudio de sus co-series de muestreos simultáneos de agua, deducir sus sectoseries analíticas armonizadas.

Pero para la determinación de estas estaciones sectoriales equivalentes se parte de una metodología estadística basada en la relación lineal entre la media aritmética y la media armónica entre los pares de valores de las co-series de datos químicos simultáneos, con el objeto de obtener sectoseries sintéticas concatenadas y/o solapadas para un periodo de tiempo.

El índice fundamental que se propone es el "Índice del promedio de los índices *armonizados*" I_{par} ; a partir de los cocientes entre las medias aritméticas y sus medias armónicas, para cada par de valores interrelacionados, lo que determina el grado de armonización entre estas series simultáneas. De este modo, cuando $I_{par} > 70\%$ el modelo estadístico propone considerar estaciones de control equivalentes para un mismo parámetro antrópico de referencia, al menos para un periodo de tiempo concreto de estabilidad de flujo hidrodinámico en el hidrosector.

También pueden establecerse unas estaciones sectoriales básicas (ESB) que se fijan vir-

tualmente en el centro de cada celdilla hexagonal, como representantes donde asignar cada sector serie sintética resultante de la posible concatenación/solapamiento de los valores en el tiempo.

Sobre dicha base metodológica, se ha hecho una caracterización de las principales MSBT de ámbito costero, además del Campo de Cartagena, estableciéndose un elenco de índices estadísticos y conceptuales para la caracterización estructural intrínseca de cada una de estas MSBT. Todo ello con el principal objetivo de replantear unos nuevos algoritmos de diseño, muestreo y de evaluación de los datos de control que mejorarían sin duda la actual visión que se establece en las actuales guías oficiales para el análisis del estado químico y cuantitativo de las MSBT.

Referencias

- Arostegui *et al.* (2017). En: "Cuantificación de la descarga subterránea al Mar Menor mediante modelización hidrogeológica del acuífero superficial Cuaternario". Memoria final. Diciembre, 2017. (C.R. ARCO SUR MAR MEMOR - FutureWater Report 176).
- CHS (2015). Documentación del "Plan hidrológico de DH Segura 2015-2021". DGA-MITECO.
- CHS (2021). "Red de Control de Calidad de Aguas Subterráneas". Informes de campañas de Estado Químico. (Web. Corporativa. CHS.): <https://www.chsegura.es/es/cuenca/redes-de-control/calidad-en-aguas-subterraneas/>.
- CHS (2021). "Red de control de aguas subterráneas en la franja costera del Mar Menor" (Sistema SAIH-monitoring sondeos de seguimiento): <https://www.chsegura.es/es/cuenca/mar-menor/>.
- García Mariana, F. J. (2017). "Ecosistema Húmedos Interdependientes de las Aguas Subterráneas. Ed. Diego Marín, Murcia, 148 pp.
- DGA-MITECO (2021). "Guía para la Evaluación del Estado de las Aguas Superficiales y Subterráneas". DGA-Secretaría de Estado de Medio Ambiente (MITECO, Abril, 2021).
- CEDEX (2008). "Trabajos para la Implementación de la DMA" Red de Calidad de Aguas Subterráneas – Criterios Generales de Diseño.
- Hall, H. S., and Knight, S. R. (1982). "Ejercicios de Álgebra Superior". Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. México.