
*Conselleria de Agricultura, Medio
Ambiente, Cambio Climático y
Desarrollo Rural*

Universidad Miguel Hernández de Elche

Convenio entre la GVA y la UMH

**“Proyecto de Investigación Aplicada a Recursos Hídricos de la
Comunidad Valenciana”**

***Calidad de las aguas de los azarbes del sur de la Comunidad
Valenciana***

2017

Equipo de investigación

Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente

Coordinador:

Jose Navarro Pedreño

Equipo de la UMH:

Manuel Miguel Jordán Vidal

Ignacio Gómez Lucas

María Belén Almendro Candel

Ignacio Meléndez Pastor

Ernesto García Sánchez

Personal Investigador contratado:

Encarnación Isabel Hernández Lledó

Cristina Estevan Pardo

Colaboradores (estudiantes de Ciencias Ambientales):

Gema Marco Dos Santos

Jordi Blasco Ferré

Cristina Mullor Real

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.	7
2. CONTAMINACIÓN DIFUSA Y PUNTUAL.	8
3. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	9
4. ÁREA DE ESTUDIO: DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS SEGURA Y VINALOPÓ.	13
5. AZARBES ESTUDIADOS.	14
6. CALIDAD DE LAS AGUAS.	16
7. APORTES ANUALES ESTIMADOS EN LOS PUNTOS DE DESCARGA COSTEROS.	35
8. CONTAMINANTES EN LOS AZARBES Y OCUPACIÓN DEL SUELO.	46
9. CONCLUSIONES.	56
10. ACCIONES DE FUTURO.	58
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	59

1. Introducción.

La presente investigación es continuadora de la línea de trabajo sobre los recursos hídricos del sur de la Comunidad Valenciana, iniciada en el año 2016, mediante convenio entre la Generalitat Valenciana y la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Este acuerdo tiene como objetivo general valorar la calidad de los efluentes que vierten sus aguas en el sur de la Comunidad Valenciana y que pueden afectar a zonas costeras de gran valor ambiental, económico y social, especialmente las áreas litorales de Santa Pola, Elche y Guardamar del Segura.

Los efluentes vertidos a través de la red de drenaje situada en las comarcas valencianas de la Vega Baja del Segura y el Baix Vinalopó, tienen como principal origen la actividad agrícola al ser, mayoritariamente, sobrantes de riego, pero también reciben influencia de otras actividades asociadas a la ocupación urbana y el sellado de los suelos. Precisamente el sellado de los suelos es una de las fuentes más importantes de escorrentías en medios urbanos. Por ello, se plantea conocer el aporte de nutrientes asociados a los cauces (azarbes) debido al drenaje agrícola y el arrastre de contaminantes de diverso origen.

El trabajo preliminar realizado en 2016 se plasmó en el documento entregado a la CONSELLERIA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO RURAL en noviembre de 2016. Este documento, continúa con esta línea de investigación aportando nuevos datos y un mayor conocimiento de la situación ambiental real, ahondando en las complicadas relaciones causa-efecto, siempre difíciles de ser establecidas en un contexto como el que encuadra esta investigación.

Los nuevos objetivos del proyecto se enmarcan en la consecución de datos relativos a la calidad de las aguas que permitan identificar la tipología de cada azarbe y sus características generales dentro del espacio en el que se enmarcan, la ocupación y uso del suelo y, sobre todo, profundizar en el conocimiento de la funcionalidad de los complejos sistemas de drenaje del sur de la Comunidad Valenciana.

Conviene reseñar que los resultados de esta investigación han sido el soporte para la presentación de dos Trabajos Fin de Grado de Ciencias Ambientales de los estudiantes Jordi Blasco Ferré y Cristina Mullor Real centrados en el estudio de los nutrientes y de la salinidad de los azarbes respectivamente. En estos momentos son el apoyo para la realización de dos Trabajos Fin de Máster de las Universidades de Murcia y de Alicante correspondientes a las estudiantes Cristina Estevan Pardo y Gema Marco Dos Santos centrados en la descarga de nutrientes y en la relación usos del suelo y contaminación respectivamente. Del mismo modo, están en preparación y revisión tres artículos científicos desarrollados por los componentes del equipo de investigación vinculados a este proyecto, relacionados con la calidad de las aguas, la descarga de nutrientes y la contaminación por plaguicidas.

2. Contaminación difusa y puntual.

Estos sistemas de drenaje están sujetos a la recepción de contaminación difusa, tema de estudio complejo, puesto que, como tal tipo de contaminación, no se puede determinar con exactitud los focos que son su origen. Este último sería el caso de la contaminación puntual, que curiosamente sí se produce en este caso. Se produce gracias a la existencia de una densa red de drenaje que canaliza las descargas hacia los azarbes, y de estos, debido a su confluencia en dos puntos concretos, a las aguas costeras.

Como indica la Agencia Europea de Medio Ambiente (2017), la contaminación difusa puede ser causada por una variedad de actividades que no tienen un punto de descarga de contaminantes específico. La agricultura es fuente de contaminación difusa, pero las zonas urbanas, la silvicultura, la deposición atmosférica y las viviendas rurales también pueden ser fuentes importantes.

En el caso de los azarbes del sur de la Comunidad Valenciana, la contaminación que llega de tipo difuso a sus cauces, procede de diversos espacios ocupados por actividades entre las que predomina la agricultura.

Estas fuentes de contaminación difusa, se manifiestan en las descargas de escorrentías y drenajes hacia los azarbes de los tramos finales de los ríos Segura y Vinalopó. De este modo, se transforma una contaminación difusa en prácticamente una contaminación de fuente lineal, en el sentido de que se desarrolla o progresa a lo largo de una línea que corresponde con el trazado de los propios azarbes. Al final de los mismos, se producen focos de contaminación puntual en la zona costera, originarios de la contaminación difusa existente con anterioridad en el territorio. Existe por tanto un sistema de funcionamiento y de movimiento de flujos acumulativo, de forma dendrítica que acaba focalizando en dos áreas de pequeña dimensión en la costa, toda la carga de sustancias que arrastran y evacúan del sistema los azarbes del sur de la Comunidad.

Bajo estas premisas descritas, se desarrolla esta segunda fase de colaboración entre la Generalitat Valenciana y la Universidad Miguel Hernández de Elche, con el fin de poder acotar desde el punto de vista científico, la problemática asociada a la presencia de nutrientes y contaminantes en las aguas superficiales que discurren por el sur de la Comunidad Valenciana. El objetivo es el de tratar de entender el origen, el progreso de la contaminación y la descarga de contaminantes que se produce en las zonas costeras del sur de la provincia de Alicante.

Entendiendo el funcionamiento del sistema, se podrá enriquecer el conocimiento científico sobre estos eventos, favorecer la toma de decisiones y adoptar las medidas que redunden en la disminución de la contaminación y una mejora ambiental de nuestras costas.

Al mismo tiempo, conocer la calidad de las aguas, permite saber el estado de estos posibles recursos, las aguas de drenaje antes de su vertido al mar. En la actual situación, de sequía severa que padece nuestro país, la posibilidad de reutilizar recursos hídricos de muy diverso origen, se convierte en prioritaria, al igual que garantizar su calidad para los usos a los que se destinan dichos recursos. Si las aguas no disponen de una determinada calidad, da igual la cantidad de agua de la que se disponga. Es necesario que tenga una calidad (de uso) y las cantidades necesarias.

3. Líneas de investigación.

La investigación explora durante este año, el 2017, las siguientes líneas de actuación que se comentan a continuación. Las acciones previstas dentro de cada una de estas, para el presente ejercicio, se engloban en bloques actuación.

3.1. Primera línea de investigación.

Por un lado, la primera línea continúa con el seguimiento de la **calidad de las aguas** de los azarbes que afectan a las desembocaduras de los ríos Vinalopó y Segura. En este caso la finalidad se centra en conocer la calidad para una posible reutilización (adicional a las ya aplicadas por los propios regantes) y acciones de mejora de la calidad (establecimiento de estaciones desalobradoras y otras posibles actuaciones de mejora).

Los parámetros analizados se focalizan principalmente con relación al sector agrario, puesto que estos sobrantes son en gran medida, reutilizados para el riego previamente y aprovechados al máximo en riegos posteriores, en su situación actual.

Por otro lado, se trata de conocer la calidad de los vertidos a las costas, especialmente en lo referido a los aportes de nitrógeno y fósforo, es decir, la descarga de nutrientes. Estos pueden desencadenar procesos de proliferación biológica que superen los límites naturales deseables y ocasionen problemas y desequilibrios en los ecosistemas. Estos nutrientes afectan a las aguas de transición, es decir, a las masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, y a las aguas costeras más cercanas al litoral. Un ejemplo en este último caso de afección sería la proliferación de algas que generaran turbidez, que pueden dificultar el desarrollo y fotosíntesis de las praderas costeras de posidonia y alterar la calidad de las aguas de baño.

Con los datos que se muestran, obtenidos de las campañas de campo del año hidrológico 2016-17, es decir, durante el presente trabajo de investigación, se pueden obtener las características generales de cada azarbe, de manera que se conozca mejor la calidad de cada uno de ellos, cuales son los riesgos ambientales, y se pueda ayudar a la toma de decisiones encaminadas a mejorar su calidad.

Entre estas decisiones que podrían mejorar la calidad de las aguas de los sobrantes de riego en su tramo final, con el objeto de nuevas reutilizaciones, se apuntan como ideas los tratamientos como la desalobración, incrementando el fomento del uso racional del agua y los cambios donde sea aconsejable, de los sistemas de riego. No en todas las zonas conviene la transformación de zonas de riego por inundación a zonas de riego controlado por goteo, puesto que el riego por inundación ejerce una función de lavado del suelo y de mantenimiento de ecosistemas que va más allá de la propia funcionalidad agrícola.

Es importante reducir y controlar los vertidos producidos en las zonas costeras, pero también es importante garantizar el movimiento y salida de los sobrantes del riego y de las sales que pueden acumularse en los suelos y afectar su productividad. El funcionamiento de estos sistemas es, por tanto, un complejo equilibrio y una situación de compromiso entre calidad, lavado de suelos, caudales de salida y necesidad de mejorar los recursos.

Las acciones previstas realizadas en esta línea se indican a continuación para el seguimiento de la **calidad de los efluentes vertidos** en las desembocaduras de los ríos Vinalopó y Segura procedentes de drenajes agrícolas (azarbes).

1. pH, salinidad de las aguas (conductividad eléctrica a 25°C y cloruros) y oxigenación (oxígeno disuelto), entre otros.
2. Vertido de nutrientes de origen agrícola (N y P).
3. Metales pesados (Cd, Cr y Ni).

Esta acción se desarrolló mediante la realización de muestreos a lo largo del año cada dos meses, así como la realización de los análisis correspondientes a cada uno de los parámetros determinados. Al final de esta parte, se obtiene una caracterización general del azarbe y sus aguas a lo largo de un ciclo hidrológico, ofreciendo los valores medios que identifican la tipología de aguas.

Se procedió adicionalmente a la estimación preliminar de la **descarga de nutrientes, sales y contaminantes (metales pesados)** en las zonas costeras. Esta actuación, se espera que sea la que marque la continuidad de la investigación a futuro, obteniendo más datos que permitan llegar a resultados fiables en cuanto a caudal medio de los azarbes y cantidad de descargas anuales de sustancias.

Para ello, se han medido caudales en los tramos finales y en zonas donde la estructura de los cauces presentaba una forma geométrica regular. Estos caudales estimados, se emplean para valorar la descarga de sustancias, especialmente de contaminantes, aportados por cada uno de los azarbes.

Con ello, para cada tipo de compuesto analizado, podemos establecer una clasificación de mayor a menor presencia de contaminación basada en la calidad de las aguas, y basada en la estimación o cantidad de descarga de contaminante prevista anualmente.

En este sentido, conviene indicar que es una estimación en un año concreto, y que como tal siempre estará sujeta a las variaciones asociadas a las actividades antrópicas, meteorología, cultivos y formas de cultivar, así como a las continuas variaciones de caudal drenado por los azarbes. Por ello es necesario profundizar en la obtención de resultados en esta línea.

3.2. Segunda línea de investigación.

Una segunda línea, se centró en determinar contaminantes en las aguas de estos azarbes a lo largo de los elementos lineales (curso) que los componen, con el fin de aportar información para mejorar la gestión futura de los recursos hídricos y prever focos de contaminación.

Al mismo tiempo, se determinaron los usos actuales de los suelos para tratar de asociar estos usos con la presencia de contaminantes en las aguas, ya que en un principio los usos del suelo (actividades antrópicas), deben afectar a la calidad de los drenajes y escorrentías que van a parar a los azarbes.

Así, las actuaciones básicas fueron las siguientes para el seguimiento de **contaminantes de los drenajes agrícolas** y calidad de los recursos hídricos.

1. Seguimiento de la calidad del agua y detección de contaminantes:

- Nutrientes (N y P)
- Metales pesados (Cd, Cr y Ni)
- Detección de presencia o ausencia de pesticidas.
- Salinidad (conductividad eléctrica, sólidos en suspensión).

Esta acción se desarrolló realizando un seguimiento lineal de los principales azarbes que desembocan en las zonas costeras de los ríos Segura y Vinalopó, tomando muestra en las épocas de mayor demanda hídrica para riego (verano de 2017).

Los puntos de muestreo se indican en la siguiente figura, y los azarbes muestreados fueron los que se reseñan a continuación, cuatro correspondientes a la confluencia con el río Vinalopó y nueve que acaban vertiendo las aguas en el cauce del río Segura.

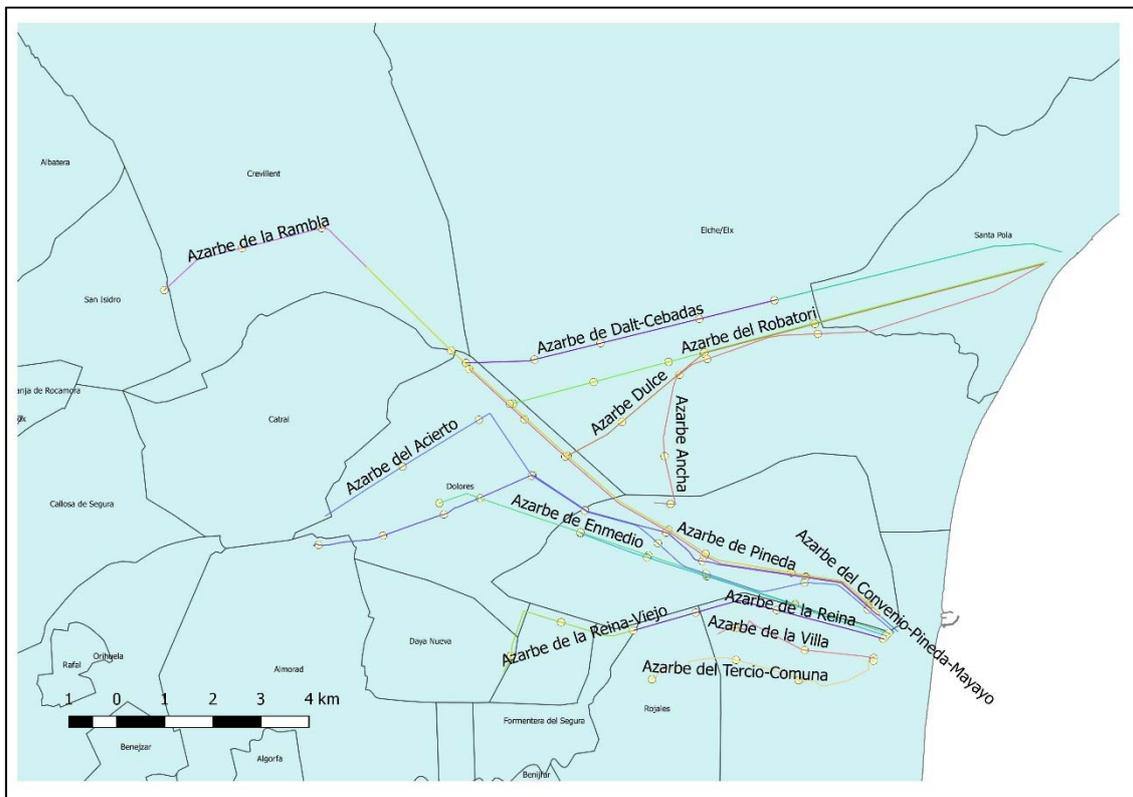


Figura 1. Localización de los muestreos a lo largo de los principales azarbes estudiados que desembocan en la vertiente del río Vinalopó y en la correspondiente al río Segura.

Conviene indicar que la investigación ha profundizado en la presencia de elementos que pudieran causar contaminación y tratar de discernir su origen, aunque al ser originados por contaminación difusa, es complejo establecer dicho origen.

2. Análisis preliminar de los **usos del suelo que afectan a las zonas** por donde discurren los principales azarbes.

En este apartado, se realizó un estudio en el que se trató de ver si existe una asociación entre los usos del suelo que afectan a los azarbes y la calidad de sus aguas. Para ello se determinó cuales, son los usos predominantes actuales.

Sin lugar a dudas, la contaminación difusa es la más compleja de atajar y tratar, salvo en el caso de que los contaminantes finalmente converjan a unos puntos determinados como sucede con los azarbes. Esta es la función que realizan en buena medida los sistemas de drenaje, teniendo como vehículo conductor al agua, la de eliminar del sistema sustancias que se convierten en vectores de contaminación en otros lugares.

No es fácil asociar causa-efecto en estos casos, ni siquiera contando con un análisis detallado de los usos del suelo, dado que la contaminación difusa es altamente compleja y de procedencia no bien determinada. Sin embargo, esta aproximación preliminar, permite dilucidar ideas y tendencias sobre cómo se pueden relacionar las actividades antrópicas con la presencia y el desplazamiento de sustancias potencialmente contaminantes.

4. Área de estudio: desembocaduras de los ríos Segura y Vinalopó.

Conviene recordar la situación del área de estudio en la que se enmarca la investigación y el objeto principal del trabajo. La importancia radica en que los azarbes actúan como colectores de sustancias que se agrupan y determinan el vertido y la calidad aguas en puntos concretos de la costa del sur de la Comunidad Valenciana, en el área delimitada al norte por el Cabo de l'Aljub (Santa Pola) y al sur por el Cabo Cervera (Torrevieja).

Precisamente, son las cuencas de los ríos Segura y Vinalopó, los que marcan esa confluencia de vertidos de aguas que modifican las características de las zonas costeras. En la figura 2, solamente se muestran los trazados de los tramos finales de los ríos Vinalopó y Segura.

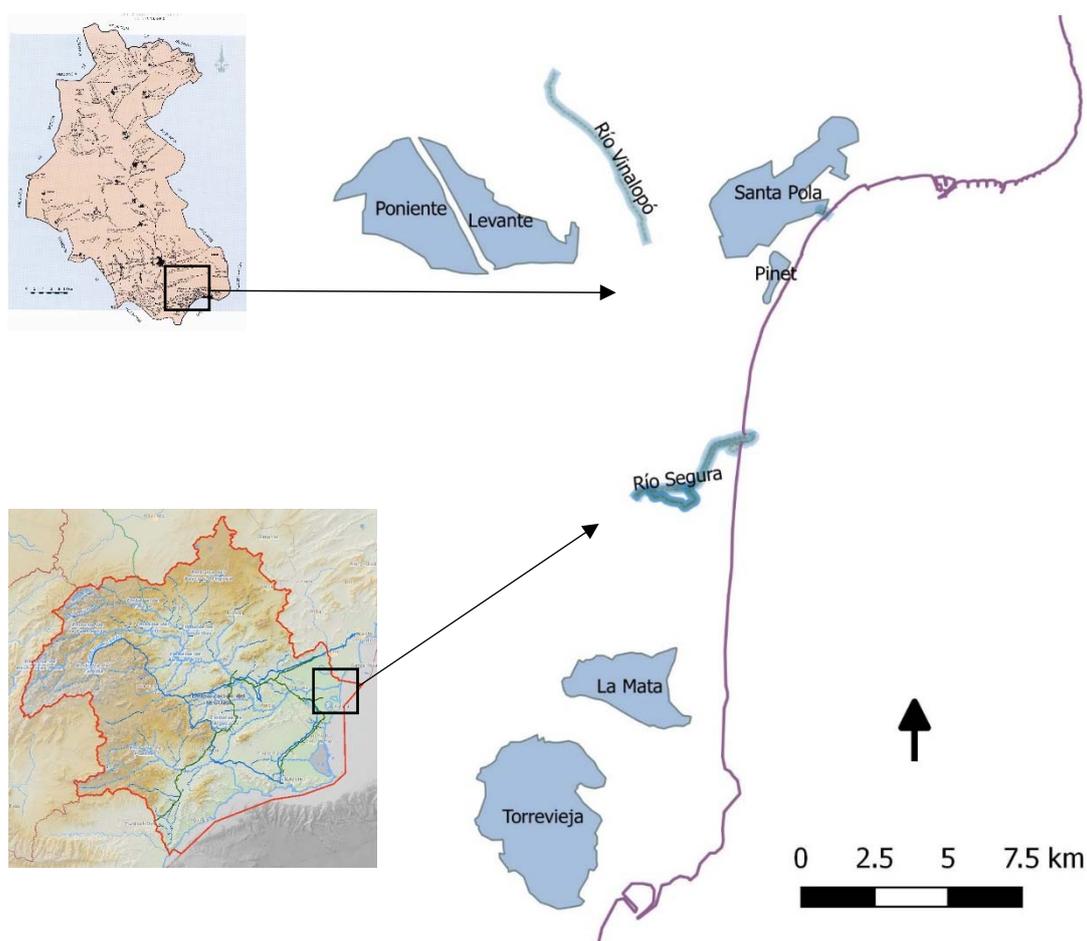


Figura 2. Localización de las desembocaduras de las aguas de los ríos Vinalopó y Segura en la zona sur de la provincia de Alicante. Junto a ella en miniatura se muestran las cuencas hidrográficas de cada uno de los ríos.

5. Azarbes estudiados.

El conjunto de azarbes analizados en cuanto a la calidad de sus aguas, pero especialmente en cuanto a la cantidad de contaminantes transportados, se ve dificultado por la gran variabilidad de su caudal a lo largo del año. Centrando la atención en este punto, conocer el **total descargado** de sustancias, de contaminantes, que vierte cada uno de ellos, es una labor altamente compleja mientras no se disponga de estaciones de seguimiento y análisis diario en sus tramos finales. En este trabajo, se realiza una estimación partiendo de medidas de caudal a lo largo del año, estableciendo un rango de valores máximos y mínimos, sin considerar los episodios asociados a eventos de fuertes precipitaciones.

La variabilidad de caudal a lo largo del año, influida por las condiciones atmosféricas, la época del año, los vertidos urbanos y el riego, es una de las razones por las que los valores de descarga que se pueden aportar en este trabajo son solamente estimativos y no deben considerarse absolutos. Sin embargo, permiten como aproximación, determinar cuáles son los cauces que son la principal fuente de contaminantes (según la cantidad aportada).

La numerosa red de drenaje ligada a las escorrentías y sobrantes agrícolas, además de otros aportes de escorrentías de suelos sellados urbanos, vertidos incontrolados y aguas depuradas procedentes de las EDAR de la zona, configura un complejo sistema de entrada de elementos con el agua como vehículo portador. Desentrañar este sistema y su funcionamiento no es fácil, sin embargo, este trabajo está dando resultados que pueden orientar las futuras acciones. En este sentido, la continuidad del estudio pretende iniciar una modelización del comportamiento del sistema que sirva de herramienta de prevención.

Analizar la **calidad del agua** se convierte en la herramienta óptima para poder determinar tratamientos, gestión y uso adecuado de estos recursos hídricos. La localización geográfica y la influencia del entorno son factores que condicionan esta calidad.

Los azarbes están agrupados en dos grandes conjuntos determinados por el destino de sus efluentes: los azarbes asociados al Vinalopó y aquellos que aportan sus aguas en la desembocadura del río Segura. Sin embargo, la tipología de cada conjunto no es la misma como se mostrará más adelante, habiendo azarbes en cada conjunto que se comportan de forma dispar con relación al resto de ellos.

Con relación a los primeros, que vierten conjuntamente sus aguas con el río Vinalopó en su desagüe al mar, los considerados en este estudio son los siguientes:

- Dalt o Cebadas
- Robatori
- Dulce
- Ancha o Ampla

Los azarbes considerados asociados al río Segura y que acompañan a este en la desembocadura artificial creada en la población de Guardamar del Segura son los siguientes:

- Convenio
- Pineda
- Mayayo
- Acierto
- Enmedio
- Culebrina

- La Reina (sustituye por su importancia al azarbe de El Señor, analizado en el estudio precedente del año 2016)
- De la Villa
- De la Comuna

La importancia de cada uno de los azarbes es variable, puesto que algunos reciben aportes de otros azarbes y azarbetas previamente, y amplían notablemente su área de influencia. Resulta compleja por la orografía tan plana, determinar exactamente la cuenca de drenaje que facilita las aguas a cada uno de los azarbes. Además, estos se entrecruzan a varios niveles, generando un entramado muy singular. Esto es así y se pone de manifiesto cuando suceden precipitaciones que generan escorrentías que pueden desbordar escurridores y entremezclar las aguas de las “distintas cuencas de drenaje”.

Una de las decisiones consideradas por el equipo de trabajo y dada la presencia de caudal constante todo el año, ha sido la de centrarnos en el azarbe de la Reina, que tiene mayor interés que su azarbe de tierra paralelo El Señor que incluso dejaba de llevar agua ocasionalmente, siendo descartado este último en el presente estudio.

Del mismo modo, las zonas agrícolas cultivadas, de parcelas abandonadas, y las transformadas para otras actividades (residencial, industrial, recreativo), generan una situación altamente compleja y poco uniforme en el territorio en cuanto a los **usos del suelo**. En estas condiciones, la calidad de las aguas de los azarbes refleja esta influencia y dinámica territorial de variaciones espaciales importantes.

De las características más relevantes de los azarbes que se estudian en el proyecto, la presencia constante de agua en movimiento, más o menos permanente todo el año, es una de las que se presentan en esta investigación. Sin embargo, el caudal está sujeto en buena medida a la existencia y continuidad de drenajes agrícolas, con aguas de origen diverso y en menor medida, con los eventos de lluvias. Las transformaciones en los sistemas de riego pueden, reduciendo el riego a manta y cambiándolo por otras estrategias, influir a corto y medio plazo en la reducción de los volúmenes de aguas drenadas que van a parar a los azarbes, disminuyendo sus caudales y el lavado del perfil edáfico.

En la época estival, las menores precipitaciones y las mayores demandas de agua para riego son factores que determinaron esta como época adecuada para valorar la **presencia de contaminantes**, pudiendo pensarse en el establecimiento de una asociación directa con el riego agrícola (aporte de agua), aunque no necesariamente deben proceder los contaminantes de esta actividad.

La primera de las labores realizadas en el proyecto en 2017, fue la de inspeccionar y geolocalizar los lugares más idóneos de muestreo a lo largo de los azarbes (figura 1) dada la dificultad de acceso y seguimiento de muchos de ellos, repitiendo como puntos de muestreo final los puntos de los azarbes analizados periódicamente.

6. Calidad de las aguas.

La investigación en este apartado se centra en el establecimiento de la calidad media de las aguas de los azarbes tras el paso de un ciclo hidrológico completo. Como se ha reseñado, se presta atención a la presencia de nutrientes que son susceptibles de generar explosiones biológicas, procesos de eutrofización y otras alteraciones en la calidad de las aguas de transición y costeras, y parámetros afines como oxígeno disuelto, así como la presencia de metales pesados (Cd, Cr y Ni).

Junto a estos parámetros, por observación visual, se comprobó la persistente presencia de una profusa contaminación de materiales flotantes residuales, como botellas, envases muy variados y otros (por ejemplo, animales muertos) en los azarbes, lo que manifiesta el uso continuado de estos cauces de drenaje, como vía de “servicio” para eliminar residuos de cualquier tipo.

Los efluentes analizados en la zona de desagüe de aguas del río Vinalopó y del río Segura se indican en la siguiente figura.

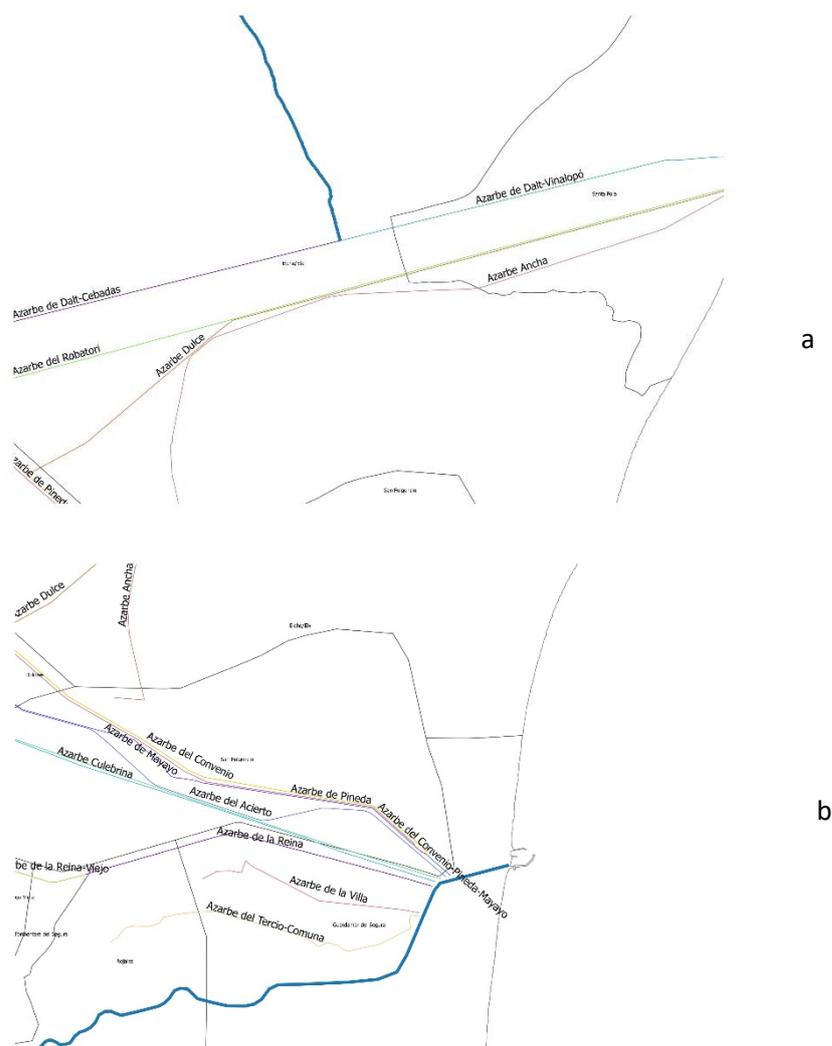


Figura 3. Azarbes y río Vinalopó (azul) con indicación del área de muestreo (a) y azarbes del río Segura y río Segura en azul (b).

Los datos relativos a la calidad de las aguas se muestran a continuación para cada uno de los parámetros y cauces muestreados en su tramo final, previos a descargar sus aguas en el mar Mediterráneo. Los resultados corresponden a la serie de muestreos realizados durante el ciclo septiembre-2016 a septiembre de 2017 (en total 7 muestreos).

Los datos para cada parámetro se presentan en forma de tablas con figura adjunta (con las mismas unidades que las existentes en las tablas) que destaca aquel cauce que presenta un valor superior para dicho parámetro.

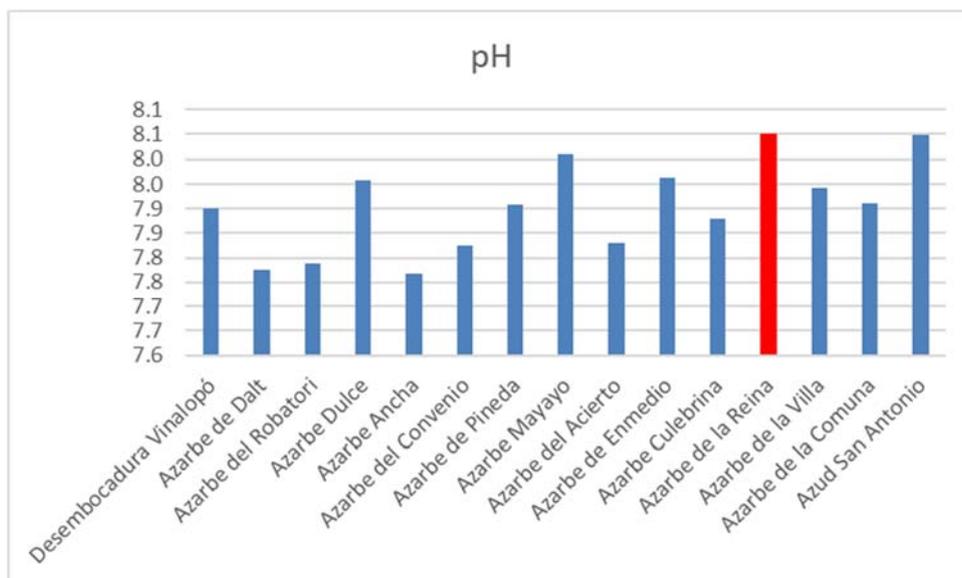
6.1. Características generales: pH, CE, Oxdis, SS.

Los valores de **pH** encontrados en los azarbes (tabla 1) son muy similares en todos ellos. Se sitúan entre 7,8 y 8,1 unidades de pH, ligeramente básico. El control de este pH está asociado al contenido en sales y entre otras, a la presencia de bicarbonato en concentraciones importantes y similares en todas las aguas.

Tabla 1. pH (uds. de pH) a 20°C.

Punto de muestreo	Valor medio	Desv. Est.
Desembocadura Vinalopó	7,9	0,2
Azarbe de Dalt	7,8	0,2
Azarbe del Robatori	7,8	0,2
Azarbe Dulce	8,0	0,2
Azarbe Ancha	7,8	0,2
Azarbe del Convenio	7,8	0,2
Azarbe de Pineda	7,9	0,2
Azarbe Mayayo	8,0	0,2
Azarbe del Acierto	7,8	0,2
Azarbe de Enmedio	8,0	0,2
Azarbe Culebrina	7,9	0,2
Azarbe de la Reina	8,1	0,2
Azarbe de la Villa	7,9	0,2
Azarbe de la Comuna	7,9	0,2
Azud San Antonio	8,0	0,2

De todos los azarbes, es el de la Reina el que presenta los mayores valores de pH. En realidad, son escasas las diferencias de valores que hay entre ellos.

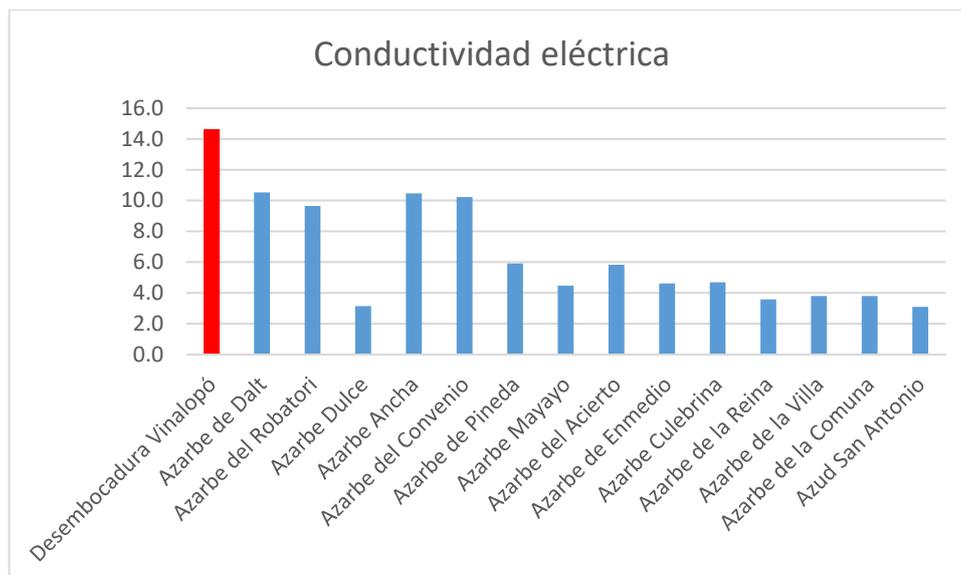


Con relación a la salinidad, determinada en función de la **conductividad eléctrica**, destacan, sobre todo, el conjunto de azarbes de la vertiente del río Vinalopó exceptuando el Dulce. Los valores son muy superiores a los obtenidos en los correspondientes a la vertiente del Segura. Por encima de todos los cauces estudiados, destaca principalmente el río Vinalopó, pero también los valores medios del azarbe de Dalt y Ancha.

En el caso de la vertiente del Segura, es el Convenio el que da valores muy parejos a los de los azarbes mencionados en el caso de la vertiente del Vinalopó. Este, junto con los anteriores, atraviesan zonas donde los suelos son más salinos, próximos a los embalses de El Hondo (Meléndez et al., 2010) y es previsible que haya importantes aportes de sales solubles procedentes de los suelos.

Tabla 2. Conductividad eléctrica (mS/cm) a 25°C.

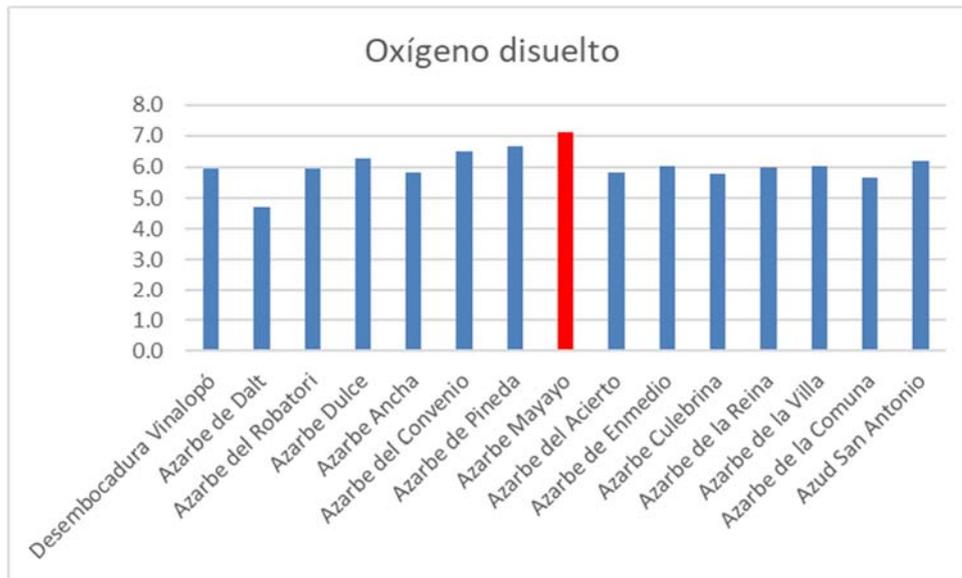
Punto de muestreo	Valor medio	Desv. Est.
Desembocadura Vinalopó	14,6	4,1
Azarbe de Dalt	10,5	2,4
Azarbe del Robatori	9,6	4,0
Azarbe Dulce	3,1	0,7
Azarbe Ancha	10,5	2,2
Azarbe del Convenio	10,2	0,9
Azarbe de Pineda	5,9	1,3
Azarbe Mayayo	4,5	1,7
Azarbe del Acierto	5,8	2,1
Azarbe de Enmedio	4,6	1,0
Azarbe Culebrina	4,7	1,2
Azarbe de la Reina	3,6	1,0
Azarbe de la Villa	3,8	1,2
Azarbe de la Comuna	3,8	1,2
Azud San Antonio	3,1	1,0



El contenido de **oxígeno disuelto**, parámetro relevante para el estado biológico de los azarbes, mostró los mejores valores medios en el azarbe de Mayayo. Precisamente en este azarbe se podía apreciar en los distintos muestreos realizados, la presencia de peces como el mújol, y curiosamente, no observándose la presencia de carpa, exceptuando en los dos últimos muestreos de julio y septiembre de 2017, que presentó una gran turbidez y no se apreció ictiofauna. Esta es una simple apreciación visual, que quizás tenga relación con este parámetro y con los sólidos en suspensión.

Tabla 3. Oxígeno disuelto (mg/l) a 20°C.

Punto de muestreo	Valor medio	Desv. Est.
Desembocadura Vinalopó	6,0	1,1
Azarbe de Dalt	4,7	1,7
Azarbe del Robatori	6,0	1,1
Azarbe Dulce	6,3	1,5
Azarbe Ancha	5,8	1,4
Azarbe del Convenio	6,5	0,8
Azarbe de Pineda	6,7	1,3
Azarbe Mayayo	7,1	1,1
Azarbe del Acierto	5,8	0,6
Azarbe de Enmedio	6,0	1,2
Azarbe Culebrina	5,8	0,8
Azarbe de la Reina	6,0	0,9
Azarbe de la Villa	6,1	0,7
Azarbe de la Comuna	5,7	0,9
Azud San Antonio	6,2	0,6



Podemos considerar que valores inferiores a 3 mg/l de oxígeno disuelto, puede causar graves daños ecológicos en las zonas costeras (EPA, 1990), por tanto, que los azarbes dispongan de valores ligeramente superiores es un factor positivo.

La presencia de **sólidos en suspensión** (SS) en las aguas, nos permite prever la turbidez y la descarga de partículas y sedimentos en las zonas costeras. En este caso y como aspecto negativo, destaca por encima de todos, el azarbe de Pineda (de la Pineda), aunque en el caso de Mayayo, se aprecia una gran variabilidad en el valor medio (desviación estándar) lo que indica que está sujeto puntualmente a variaciones muy importantes que deben ser debidas a aportes de aguas con alto contenido en sólidos que no son continuos. También se debe considerar en los azarbes la presencia de fauna como la carpa, que actúa removiendo los sedimentos y que pudiera estar presente en los últimos muestreos realizados (apreciación visual).

Es un tema a considerar la capacidad que tiene la carpa de remover sedimentos, provocar turbidez y por extensión, favorecer el movimiento de sólidos en los azarbes como partículas en suspensión. Estas partículas pueden generar problemas en sistemas de riego que bombean agua de los azarbes entre otros, como puede ser el aumento de la turbidez en las desembocaduras de los ríos afectados por los azarbes. Se puede apreciar que los sólidos en suspensión muestran una gran variabilidad (desviación estándar). En la siguiente fotografía se aprecia el estado en que quedan los filtros en la determinación de este parámetro, destacando algunos de ellos como son los azarbes de Dalt, Ancha, Pineda, Mayayo y Enmedio.



Fotografía 1. Filtros correspondientes de sólidos en suspensión correspondientes al último muestreo, ordenados del 1 al 15 siguiendo el orden de la tabla 4.

Los aportes medios de sólidos en suspensión del río Segura a la altura del azud de San Antonio, punto de toma de aguas desde este río hacia los embalses de El Hondo, son importantes y puede representar un problema de carga de sedimentos hacia los embalses.

Tabla 4. Sólidos en suspensión (mg/l).

Punto de muestreo	Valor medio	Desv. Est.
Desembocadura Vinalopó	22,8	9,2
Azarbe de Dalt	40,2	23,2
Azarbe del Robatori	40,7	27,3
Azarbe Dulce	33,1	46,1
Azarbe Ancha	32,7	14,3
Azarbe del Convenio	49,1	35,6
Azarbe de Pineda	101,8	52,2
Azarbe Mayayo	81,5	141,1
Azarbe del Acierto	40,0	13,6
Azarbe de Enmedio	42,2	15,6
Azarbe Culebrina	39,1	24,1
Azarbe de la Reina	39,1	30,7
Azarbe de la Villa	28,0	10,1
Azarbe de la Comuna	19,1	7,6
Azud San Antonio	75,7	81,8



Para establecer una comparación de estos valores con aguas que se usan para riego y tener de este modo una cierta orientación sobre sus contenidos, podemos fijarnos en las aguas regeneradas (depuradas) que se emplean con fines agrícolas.

En el RD 1620/2007, los sólidos en suspensión expresados en mg/l, tienen unos límites para su uso de 20 mg/l para cultivos de tipo A (productos de consumo humano fresco) y de 35 mg/l para cultivos de tipo B (para consumo humano no fresco, consumo de animales productores y acuicultura). Prácticamente, todos los valores medios de este parámetro superan los 20 mg/l menos el azarbe de la Comuna, y todos menos el Vinalopó, azarbe Dulce, Ancha, la Villa y la Comuna, superan los 35 mg/l.

Por tanto, es un parámetro que debemos considerar como relevante. Aunque estas aguas no proceden de depuración de aguas, sí existen depuradoras que vierten caudales a estos azarbes. La situación geográfica de estas EDAR las podemos contemplar en la figura 4. Por tanto, se debe prestar cierta atención a estos valores de sólidos en suspensión para buscar el posible origen.

Las depuradoras que se sitúan en el entorno de estos azarbes, afectan principalmente a los azarbes de Dalt, Ancha y el Convenio, que no destacan precisamente por valores altos de sólidos en suspensión en comparación con el resto de cauces. En el caso del río Segura y del Vinalopó, se sitúan numerosas depuradoras a lo largo de su cauce que no se reflejan en la figura 4 y que pueden o no influir en los SS. En líneas generales, no parecen influir las depuradoras en estos azarbes.

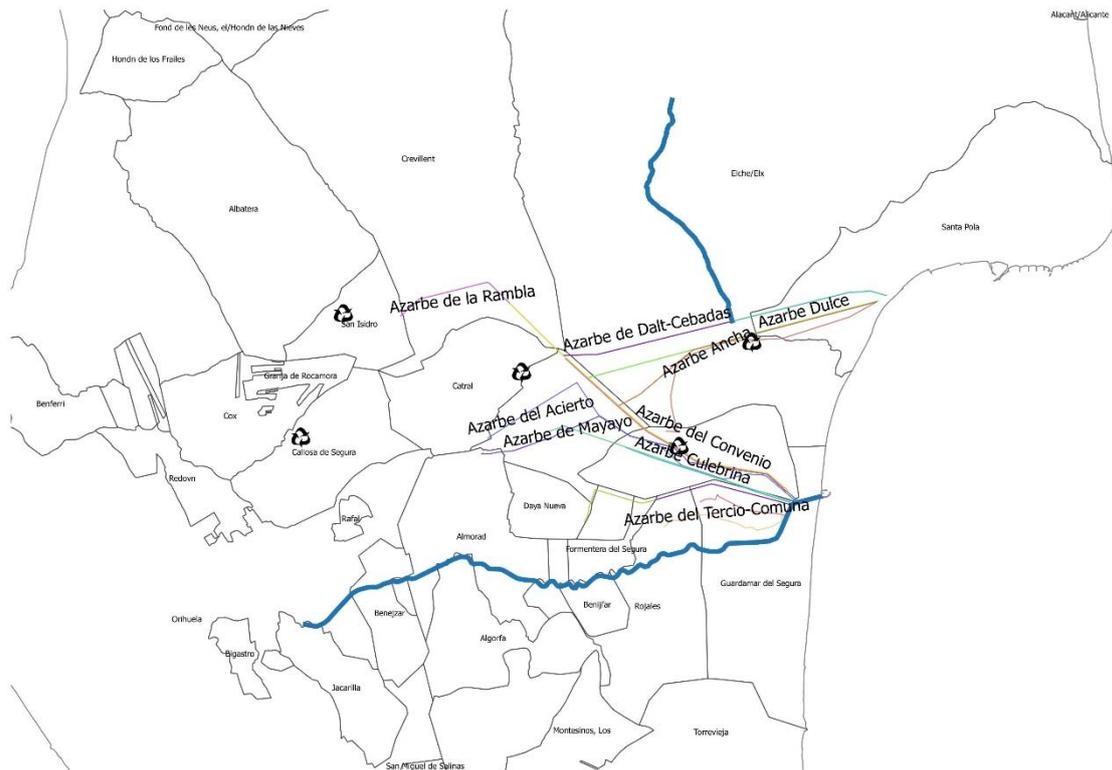


Figura 4. Depuradoras situadas en el ámbito de estudio.

6.2. Formas nitrogenadas.

La presencia de nitrógeno, especialmente de nitratos en las aguas, es uno de los factores más importantes en cuanto al aporte de nutrientes y sus efectos en las aguas costeras. Es conocido el fenómeno de la eutrofización de las aguas debida a un exceso de nutrientes y su posterior explosión biológica, que finalmente puede derivar en anoxia.

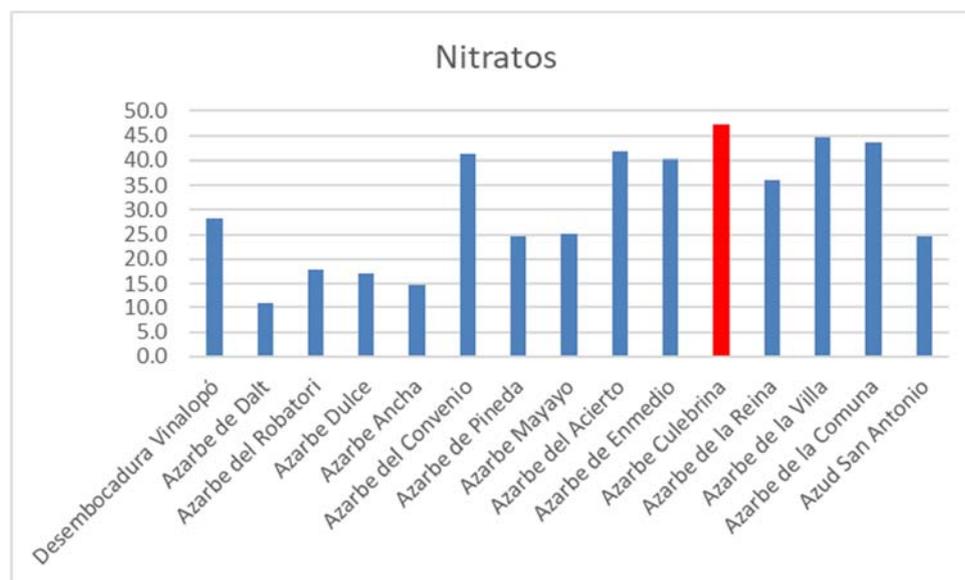
Sin embargo, conviene destacar que los valores medios de **nitratos** obtenidos para estos azarbes no superan los 50 mg/l, por debajo de los límites máximos permitidos en aguas de consumo (RD 140/2003). De todas formas, puntualmente superan estos valores algunos de los azarbes, especialmente los que confluyen en el río Segura.

En líneas generales, se puede indicar en cuanto a la calidad de las aguas, que la concentración de nitratos es superior en los azarbes del ámbito del río Segura que en los correspondientes al río Vinalopó y, por tanto, las descargas de este nutriente en las zonas costeras pueden ser más importantes en Guardamar del Segura que en Santa Pola.

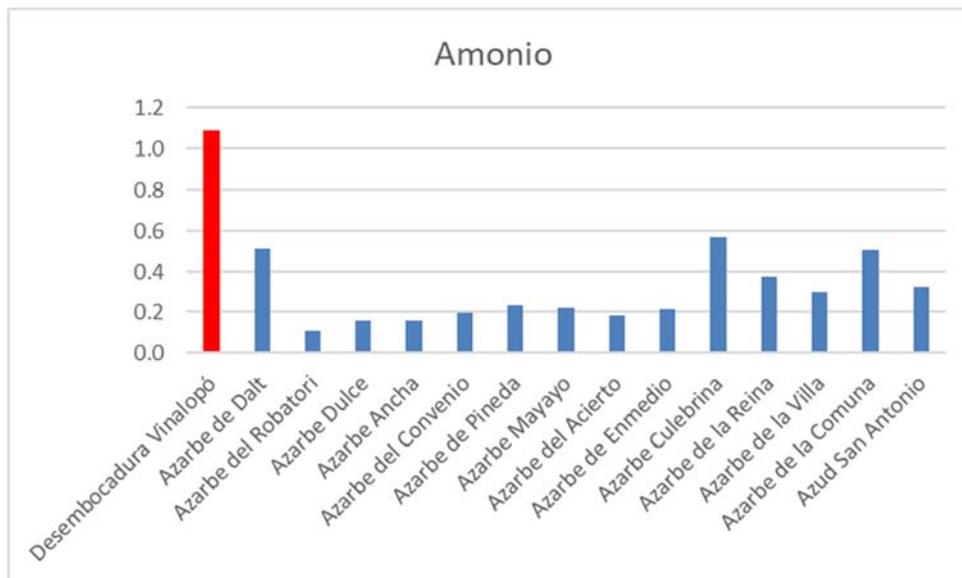
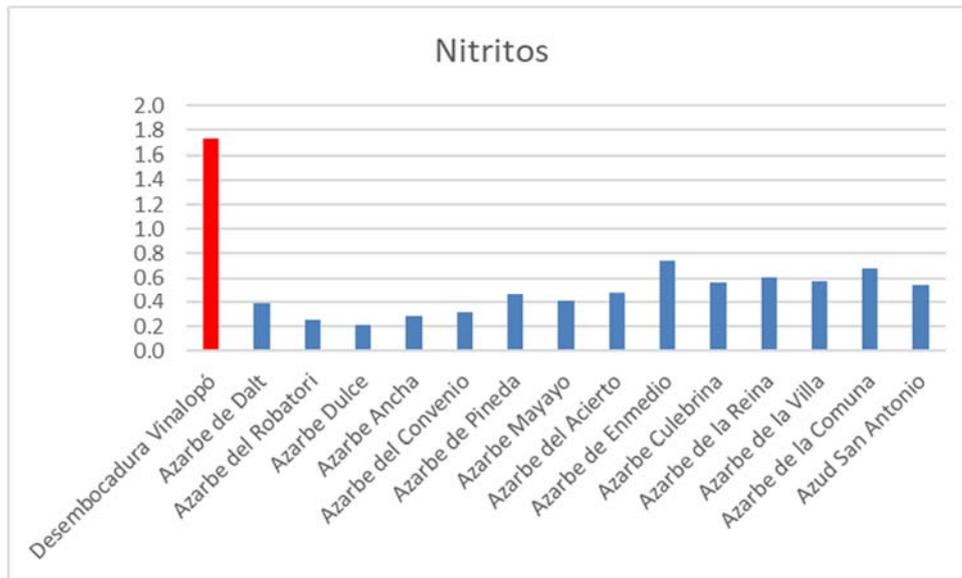
Ciñéndonos estrictamente a criterios de calidad de agua para riego dados por la FAO (Ayers y Westcot, 1985), el valor del contenido en nitratos de los azarbes del Segura se aproxima al valor establecido por estos autores para aguas con grado de restricción en el uso para riego "ligero o moderado" (comprendido entre 5 y 30 mg/l expresado como N, contenido en forma de nitrato).

Tabla 5. Formas nitrogenadas (mg/l).

Punto de muestreo	Nitrato		Nitrito		Amonio	
	Valor medio	Desv. Est.	Valor medio	Desv. Est.	Valor medio	Desv. Est.
Desembocadura Vinalopó	28,3	12,6	1,7	2,5	1,1	2,3
Azarbe de Dalt	10,8	10,9	0,4	0,4	0,5	0,6
Azarbe del Robatori	17,9	8,4	0,3	0,1	0,1	0,1
Azarbe Dulce	17,1	15,8	0,2	0,2	0,2	0,1
Azarbe Ancha	14,8	10,2	0,3	0,1	0,2	0,2
Azarbe del Convenio	41,4	4,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Azarbe de Pineda	24,7	16,9	0,5	0,2	0,2	0,3
Azarbe Mayayo	25,3	23,8	0,4	0,3	0,2	0,3
Azarbe del Acierto	41,8	16,5	0,5	0,1	0,2	0,1
Azarbe de Enmedio	40,2	15,2	0,7	0,2	0,2	0,1
Azarbe Culebrina	47,2	21,0	0,6	0,1	0,6	0,5
Azarbe de la Reina	36,0	12,2	0,6	0,3	0,4	0,4
Azarbe de la Villa	44,7	17,3	0,6	0,2	0,3	0,3
Azarbe de la Comuna	43,7	21,5	0,7	0,3	0,5	0,4
Azud San Antonio	24,6	9,4	0,5	0,3	0,3	0,3



Si prestamos atención a las **formas nitrogenadas amónicas y nitritos**, apreciamos que se presenta una concentración importante en el río Vinalopó, con valores superiores a los recogidos por ejemplo para aguas de consumo, que obviamente no es el caso ni el uso previsto para estas aguas.



La presencia de nitrógeno en forma de nitritos es más inestable que las otras dos formas inorgánicas estudiadas, pero tiene reconocidos efectos tóxicos, especialmente en mamíferos donde se puede producir metahemoglobinemia (asociada a la presencia de metahemoglobina que dificulta el transporte de oxígeno), y al igual que en el caso del nitrato, puede ser precursor de sustancias cancerígenas como las nitrosaminas (Junta de Andalucía, 2017). Sin embargo, las concentraciones existentes tanto de nitrato como de nitrito no son excesivamente elevadas en los azarbes. Otra cuestión es la suma de todas ellas en los focos de contaminación puntuales donde confluyen los aportes procedentes de todos los azarbes que junto al río Vinalopó desembocan en Santa Pola y aquellos, que unidos al Segura, lo hacen en Guardamar del Segura.

En el caso del amonio, la presencia en aguas marinas puede provocar efectos tóxicos en larvas marinas, más que estimular el crecimiento algal. La presencia de amonio en concentraciones de 10 μM (aproximadamente 0,2 mg/l), puede ser tóxica para las larvas marinas, especialmente

para los moluscos (EPA, 2001). Por estas razones comentadas, debemos entender el potencial efecto negativo de los nutrientes en las costas.

6.3. Fosfatos.

El P es otro de los nutrientes que ejercen un control muy relevante en la biología de las aguas. Al igual que el N, puede desencadenar explosiones biológicas indeseables. En este caso, se realizaron las mediciones de ortofosfato soluble presente en las aguas, es decir, la especie química más directamente asimilable, la principal especie que se incorpora a las aguas marinas (Kennish, 1989) y la que puede ocasionar un mayor riesgo para el medio acuático de forma inmediata.

En este caso, los valores más relevantes, en relación a la calidad de las aguas, se encontraron en el azarbe Dulce. Este es uno de los que menor caudal lleva de continuo de todos los estudiados, como se verá más adelante. Curiosamente, en este azarbe se observó fauna asociada a aguas que deben tener una cierta calidad, detectándose la presencia de cangrejo de río (probablemente el rojo americano) y caracoles acuáticos que parecen de la familia *Physidae*.

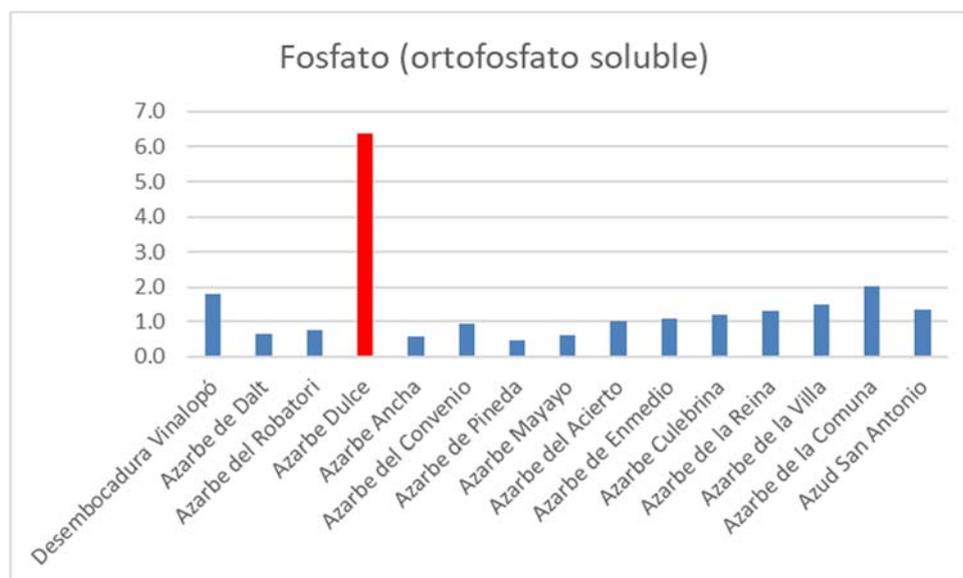


Fotografías 2 y 3. Caracol acuático y cangrejo de río detectados en el azarbe Dulce.

Además de en este azarbe, el azarbe Dulce, las mayores concentraciones de fosfatos fueron determinadas, con carácter general, en los azarbes asociados a la desembocadura del río Segura, y la concentración en las aguas del río Vinalopó.

Tabla 6. Fosfatos (mg/l).

Punto de muestreo	Valor medio	Desv. Est.
Desembocadura Vinalopó	1,8	0,7
Azarbe de Dalt	0,6	0,4
Azarbe del Robatori	0,7	0,3
Azarbe Dulce	6,4	5,9
Azarbe Ancha	0,6	0,2
Azarbe del Convenio	1,0	0,2
Azarbe de Pineda	0,5	0,2
Azarbe Mayayo	0,6	0,5
Azarbe del Acierto	1,0	0,2
Azarbe de Enmedio	1,1	0,3
Azarbe Culebrina	1,2	0,2
Azarbe de la Reina	1,3	0,3
Azarbe de la Villa	1,5	0,2
Azarbe de la Comuna	2,0	0,4
Azud San Antonio	1,3	0,4



La llegada de fosfatos a las costas y estuarios genera un problema que es bien conocido desde hace años. Smith y Longmore (1980) ya indicaron que los aportes de fosfatos proceden de los suelos (actividades agrícolas, la remoción del suelo, arado y volteo) y la descarga de aguas residuales. Además, apuntan que la llegada de este compuesto a los estuarios (aguas de transición) y aguas costeras podía incrementar el crecimiento del fitoplancton y las macroalgas, con efectos negativos en la pesca, las infraestructuras y las playas. Estos autores indicaron que el fosfato permanece en disolución en un amplio rango de salinidad del agua y lo asocian a la presencia de materia particulada en suspensión. Este es el caso que se da en estos azarbes, que transportan importantes cantidades de sólidos en suspensión a la vez que niveles que se pueden considerar razonablemente altos de fosfatos. En la guía de calidad de aguas costeras de EPA (EPA, 2001), se indica que las partículas en suspensión pueden retener fosfato y tóxicos. Los sólidos en suspensión podrían potenciar el efecto de los fosfatos.

La agencia norteamericana para la protección del medio ambiente (EPA) avisa en su informe “Coastal Trophic” que la presencia de nutrientes en las aguas costeras es crítica, especialmente si se trata de nitrógeno y fósforo, que influyen en el crecimiento de algas, disminuyen la transparencia de las aguas, reduce los niveles de oxígeno disuelto y pueden perjudicar a los peces y al resto de especies acuáticas. En nuestro caso concreto, las praderas costeras de posidonia oceánica podrían verse afectadas por esta situación con relación a la pérdida de transparencia de las aguas y sus efectos sobre la actividad fotosintética.

Conviene recordar que N y P, aparecen como sustancias contaminantes en el anexo III del R.D. 60/2011 de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

6.4. Aniones: cloruro, sulfato y bicarbonato.

La presencia de aniones que condicionan la salinidad, concretamente el caso de **cloruro y sulfato**, muestran la predominancia en la composición mineral de las aguas que confluyen en la desembocadura del río Vinalopó, frente a las del río Segura.

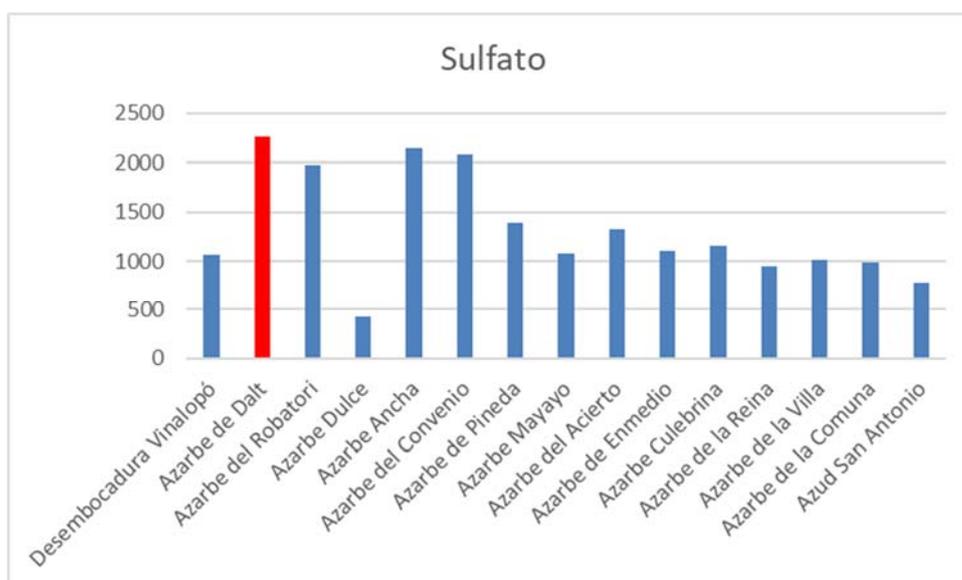
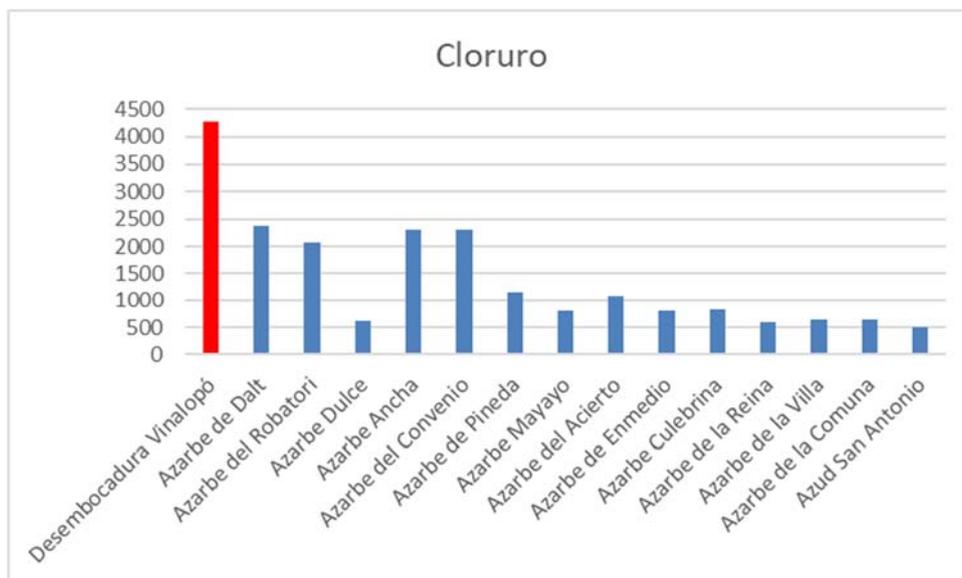
Esto es conforme con la mayor salinidad de las aguas mostrada por las primeras, excepto el azarbe Dulce, frente a las segundas. Ambos aniones, cloruros y sulfatos, se comportan de manera similar a los valores de conductividad eléctrica analizados (tabla 2), por lo que esta medida de salinidad mediante la conductividad eléctrica puede permitir prever una relación directa con ambos aniones.

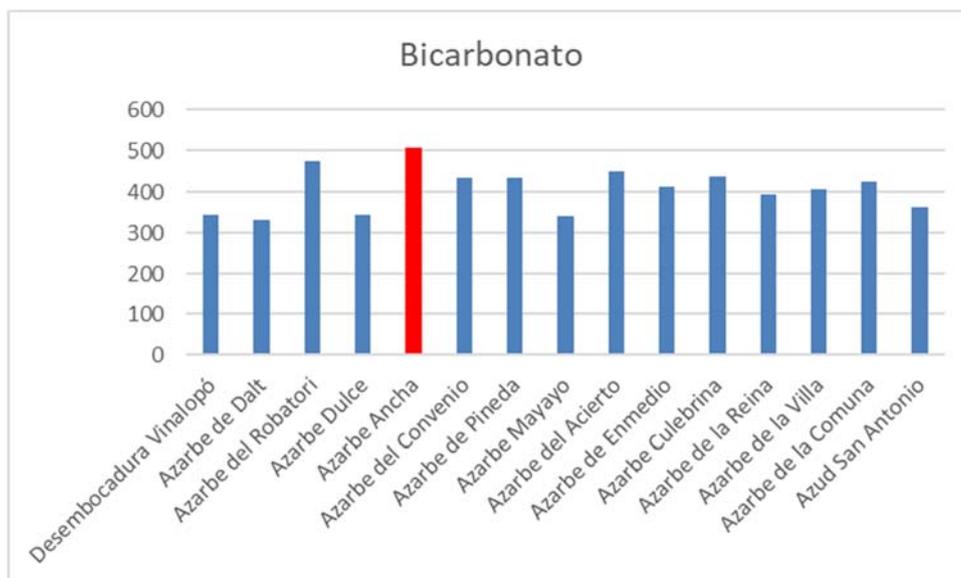
Tabla 7. Cloruro, sulfato y bicarbonato (mg/l).

Punto de muestreo	Cloruro		Sulfato		Bicarbonato	
	Valor medio	Desv. Est.	Valor medio	Desv. Est.	Valor medio	Desv. Est.
Desembocadura Vinalopó	4274	1453	1070	305	344	52
Azarbe de Dalt	2363	662	2260	537	331	102
Azarbe del Robatori	2069	1018	1981	779	474	131
Azarbe Dulce	608	219	425	233	345	101
Azarbe Ancha	2312	567	2139	452	506	112
Azarbe del Convenio	2306	285	2083	190	436	112
Azarbe de Pineda	1151	307	1395	316	436	110
Azarbe Mayayo	809	462	1079	375	342	133
Azarbe del Acierto	1087	440	1319	333	451	116
Azarbe de Enmedio	815	253	1099	260	412	115
Azarbe Culebrina	823	286	1162	357	438	92
Azarbe de la Reina	596	202	943	286	394	152
Azarbe de la Villa	636	232	1017	385	407	99
Azarbe de la Comuna	641	269	983	361	424	115
Azud San Antonio	507	202	774	380	362	107

En el caso de la presencia de **bicarbonato**, no se aprecian diferencias importantes entre azarbes. Su concentración total se sitúa por debajo de la de cloruro y sulfato, en valores entre 350-500 mg/l.

Sin embargo, conviene destacar un hecho relevante en los azarbes que vierten al Segura, la salinidad elevada que presenta el Convenio. Se repite este mismo patrón, dado por la conductividad eléctrica, en el caso de la concentración de cloruro y sulfato en este azarbe.





6.5. Cationes: Ca, Mg, Na y K.

Estos cuatro cationes son los fundamentales en la química de las aguas del planeta. De todos ellos, dada la salinidad de las aguas, el sodio se presenta como el predominante, seguido del calcio.

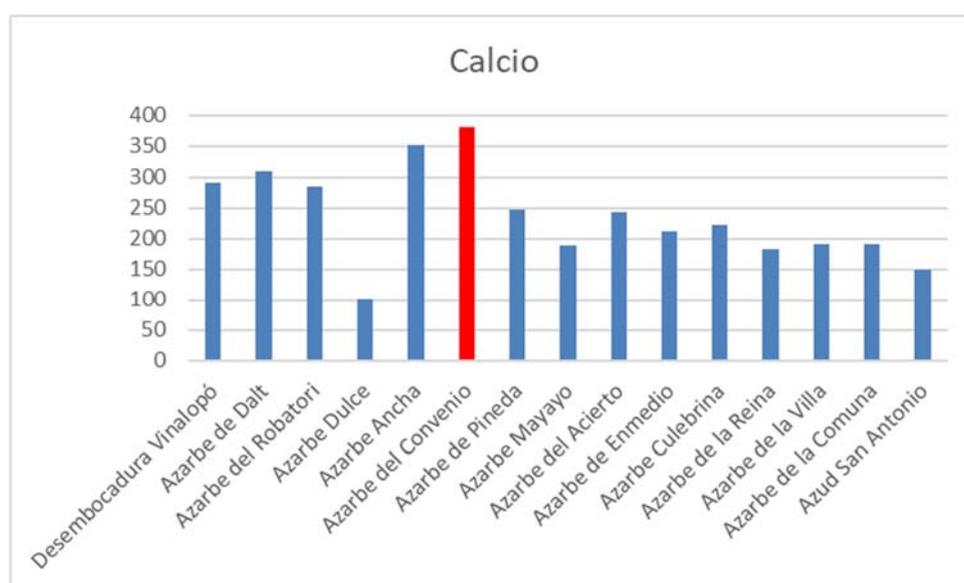
La concentración de **sodio** evoluciona de manera similar a la de cloruro y a los valores medidos de conductividad eléctrica. Destaca la concentración existente en las aguas del río Vinalopó, y los azarbes de Dalt, Ancha y el Convenio.

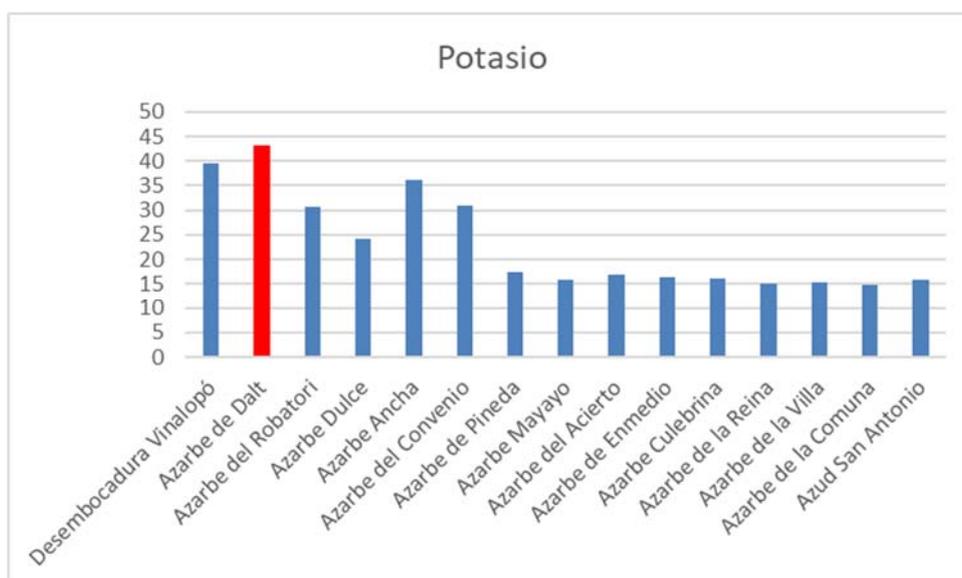
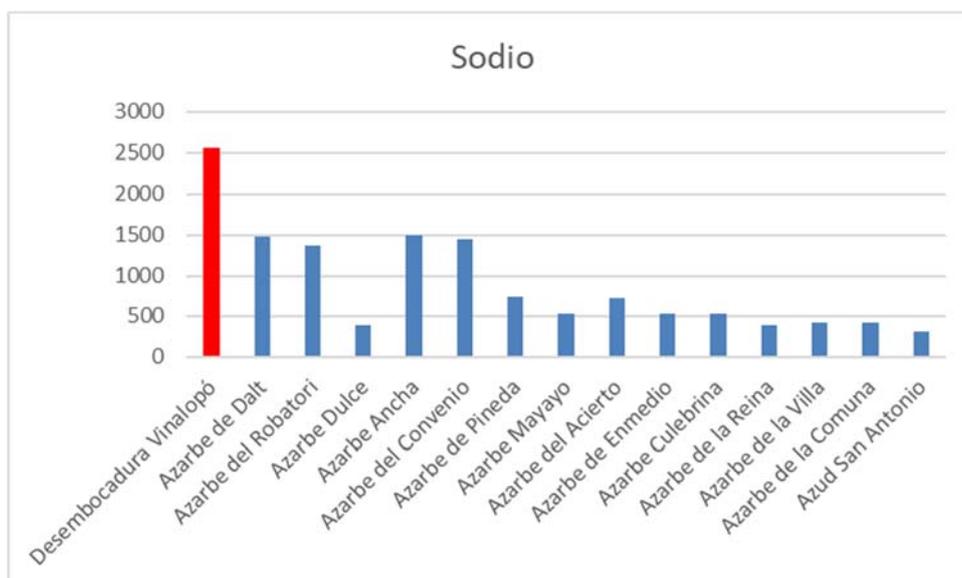
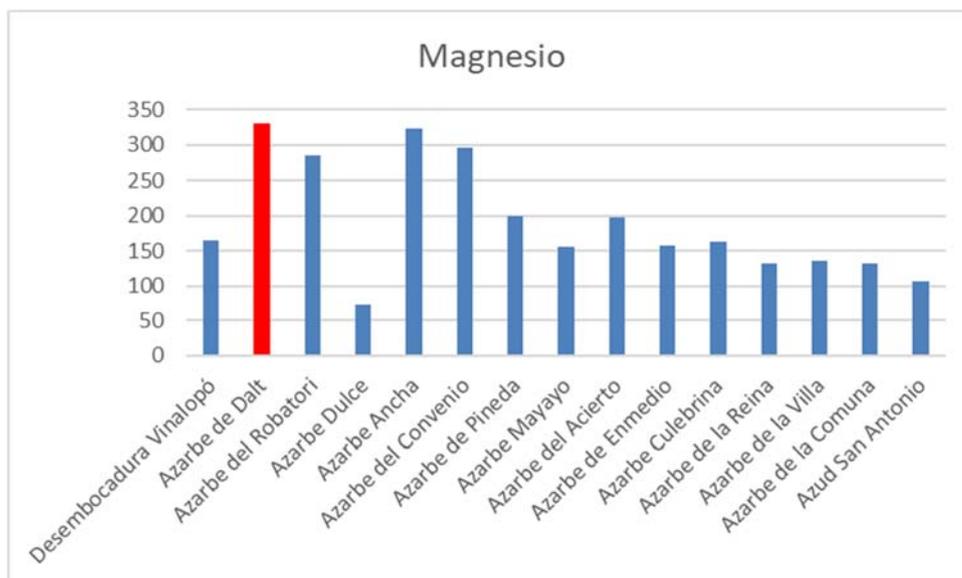
Menores valores presentan el resto, aunque los valores de magnesio y de calcio son importantes. Destaca la presencia de potasio en los azarbes de la vertiente del Vinalopó, dentro de que este catión es el de menor concentración de los cuatro analizados en este apartado. Su mayor presencia en la vertiente del río Vinalopó puede ser debida a la salinidad de los suelos que afectan a las aguas de dichos azarbes o por su origen agrícola (uso de fertilizantes potásicos para contrarrestar la presencia de sodio en el suelo).

Dada la salinidad de los suelos y la competencia entre el sodio y el potasio por los lugares de adsorción en los suelos, puede resultar más fácil el lavado de potasio en los suelos más salinos y, por tanto, su llegada a los azarbes.

Tabla 8. Ca, Mg, Na y K (mg/l).

Punto de muestreo	Ca		Mg		Na		K	
	Valor medio	Desv. Est.						
Desembocadura Vinalopó	291	79	166	44	2552	770	40	6
Azarbe de Dalt	310	90	330	86	1480	388	43	11
Azarbe del Robatori	285	92	286	105	1365	659	31	11
Azarbe Dulce	102	29	72	23	383	137	24	10
Azarbe Ancha	352	86	323	62	1488	387	36	9
Azarbe del Convenio	380	92	297	36	1448	168	31	2
Azarbe de Pineda	246	74	199	48	739	191	17	3
Azarbe Mayayo	189	80	156	63	520	277	16	4
Azarbe del Acierto	244	83	198	56	732	333	17	7
Azarbe de Enmedio	211	64	157	46	530	157	16	5
Azarbe Culebrina	222	83	163	53	531	173	16	3
Azarbe de la Reina	182	67	132	46	384	121	15	3
Azarbe de la Villa	191	74	136	44	411	150	15	2
Azarbe de la Comuna	191	77	132	44	412	167	15	2
Azud San Antonio	150	69	107	47	314	131	16	5





6.6. Metales pesados: Cd, Cr y Ni.

Los metales pesados seleccionados en este estudio han sido cadmio, cromo y níquel, característico el primero por su alta toxicidad a bajas concentraciones y los dos siguientes, por ser habituales en sectores manufactureros e industriales, así como en pequeños talleres (cromados, niquelados, etc.) y su presencia importante en los medios urbanos.

Lo primero que debemos considerar es que la concentración de estos metales en las aguas es baja, del orden de microgramos por litro. Lo segundo, es que, en el caso del **Cd**, no se ha detectado su presencia, siendo el límite de detección utilizado en las mediciones el de 0,1 µg/l.

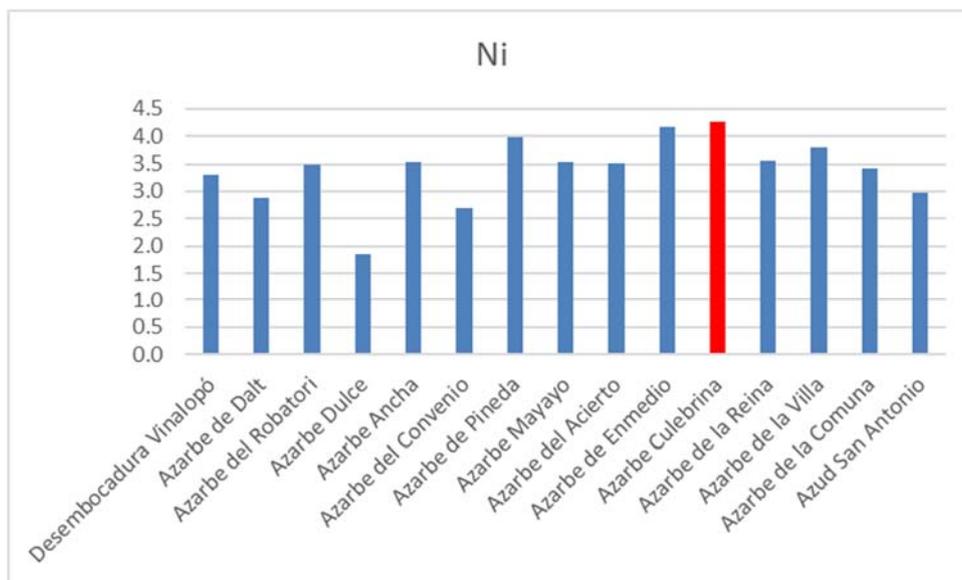
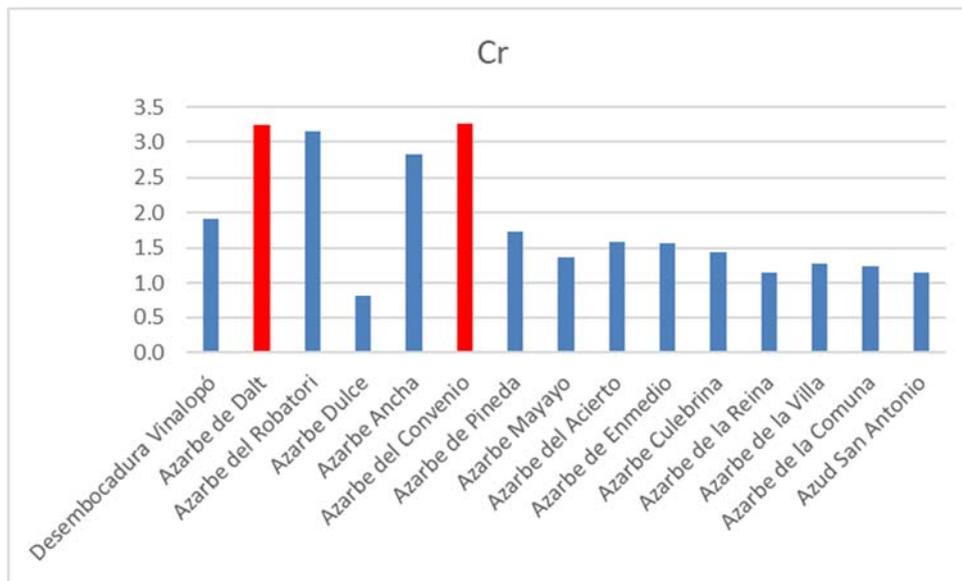
Cromo y níquel han mostrado su presencia en las aguas de los azarbes estudiados, como muestra la tabla 9. En ningún caso, la concentración media ha sido superior a 5 µg/l, aunque en algunos muestreos se ha superado este valor.

Si comparamos con los límites máximos permitidos para estos metales, Cr y Ni, en aguas de consumo, valores de 50 y 20 µg/l respectivamente (R.D. 140/2003), vemos que las concentraciones se encuentran por debajo de estos niveles. No parece que deba haber problemas asociados a la contaminación por estos metales pesados en las aguas analizadas.

La presencia de Cr es mayor en los azarbes de Dalt, Robatori y el Convenio, mientras que el azarbe de la Culebrina, manifiesta los valores medios más altos en cuanto a níquel se refiere. Salvo la posible o no posible existencia de vertidos puntuales que no hayan podido ser detectados en los muestreos realizados, no se registraron valores altos de estos metales, estando por debajo de los límites establecidos incluso para las aguas de consumo.

Tabla 9. Cd, Cr y Ni (µg/l).

Punto de muestreo	Cd		Cr		Ni	
	Valor medio	Desv. Est.	Valor medio	Desv. Est.	Valor medio	Desv. Est.
Desembocadura Vinalopó	nd	-	1,9	1,0	3,3	1,0
Azarbe de Dalt	nd	-	3,2	1,3	2,9	0,7
Azarbe del Robatori	nd	-	3,2	2,0	3,5	0,5
Azarbe Dulce	nd	-	0,8	0,2	1,8	0,5
Azarbe Ancha	nd	-	2,8	1,3	3,5	0,3
Azarbe del Convenio	nd	-	3,3	0,7	2,7	0,6
Azarbe de Pineda	nd	-	1,7	0,5	4,0	0,4
Azarbe Mayayo	nd	-	1,4	0,5	3,5	0,8
Azarbe del Acierto	nd	-	1,6	0,6	3,5	0,9
Azarbe de Enmedio	nd	-	1,6	0,9	4,2	1,3
Azarbe Culebrina	nd	-	1,4	0,5	4,3	1,1
Azarbe de la Reina	nd	-	1,1	0,5	3,6	1,0
Azarbe de la Villa	nd	-	1,3	0,6	3,8	0,8
Azarbe de la Comuna	nd	-	1,2	0,4	3,4	0,9
Azud San Antonio	nd	-	1,1	0,8	3,0	1,2



7. Aportes anuales estimados en los puntos de descarga costeros.

Para estimar los aportes anuales de los compuestos analizados en este trabajo de investigación, se hace necesario determinar en primer lugar el caudal de los azarbes y el de los tramos finales del río Vinalopó y del Segura en el azud de San Antonio. En este último caso, conviene indicar que la medición de calidad y caudal en el entorno del azud persigue el objetivo de conocer la calidad de las aguas que desde este punto pueden ser elevadas a los embalses de El Hondo, embalses de riego y elementos claves en el sistema de humedales y ecosistemas húmedos de la Comunidad Valenciana, constitutivos de un Parque Natural de altísimo valor protegido por la legislación valenciana e integrado en la Red Natura 2000.

El caudal de los azarbes, como el de los ríos mediterráneos costeros, es variable a lo largo del año. Las variaciones son debidas a diversos factores, pero en el caso de los azarbes, la actuación antrópica es crítica y la asociación con el riego básica para determinar estos caudales.

Incluso, en época estival, el cierre de las compuertas de los azarbes para retener agua es una práctica habitual cuando hay escasez de agua para riego, especialmente practicada en los azarbes asociados a la desembocadura del río Segura. En este verano de 2017, algunos de ellos como la Comuna y la Villa, presentaban sus compuertas cerradas para retener el agua para riego. A pesar de la existencia de estas compuertas, no se podía evitar la salida de las aguas por completo, aunque esta era realmente escasa en estos dos azarbes mencionados, la Comuna y la Villa. Estos cierres de compuertas en el estiaje, buscan retener recursos que se emplean de nuevo para el riego.

Aún con estas limitaciones reseñadas, en los sucesivos muestreos, se ha determinado a lo largo de este año los caudales de forma aproximada, considerando valores medios máximos observados por los niveles alcanzados por el agua (marcados en las estructuras de drenaje) y que bien pudieran deberse a episodios de fuertes precipitaciones, y valores medios mínimos que se asemejan más al discurrir tradicional de las aguas por dichos azarbes. Es importante insistir en que, en algunos azarbes, como los indicados anteriormente, las mediciones de los caudales mínimos son meramente especulativas por las propias dificultades que implica el cierre de compuertas, y son más plausibles valores intermedios entre los dados como medias máximas y mínimas.

Con todas estas consideraciones, estos valores estimativos figuran en la tabla 10. Se dan dos valores, una de medias altas (episodios con gran caudal) y otro de medias más bajas. Sin duda, precisan de más mediciones para poder disponer de series temporales y valores más fiables que nos conduzcan a un valor medio anual significativo.

Para los ríos Vinalopó y el azud de San Antonio (río Segura), se han tomado los valores procedentes de las bases de datos de las respectivas confederaciones hidrográficas a las que pertenecen estos ríos, junto con datos de informes emitidos por estas administraciones y que figuran en la propia web para su consulta pública, tanto en la Confederación Hidrográfica del Júcar y la del Segura.

Los mayores caudales se encontraron en los azarbes del Convenio, Acierto y la Reina, seguidos de Pineda, además de los datos obtenidos para el río Segura en el azud de San Antonio.

Tabla 10. Valores estimados de los caudales (m³/s).

	Valores situados entre:	
Desembocadura Vinalopó	0,423	0,300
Azarbe de Dalt	0,296	0,217
Azarbe del Robatori	0,496	0,300
Azarbe Dulce	0,006	0,003
Azarbe Ancha	0,292	0,192
Azarbe del Convenio	4,179	2,274
Azarbe de Pineda	1,254	0,684
Azarbe Mayayo	0,270	0,140
Azarbe del Acierto	2,400	1,342
Azarbe de Enmedio	0,270	0,140
Azarbe Culebrina	0,270	0,140
Azarbe de la Reina	2,179	1,274
Azarbe de la Villa	0,200	0,003
Azarbe de la Comuna	0,200	0,003
Azud San Antonio	2,341	0,500

A partir de estos valores de caudales y los valores medios de concentración en los distintos azarbes, se han elaborado los siguientes gráficos que ayudan a estimar los posibles valores mínimos y máximos de descarga para cada compuesto estudiado hacia las zonas costeras. El valor real de descarga anual puede situarse entre ambos valores, pero en función de las condiciones climáticas del sur de la Comunidad Valenciana, condiciones áridas y semiáridas, es más posible que se encuentre próximo a los valores derivados de la media más baja del caudal que el correspondiente a la más alta.

Conviene hacer la reflexión sobre que la calidad de las aguas es importante para conocer el uso al que puede destinarse el agua de cada cauce analizado, y es relevante saber cuáles son sus parámetros más significativos. Así, se ha podido comprobar como la salinidad y las sales asociadas a esta son los parámetros más importantes en el conjunto de cauces que desembocan en la gola de Santa Pola, mientras que nitratos y fosfatos parecen más importantes en el caso de los que descargan en el río Segura.

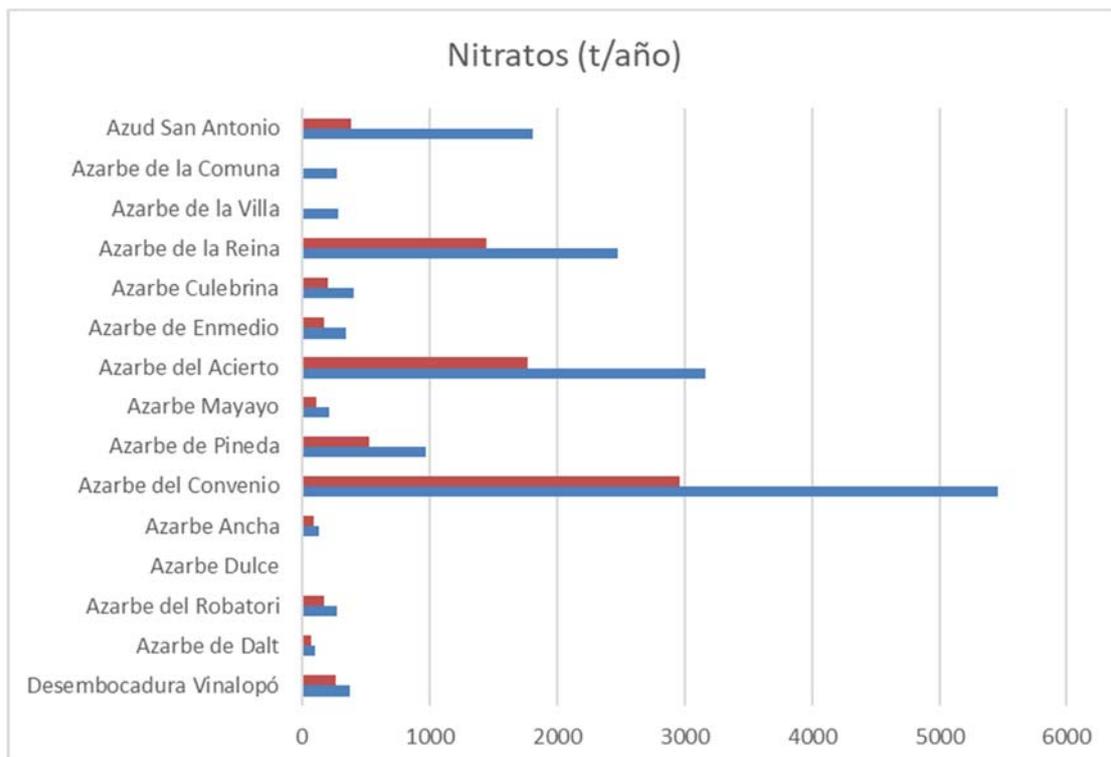
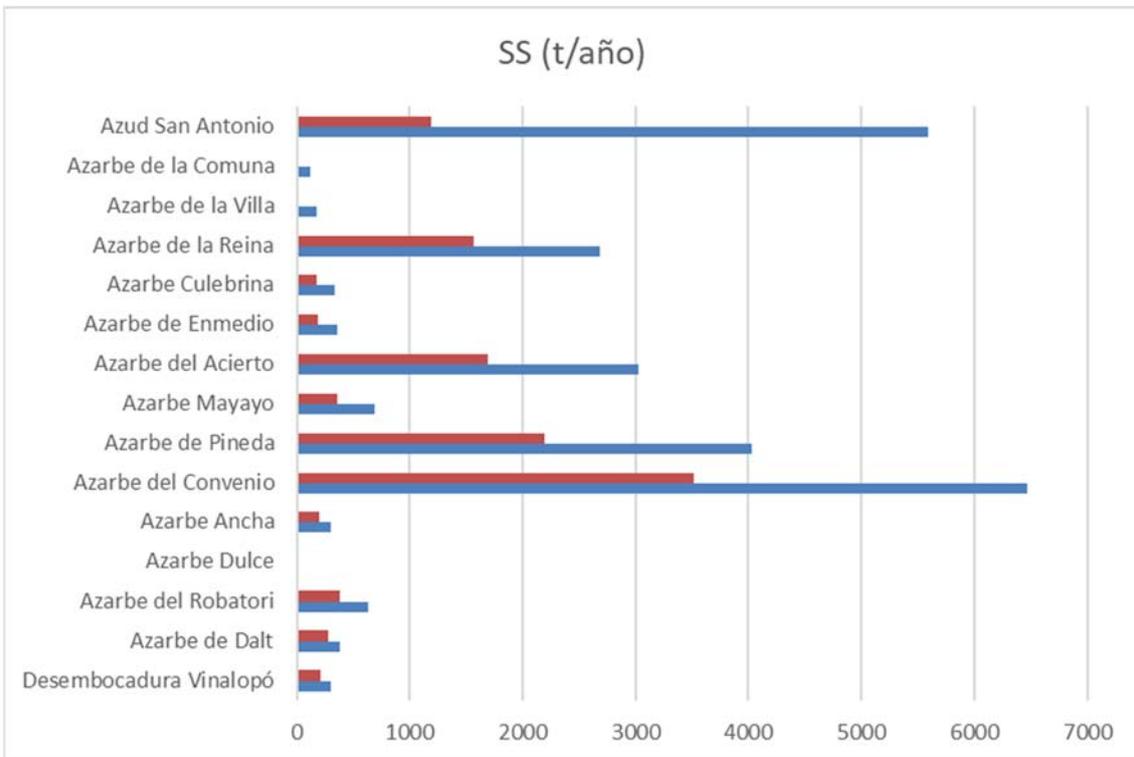
Sin embargo, tras esta reflexión y considerando los caudales estimados, podemos establecer objetivamente cual es el cauce o los cauces que se convierte en vector principal de contaminación en la costa, en función de la cantidad de contaminantes descargados. Por ello, la serie de gráficos que se muestran a continuación son orientativos a este respecto.

Comenzando por los **sólidos en suspensión**, tanto el azud de San Antonio como el Convenio, se configuran en los dos vectores más relevantes en cuanto al aporte anual total de sólidos en suspensión, ambos en la zona del río Segura.

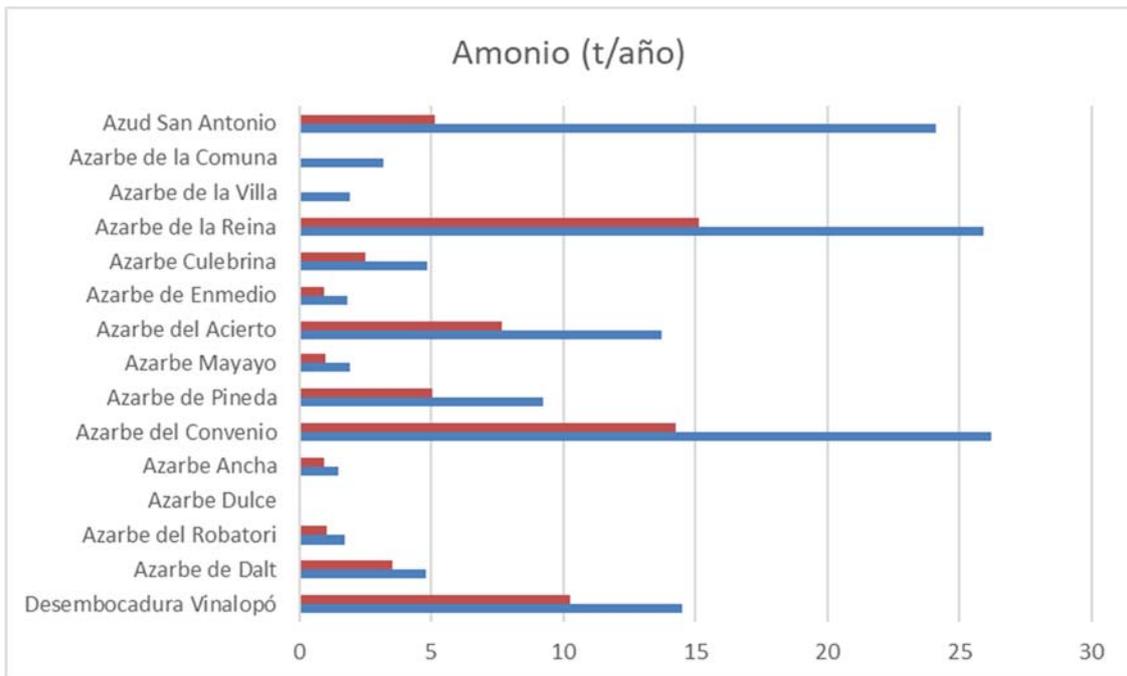
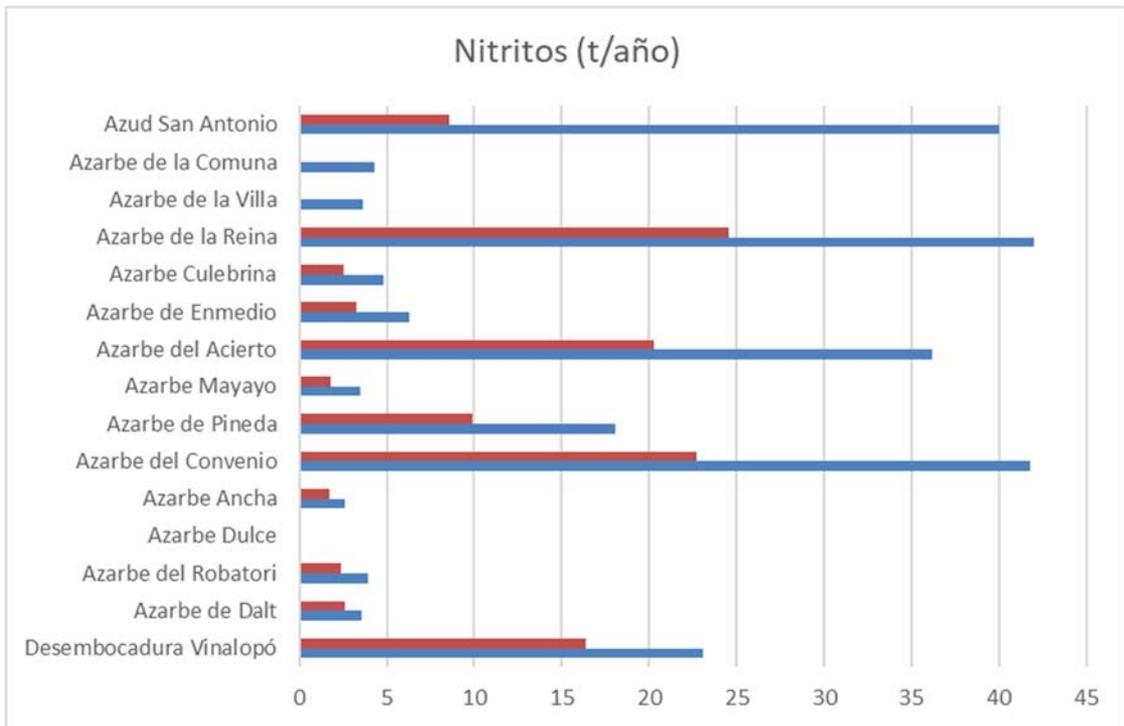
En el caso de los **nitratos**, es de nuevo el azarbe del Convenio el principal agente de contaminación.

Como se aprecia en las gráficas, para cada agente contaminante, se establece un límite inferior (primera barra) y el superior (límite de la segunda barra). Lo que es esperable es que el valor anual se sitúe entre ambos valores, más próximo a la parte baja. Las diferencias entre ambos

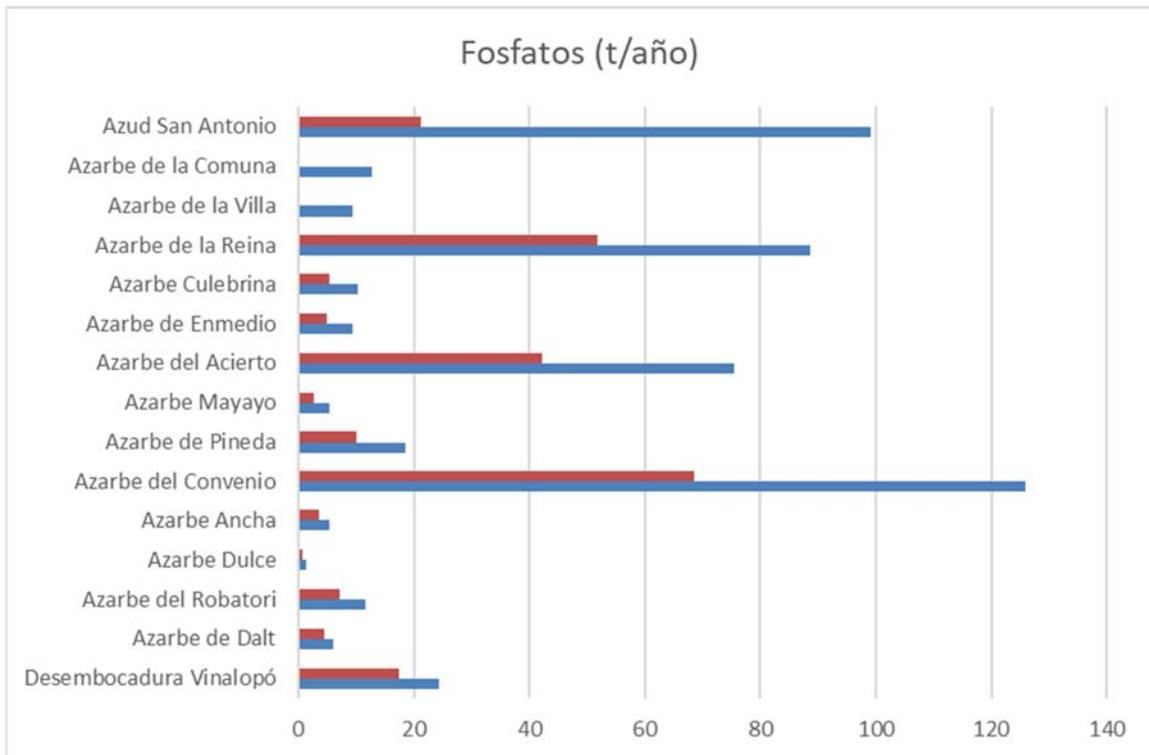
extremos de valores, es en algunos casos es muy grande y fruto del caudal variable, por ejemplo, en el Azud de San Antonio.



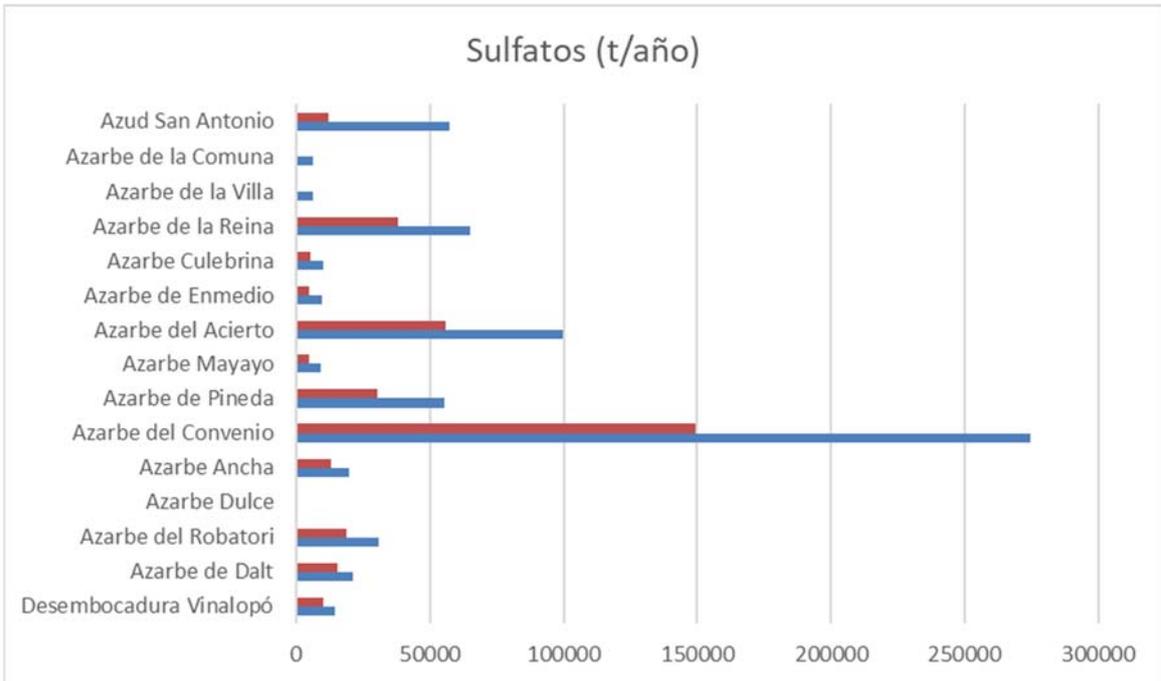
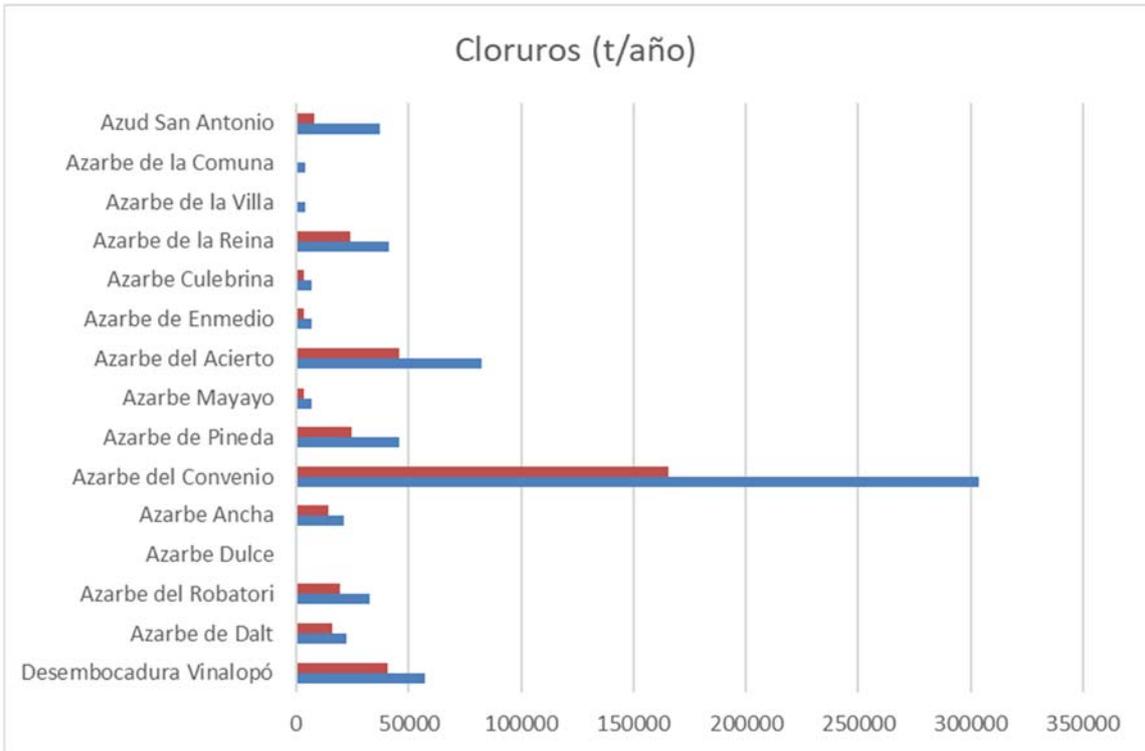
Si consideramos el resto de parámetros, la cantidad de contaminantes aportado por los distintos cauces pondrán de manifiesto de nuevo la preponderancia del azarbe del Convenio en cuanto a aportes totales. Aunque puntualmente, como en el caso de los aportes de **nitritos y amonio**, sea el azarbe de la Reina el más importante.

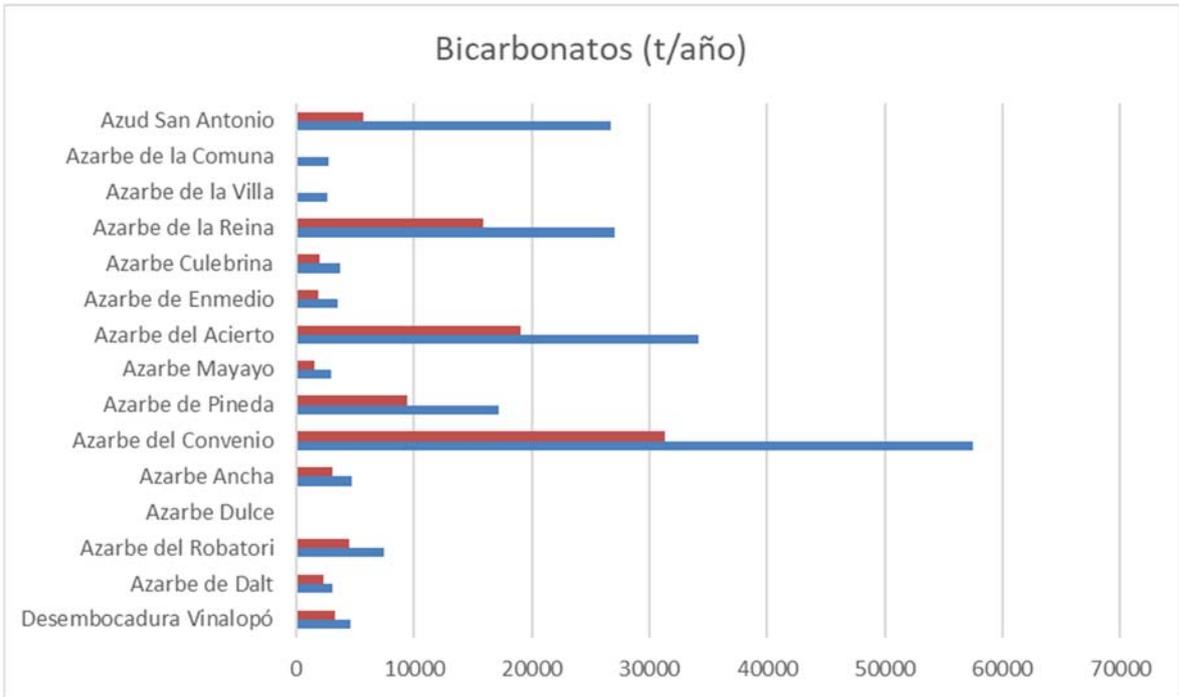


Los aportes de **fosfatos** (ortofosfato soluble) son especialmente relevantes en la vertiente del río Segura, destacan azarbes como la Reina, Acierto y el Convenio.

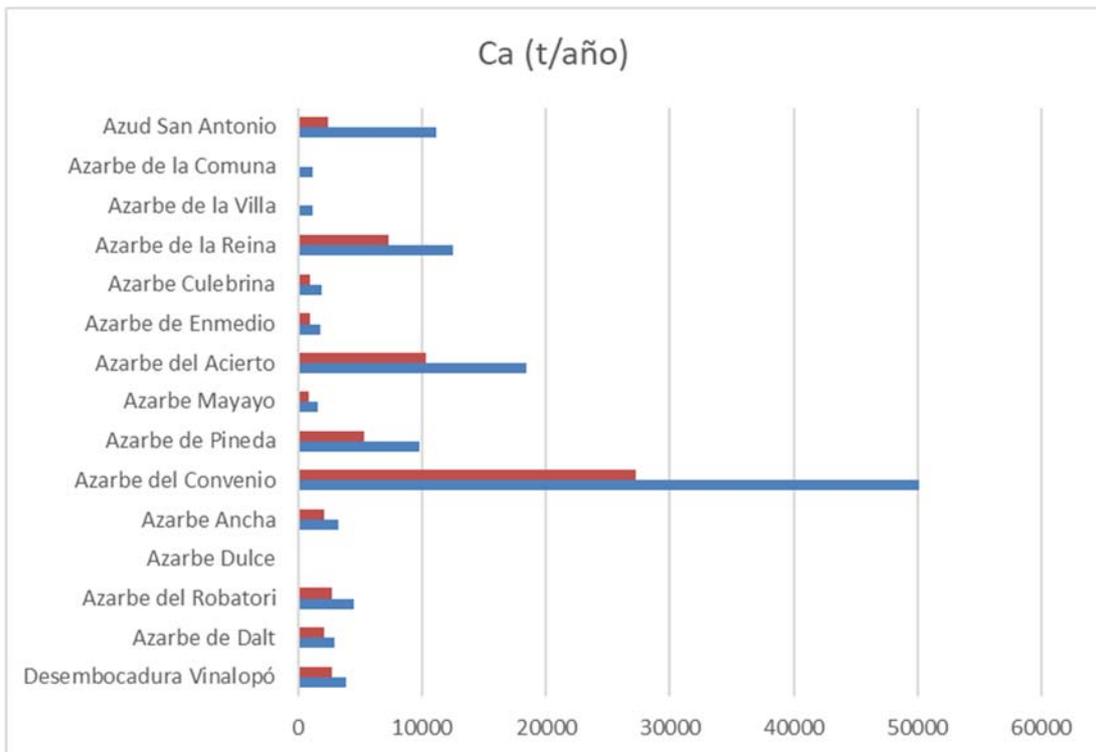


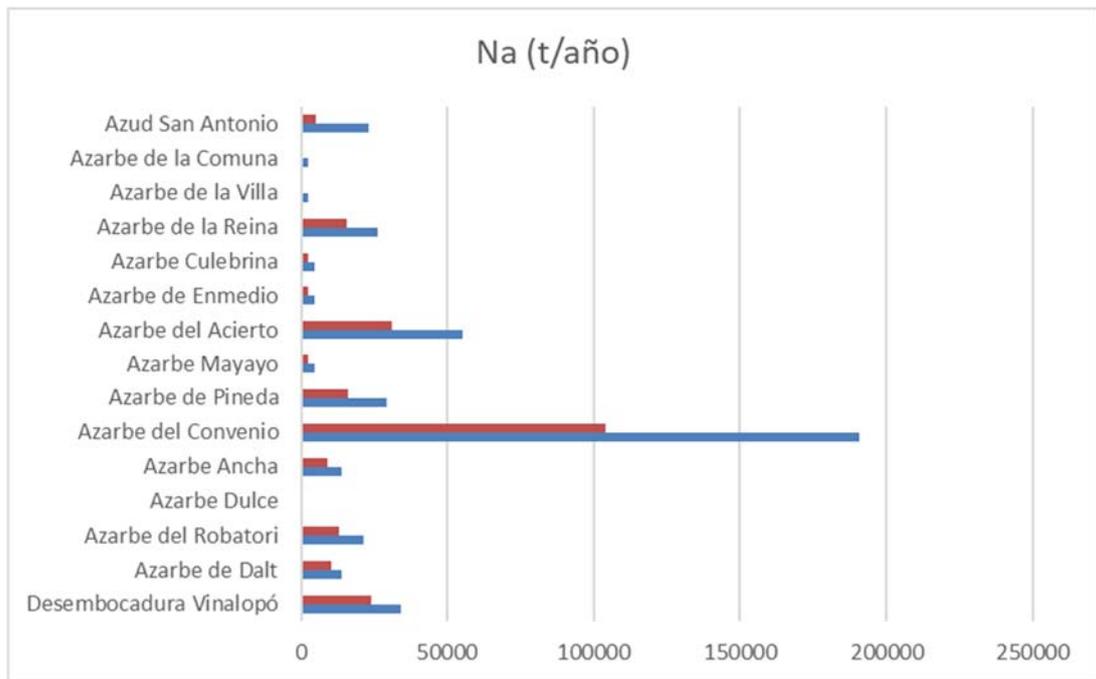
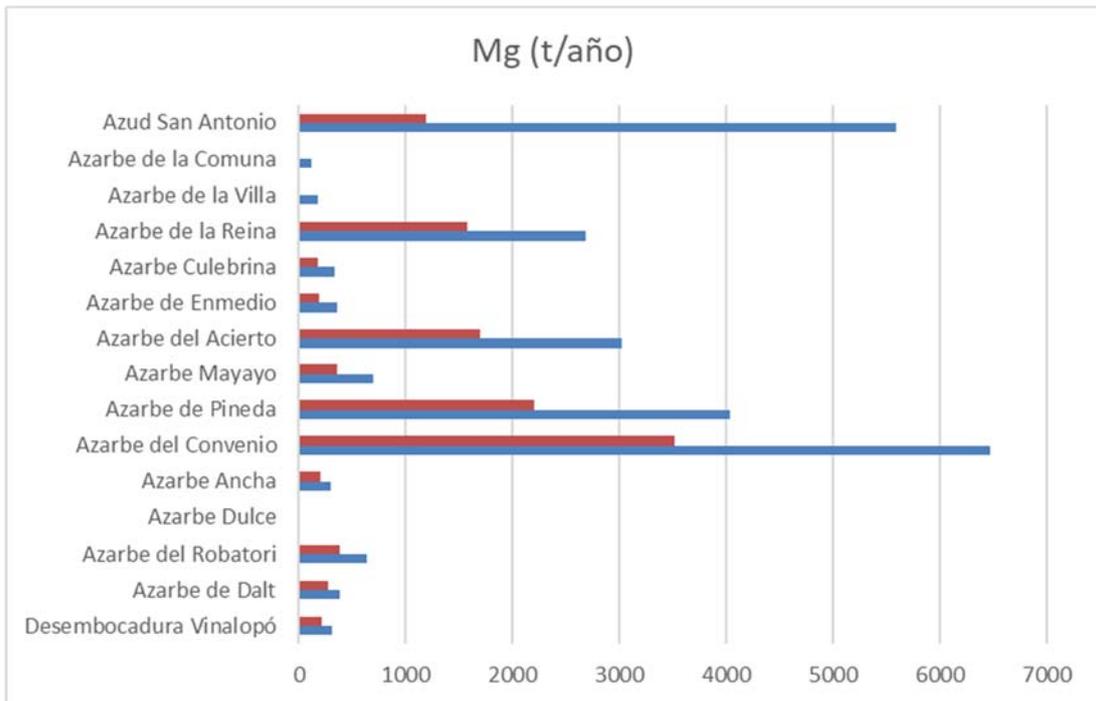
En el caso de las sales, tanto **cloruros** como **sulfatos** son las que se aportan en mayores cantidades, que pueden llegar a rondar las 150.000 toneladas anuales evacuadas por medio del azarbe del Convenio. En el caso de los **bicarbonatos**, las cantidades son también muy importantes.

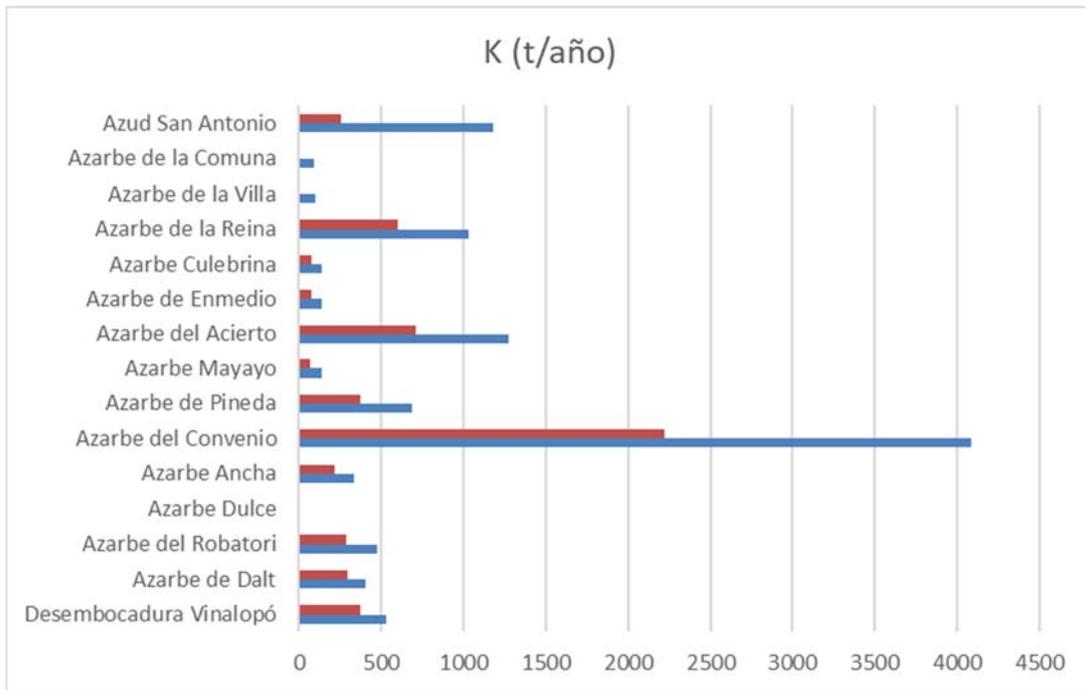




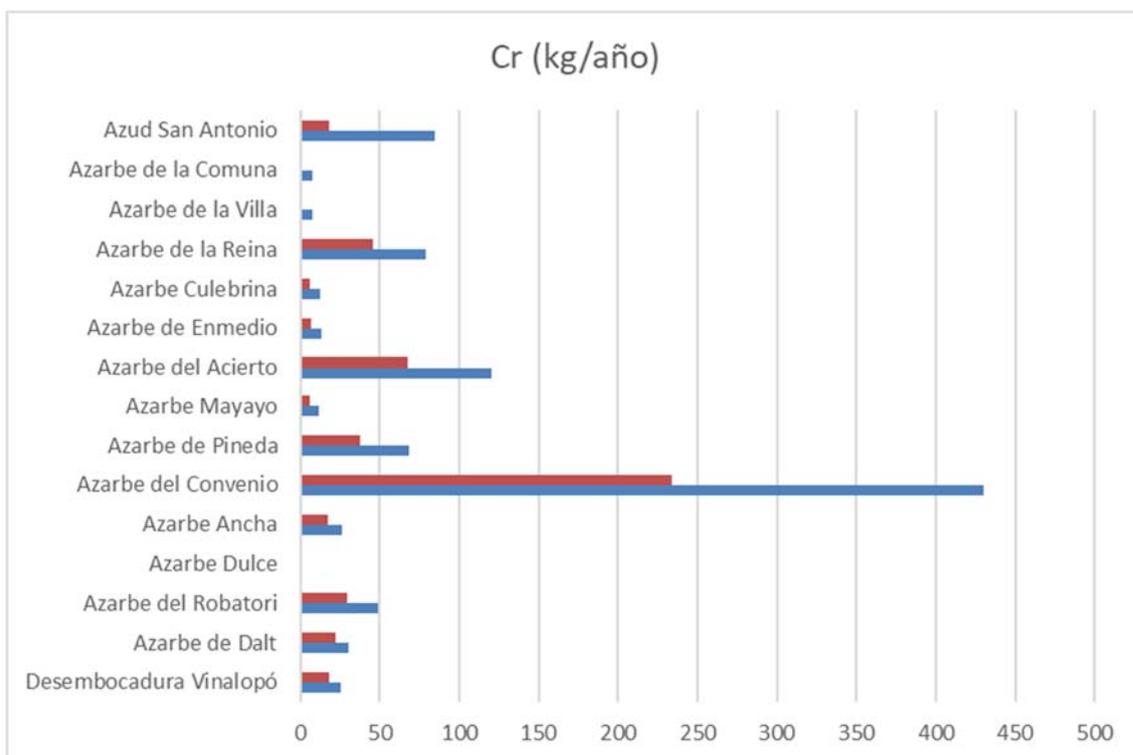
Los cationes **Ca**, **Mg**, **Na** y **K** reflejan los mismos comportamientos indicados anteriormente. Es de nuevo el Convenio, el colector de drenaje que, de forma estimativa, se encarga de transportar la mayor cantidad de estos elementos hacia el mar Mediterráneo.

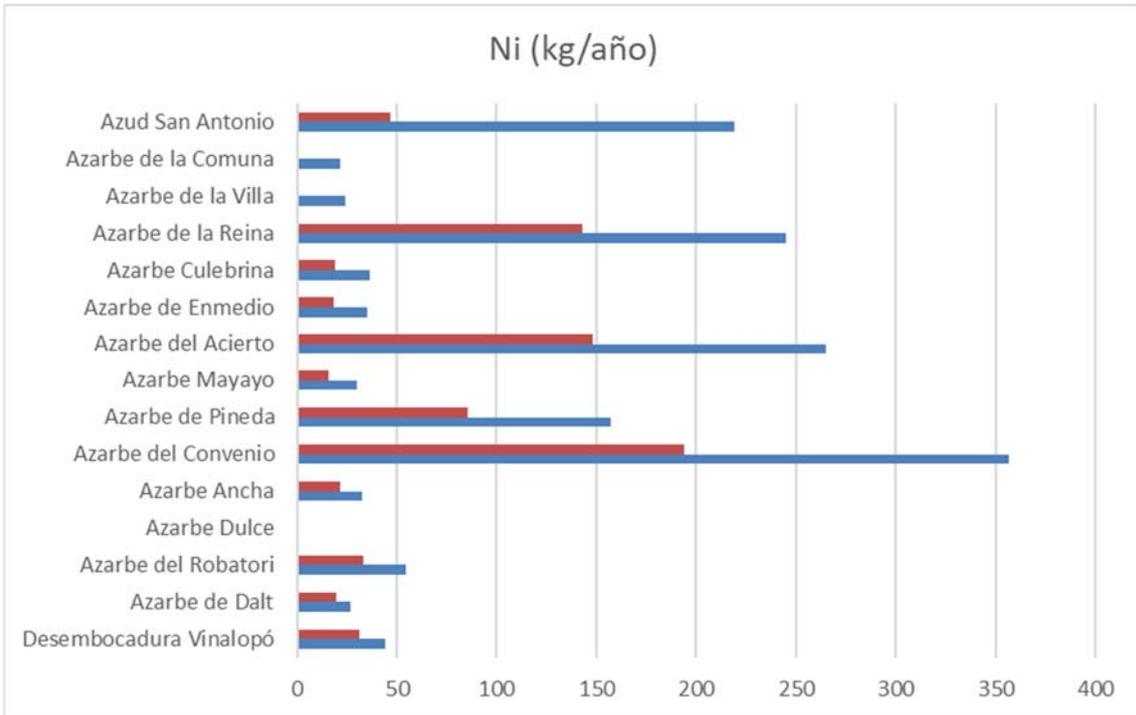






Los metales pesados analizados, exceptuando el Cd, cuyos valores quedaron por debajo del límite de detección de 0,1 µg/l, muestran aportaciones anuales relativamente bajas, todas inferiores a una tonelada año. Destaca de nuevo el aporte de cromo por el Convenio que podía llegar a estimarse en torno a 300 kg anuales y sobre los 250 kg en el caso del níquel.





Una vez mostradas las gráficas anteriores, es conveniente estimar aproximadamente, las descargas totales puntuales en los dos puntos costeros claves en este estudio: la desembocadura de los azarbes y río Vinalopó en Santa Pola, y los correspondientes a la desembocadura del río Segura (figura 5).



Figura 5. Desplazamiento de los drenajes hacia los puntos de descarga.

La conclusión general de esta red de azarbes es que se produce la transformación de un proceso de contaminación agraria difusa en uno de contaminación puntual, debido a la confluencia de las cuencas de drenaje artificiales de los azarbes en dos lugares muy concretos. Este es el mecanismo y el proceso general de funcionamiento de este sistema que hay que comprender y que, partiendo de este entendimiento, puede aportar las claves para controlar o mitigar las descargas de nutrientes y otros compuestos en las zonas costeras.

Si sumamos las descargas anuales en ambos lugares de la costa, obtenemos los valores que se indican en la siguiente tabla (tabla 11) que sirven para orientar sobre las posibles cantidades de cada una de las sustancias que pueden llegar a lo largo del año al mar.

Las descargas totales en Guardamar del Segura son muy superiores a las que se producen en Santa Pola. Las razones son evidentes. Por un lado, el mayor número de cauces que acaban desembocando en el cauce artificial de la desembocadura del río Segura. Por otro lado, el volumen anual de agua que se dirige hacia la vertiente del Segura es mayor.

Una vez confrontada calidad y caudal, si bien en conjunto la calidad de los azarbes que atraviesan la Vega Baja y el Baix Vinalopó, y que desagüan en la Gola de Santa Pola, pueden presentar peores calidades, exceptuando el azarbe Dulce y algunos parámetros como por ejemplo el contenido en nitratos y fosfatos, se concluye que la descarga total de sustancias es muy superior en la zona de Guardamar del Segura.

Todo parece indicar que de todos los azarbes que controlan estas descargas, destaca especialmente el Convenio, que está asociado a un gran conjunto de escurridores y azarbetes que desembocan una gran cantidad de caudal, de nutrientes y sales. Junto a este, la Reina, Culebrina o Pineda, presentan caudales razonablemente importantes, su control y depuración podría aportar recursos de mejor calidad que el uso directo de sus aguas y disminuir las descargas en las zonas costeras.

Tabla 11. Descargas anuales estimadas (medias máximas y mínimas) para los siguientes compuestos en las desembocaduras de Santa Pola y Guardamar del Segura. El valor anual se puede considerar intermedio entre ambos.

SS y N (t/año)	SS		Nitrato		Nitrito		Amonio	
Santa Pola	1624	1077	897	602	33	23	23	16
Guardamar del Segura	23478	10895	15402	7611	201	94	113	52
Aniones (t/año)	Fosfato		Cloruro		Sulfato		Bicarbonato	
Santa Pola	48	33	132839	90236	86144	57330	19822	13103
Guardamar del Segura	454	207	538990	279077	592559	300355	177985	86624
Cationes (t/año)	Ca		Mg		Na		K	
Santa Pola	14488	9707	1624	1077	82991	56236	1747	1181
Guardamar del Segura	109649	55380	23478	10895	343706	178211	8867	4385
Metales pesados (kg/año)	Cr		Ni					
Santa Pola	131	87	158	105				
Guardamar del Segura	835	422	1390	671				

Las zonas no cultivadas, especialmente las situadas próximas a los embalses de El Hondo, tiene la tenencia a naturalizarse transformándose en poco tiempo en saladares, debido a la elevada salinidad del suelo.

Las escorrentías urbanas pueden llegar a afectar a los azarbes, mientras que el sistema de saneamiento debe encauzar las aguas grises y negras a las estaciones depuradoras y de estas, una vez tratadas las aguas, destinarse a otros fines o ser derivados los sobrantes a los azarbes, como ya se ha indicado con anterioridad.

8.2. Presencia a lo largo de los azarbes de pesticidas.

La amplia variedad de pesticidas que se utilizan en agricultura y zonas urbanas, constituye un problema a la hora de seleccionar algunos como referentes para su estudio. En esta zona, es frecuente el uso de herbicidas para el control de malas hierbas tanto en campos de cultivo como en el medio urbano y en carreteras.

En este sentido, se ha seleccionado un herbicida organoclorado como es el **Metolachlor** (metolachlor), que actúa principalmente como inhibidor de la germinación y por su acción sobre los talluelos, que requiere lluvias o riego dentro de los primeros 10 a 15 días desde la aplicación del producto, para garantizar la incorporación al suelo, es decir necesita el agua como vehículo de actuación. Se ha convertido en el sustituto de otros herbicidas organoclorados que han sido prohibidos en la Unión Europea o puestos en tela de juicio como el Alachlor (alachlor). Se conoce su capacidad herbicida desde hace más de treinta años y fue propuesto como herbicida sostenible en su día (O'Connell et al., 1998).

En el conjunto de los pesticidas organoclorados y asociado a su persistencia, se ha decidido analizar también la presencia de **DDE/DDT**, es decir el dicloro difenil tricloroetano (DDT, 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano) y su derivado el dicloro difenil dicloroetileno. Estos insecticidas con una enorme persistencia en el medio y sujetos al convenio adoptado oficialmente el 23 de mayo de 2001 en Estocolmo (Suecia), firmado por España, están prohibidos para su uso en agricultura. Sin embargo, su uso extendido durante muchos años permite detectar su presencia en la actualidad y estimar su evacuación a través de los azarbes. Precisamente la persistencia en el medio ambiente de estos compuestos es una de las razones por las que en la Unión Europea quedaron prohibidos o rigurosamente restringidos (prohibidos salvo en determinados casos concretos) por el Reglamento (CE) nº 850/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004 y afectados por la DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 19 de mayo de 2005 por la que se adoptan decisiones de importación comunitaria de determinados productos químicos con arreglo al Reglamento (CE) nº 304/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, y se modifican las Decisiones 2000/657/CE, 2001/852/CE y 2003/508/CE. Su peligrosidad está asociada al riesgo a su exposición, que ocurre principalmente al comer alimentos que contienen pequeñas cantidades de estos compuestos, especialmente carne, pescado y aves de corral. Los niveles altos de DDT pueden afectar el sistema nervioso produciendo excitabilidad, temblores y convulsiones. En mujeres, el DDE puede producir una disminución en la duración del período de lactancia y un aumento de las probabilidades de tener un bebé prematuro (Agencia para Sustancias Tóxicas y registro de Enfermedades, 2017). Conviene recordar que la peligrosidad del DDT dio lugar a uno de los libros que más ha concienciado sobre el uso de estas sustancias peligrosas, "Primavera silenciosa", de Rachel Carson, publicado en 1962. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) prohibiría el DDT en 1972. Sin embargo, dada su alta eficacia como insecticida, que contrasta

con la enorme persistencia en el medio, la Organización Mundial de la Salud (OMS) utiliza este insecticida en países donde el paludismo es endémico, es parte de su programa para erradicar la malaria fumigando el interior de residencias, mosquiteras y así, matar a los mosquitos que transmiten la malaria (OMS, 2016). El diclorodifeniltricloroetano (DDT) se continúa utilizando para la fumigación de interiores con insecticidas de acción residual, si bien en situaciones muy específicas.

Junto a estos dos pesticidas organoclorados, dada la importancia actual y la profusión en su uso, se ha analizado adicionalmente el herbicida organofosforado conocido como **glifosato**. Es necesario investigar este herbicida de amplio espectro y gran uso, tanto en el medio urbano como en el agrario. Este organofosforado denominado glifosato (2-ácido acético; sal de isopropilamina de N(-fosfonometil) glicina), introducido en la década de los años setenta del pasado siglo, hoy día se encuentra en España en la formulación de aproximadamente 125 productos distintos autorizados. En marzo de 2015, la Agencia para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), clasificó el glifosato como “probablemente cancerígeno para los seres humanos”. Existe en la actualidad una alta preocupación por la presencia de este herbicida en el medio y su relativa facilidad para ser transportado por las aguas.

Los resultados obtenidos en relación al **metolaclor**, se muestran en la siguiente figura. En general, las concentraciones encontradas en las aguas no superan 1 µg/l, exceptuando en el tramo final del azarbe de la Culebrina y superando los 0,5 µg/l en un tramo central del azarbe del Robatori. En estos dos azarbes solamente con este plaguicida, se supera el límite establecido para aguas de consumo en cuanto al contenido total en plaguicidas que es de 0,50 µg/l. Obviamente el destino de estas aguas no es para consumo por lo que la comparación es meramente informativa, pero sí nos da una idea de que la concentración es significativa.

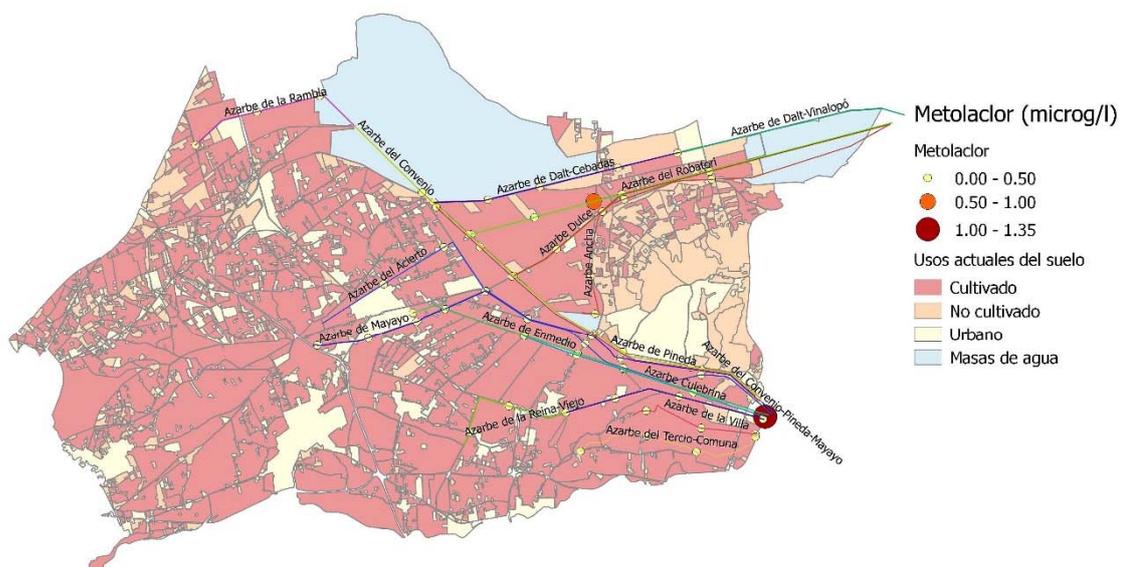


Figura 7. Metaloclor detectado en las aguas de los azarbes.

La presencia de **DDE/DDT**, analizados ambos en conjunto, es superior a la de metolaclor. Este hecho es indicativo del largo periodo de tiempo de utilización de insecticidas conteniendo estos compuestos y de su estabilidad en el medio. No está autorizado su uso en agricultura actualmente. Las concentraciones son relativamente elevadas y aparecen en todos los azarbes, destacando puntualmente el azarbe de Dalt y el Robatori, ambos del conjunto de azarbes que vierten hacia la costa de Santa Pola junto con el río Vinalopó. Se alcanzan valores superiores a los 3 µg/l.

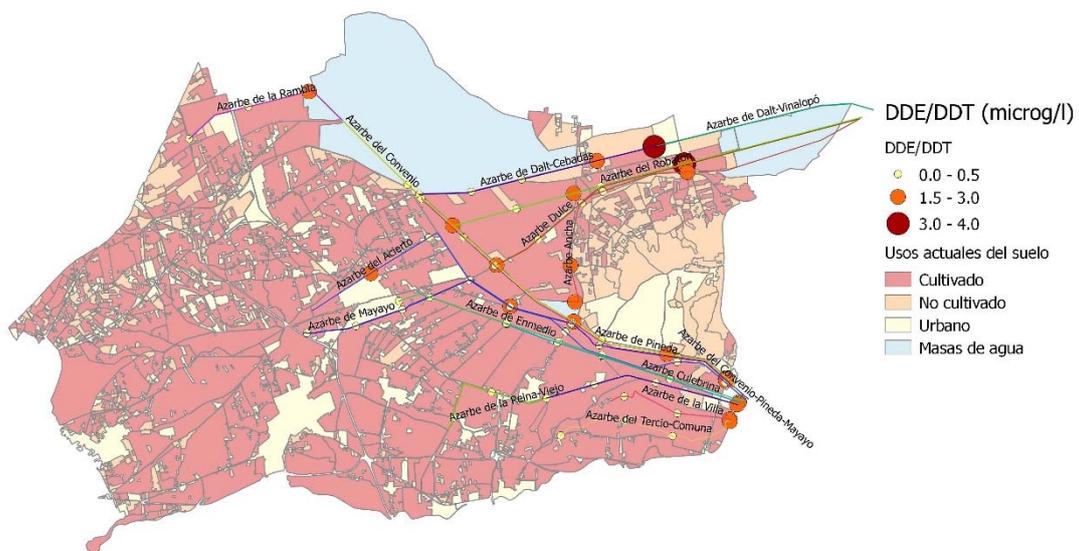


Figura 8. DDE/DDT detectado en las aguas de los azarbes.

La presencia de pesticidas organoclorados en las aguas de drenaje que trascurren por los azarbes es preocupante y un factor que puede condicionar el uso de las mismas. La solubilidad de estos compuestos en agua suele ser baja y su movilidad en el suelo también, por lo que es esperable que se siga produciendo una liberación lenta de los mismos durante los próximos años por drenajes y escorrentías. Esto es debido a su persistencia y resistencia a la degradación. No se vislumbra una solución a corto o medio plazo fuera de la ya tomada con relación a la prohibición de su uso (en el caso del DDE/DDT).

Los herbicidas organoclorados tienden a ser reemplazados por nuevas formulaciones organocloradas más lábiles, que se degradan antes o por otros tipos de herbicidas como los organofosforados. En este último grupo se encuadra el **glifosato**, que es un herbicida muy utilizado y que está siendo objeto de atención en investigaciones muy recientes por sus propiedades adversas. La red europea de pesticidas (PAN Europe, 2017) recopila la información de este herbicida al que se califica como probablemente cancerígeno para el hombre (International Agency for Research on Cancer, IARC). La ecotoxicidad del glifosato para

organismos acuáticos y terrestres está recogida en el informe emitido por la EFSA (European Food Safety Authority). Se indica que los herbicidas desarrollados con el glifosato y sus derivados son tóxicos para los microorganismos, alteran el plancton y las comunidades de algas (Pérez et al., 2007). Se han observado efectos adversos a la exposición en insectos (Cuhra, 2015), crustáceos (Avigliano et al., 2014), moluscos, anfibios (Paganelli et al., 2010) y peces (Moreno et al., 2014).

Los límites a los cuales este herbicida es perjudicial en el medio son difíciles de establecer, pero numerosos países como Francia e Italia, han puesto severas limitaciones a su uso.

En el caso que nos ocupa, los azarbes presentan importantes concentraciones de este herbicida, en general por encima de los 2 µg/l, destacando en este caso el conjunto de azarbes que se encamina hacia la desembocadura del río Segura y en el azarbe de Dalt (en la vertiente del Vinalopó).

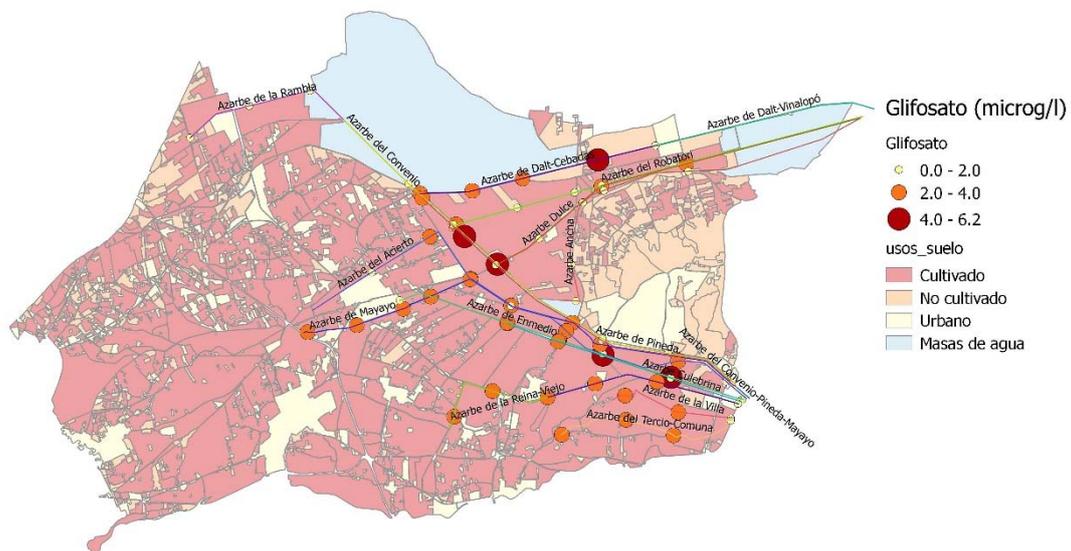


Figura 9. Glifosato detectado en las aguas de los azarbes.

Como visión de conjunto, los azarbes, al igual que para otras sustancias, se convierten en vías de eliminación de sustancias del medio terrestre, cuyo destino final son las aguas costeras. La peculiaridad en este caso es que se concentran en dos puntos muy definidos de la costa, provocando una transición que pasa de la contaminación difusa a la contaminación puntual. Esta contaminación puntual, en principio podría ser controlada de manera más sencilla que la difusa.

Esta parte del estudio, realizada en los meses de verano y concretamente a primeros de agosto, también reflejó en parte las actuaciones de mantenimiento y vaciado en el Hondo, que pudo afectar a la calidad de las aguas en el azarbe de Dalt, especialmente en su último punto de muestreo.

8.3. Nutrientes.

Centrando el tema en los nutrientes, N y P, se aprecia que ambos se presentan de forma notable en los azarbes asociados al río Segura, frente a los asociados al Vinalopó. Destaca por encima de todos, el azarbe del Convenio, con valores altos de nitratos en los tramos iniciales. Con relación a la presencia de fosfato disuelto, es predominante en los azarbes situados al sur.

Es más que probable que la presencia de nitratos y fosfatos esté asociada a la práctica agrícola, a la cantidad de superficie cultivada y los tipos de cultivos. Previsiblemente, la fertilización de cultivos en los suelos más salinos del entorno del PPNN de El Hondo y la forma de cultivar, se refleje en la menor concentración de nutrientes en las aguas posiblemente por los menores aportes de fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

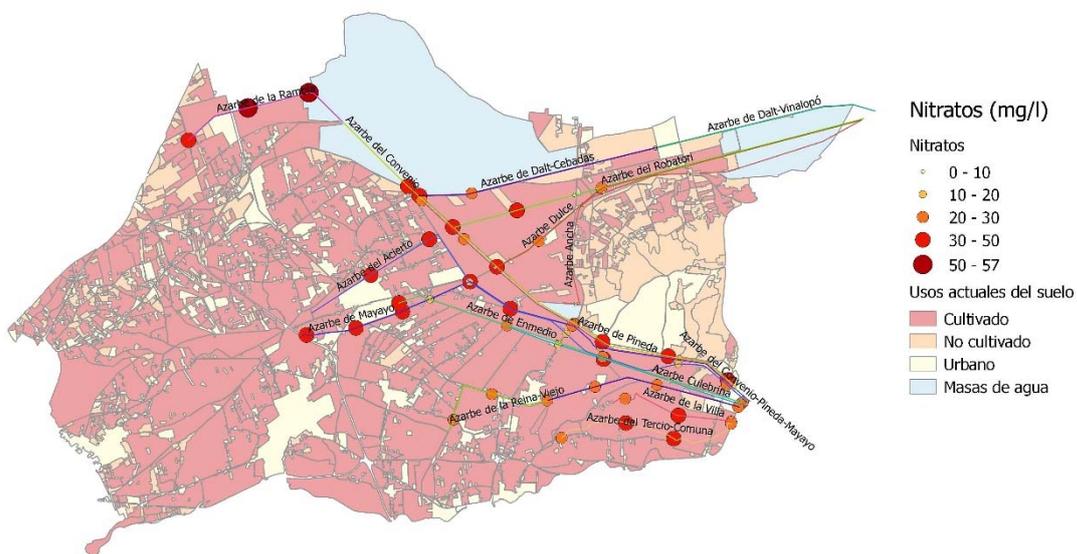


Figura 10. Nitratos medidos en las aguas de los azarbes.

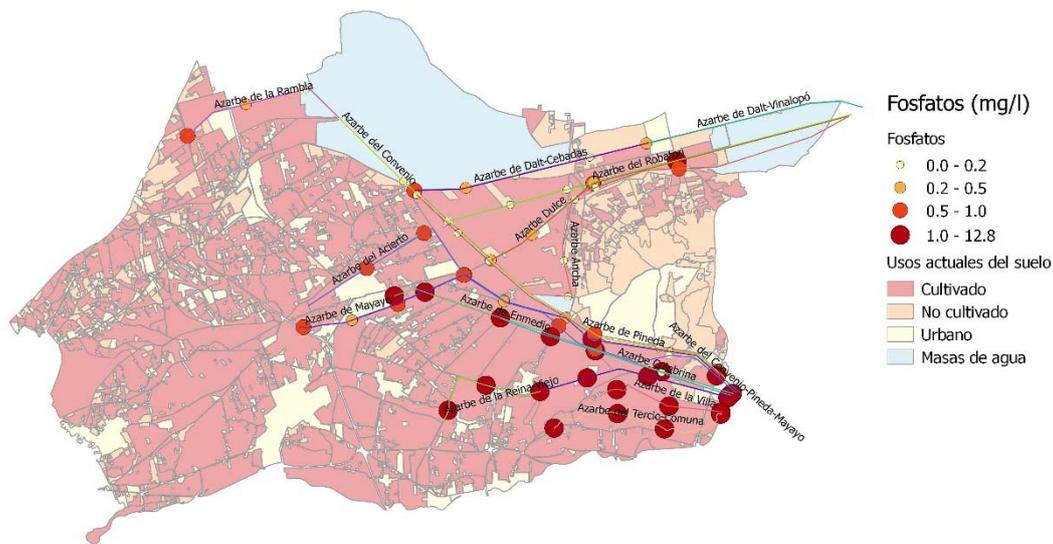


Figura 11. Fosfatos medidos en las aguas de los azarbes.

8.4. Salinidad y sólidos en suspensión.

Si consideramos en este apartado la salinidad de las aguas, destacan como era previsible, las salinidades correspondientes a los azarbes del río Vinalopó. En cuanto a calidad del agua, exceptuando el azarbe Dulce, el resto presentan valores muy altos.

Curiosamente, es el azarbe del Convenio el que muestra un comportamiento a lo largo de su recorrido similar a los azarbes de Dalt, Robatori o Ancha, aunque sus aguas vierten finalmente en el cauce del río Segura en Guardamar.

La presencia de cloruros en las aguas, repite exactamente el mismo esquema que la conductividad eléctrica.

Por lo que respecta a los sólidos en suspensión, cuyo destino final son las costas, se presenta una situación en la que en general los valores son altos, con aguas que presentan mucha turbidez. Sin embargo, conviene destacar dos azarbes especialmente críticos en el momento del muestreo, el azarbe de Enmedio y el Robatori.



Fotografía 4. Azarbe de Enmedio en el que se aprecia los sólidos en suspensión y su turbidez.

El aporte de sólidos en suspensión es mayor hacia el cauce del río Segura que en el caso del río Vinalopó.

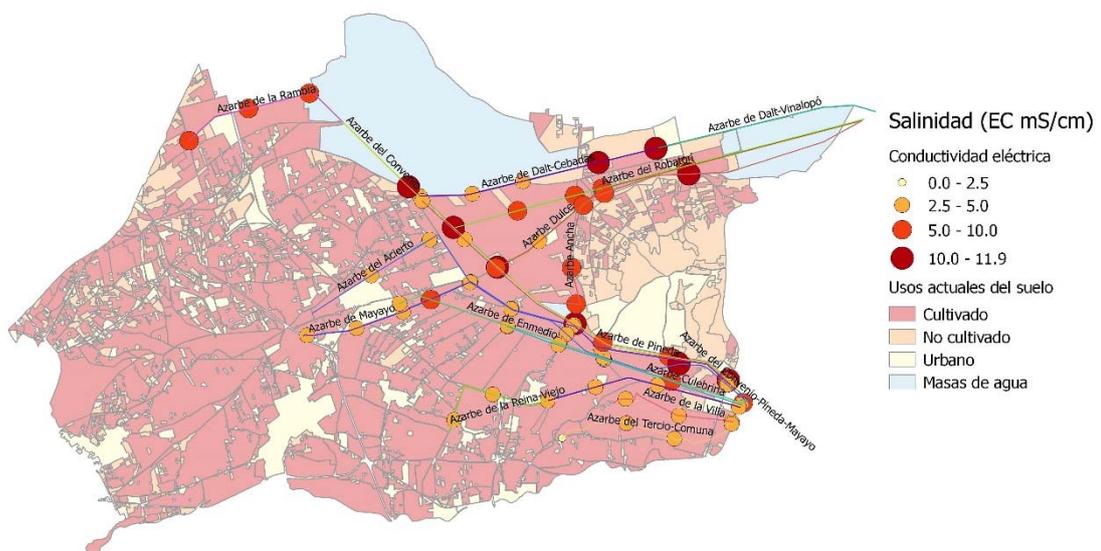


Figura 12. Conductividad eléctrica (25°C) medida en las aguas de los azarbes a lo largo de su recorrido.

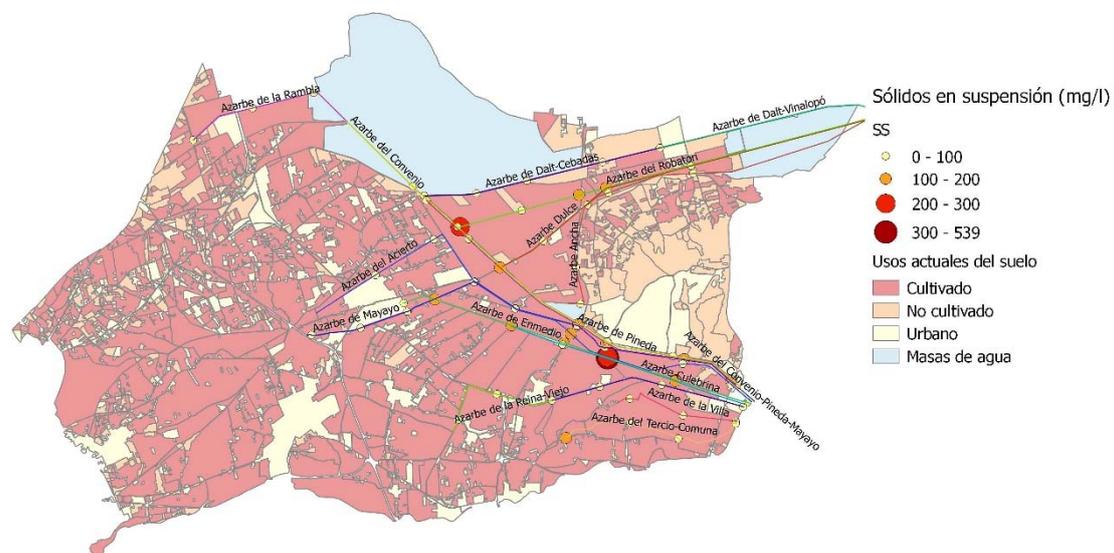


Figura 13. Sólidos en suspensión determinados en las aguas de los azarbes.

8.5. Metales pesados.

Para finalizar este informe, se muestran los resultados obtenidos para los metales pesados analizados a lo largo de los azarbes, Cd, Cr y Ni. Concretamente los datos de los dos últimos porque la presencia de Cd en las aguas ha quedado por debajo del límite de detección de 0,1 $\mu\text{g/l}$, por lo que se constata su ausencia o presencia en concentraciones muy bajas que no son detectadas.

En el caso del **chromo**, los valores son bajos, incluso por debajo de los valores de referencia para aguas de consumo, pero curiosamente se detecta la presencia de este metal en el azarbe de Mayayo y en del Acierto (por encima de 10 $\mu\text{g/l}$), y en el de Pineda y Convenio, por encima de 6 $\mu\text{g/l}$.

Para el **níquel**, cuyas concentraciones son inferiores a las de cromo, destaca su presencia en los azarbes situados en la mitad meridional, siempre con valores inferiores a los 7 $\mu\text{g/l}$ de concentración en las aguas.

Tal y como se comentó en apartados anteriores, la contaminación por metales pesados, al menos en los elementos analizados, no parece ser un problema serio en cuanto a la calidad de las aguas de los azarbes.

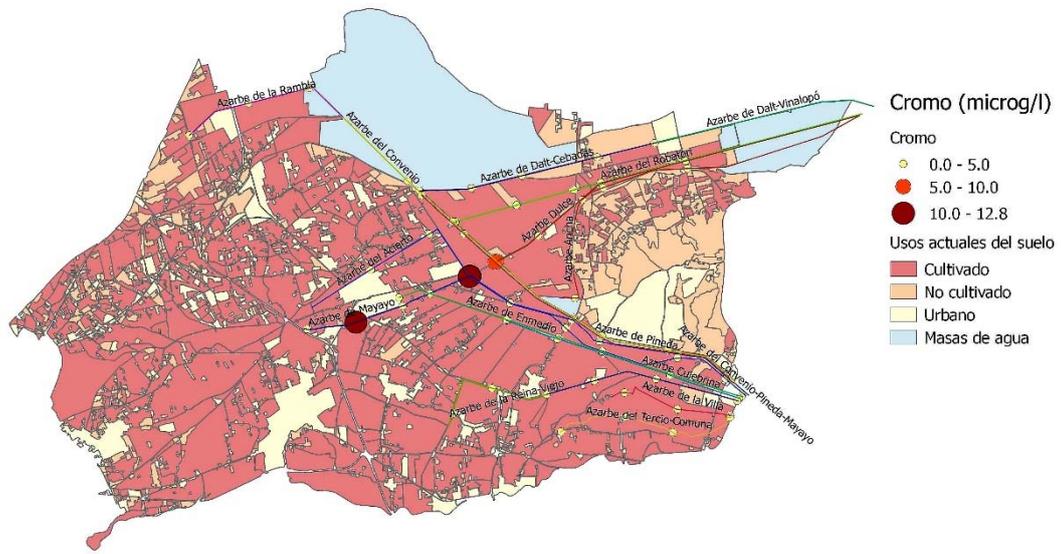


Figura 14. Cr analizado en las aguas de los azarbes.

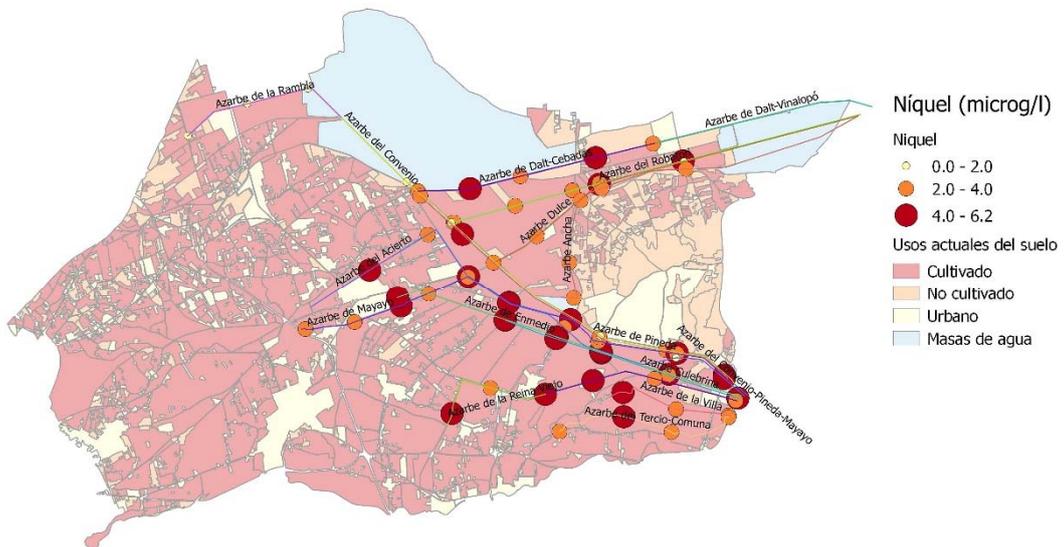


Figura 15. Ni analizado en las aguas de los azarbes.

9. Conclusiones.

Este trabajo de investigación ha valorado tres grandes aspectos, la calidad de las aguas de quince cauces en su proximidad a la desembocadura al mar Mediterráneo, la cantidad previsible de descarga de compuestos en los dos puntos costeros de vertidos: Santa Pola y Guardamar del Segura, y la presencia de contaminantes a lo largo de los azarbes, intentando ver inicialmente si existe una relación causa-efecto entre contaminantes y usos del suelo.

En relación con la **calidad de las aguas**, se pueden sacar dos conclusiones importantes. La primera está relacionada con la salinidad, que es mucho mayor y así lo confirman la presencia de sales solubles, en los cauces que vierten sus aguas en la gola de Santa Pola. Siendo cauces con elevada salinidad, si consideramos el uso de estas aguas para riego, los azarbes asociados al río Segura presentan valores menores que los anteriores. Excepción importante es la del Convenio, que muestra la misma calidad de aguas que los correspondientes a Santa Pola, al igual que en este primer grupo, destaca la menor salinidad de las aguas del azarbe Dulce.

Por otro lado, la presencia de nutrientes (N y P) es en general mayor en los azarbes del sur frente a los de la vertiente del Vinalopó. Curiosamente, el azarbe Dulce presenta valores de P altos en comparación con el resto. En cualquier caso, los valores medios obtenidos muestran una calidad deficiente de las aguas si atendemos al Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

Afortunadamente, la concentración de los metales pesados analizados, Cd, Cr y Ni, es baja o muy baja en las aguas de los cauces analizados. En todo caso, destaca la mayor presencia de níquel en la zona del río Segura que en la superior del Vinalopó.

Mucho más complejo es establecer la descarga total en las aguas costeras, la **cantidad de aportes** de sustancias a lo largo del año. Lo primero que debemos concluir es la irregularidad del caudal, siendo difícil establecer con rigor el caudal medio anual. En este trabajo se han agrupado valores medios altos y bajos, indicativos de la variabilidad de caudal, se ha dado un paso para poder tener un dato más riguroso en el futuro. Se une el hecho de que las compuertas, especialmente en los azarbes del Segura, se cerraban con escasez de drenaje, dificultando e impidiendo la salida de las aguas al mar para aprovechar al máximo estas en el periodo de estiaje. Aun con estos problemas, se han estimado unos caudales que conducen a valores de descarga de sales, nutrientes y metales en las zonas costeras orientativos.

Las descargas totales de sales, nutrientes y metales están muy asociadas al caudal, además de a la calidad de las aguas. Así, de forma global, el mayor número de azarbes en la parte del río Segura y el caudal importante que llevan, deriva en que las **descargas totales** de nutrientes, sales y metales sean mayores en Guardamar del Segura que en Santa Pola. Es importante incidir en la importancia del azarbe del Convenio, de su caudal habitualmente relevante y de la cantidad de sus aportes.

Es necesario reiterar que los valores de descarga total de cada cauce, dadas las condiciones climáticas de nuestro entorno, se acercan más a los valores bajos obtenidos que a los más altos, sin lugar a dudas. Pero, de todas formas, siguen siendo valores de descarga en las zonas costeras, en sitios puntuales, que deben ser considerados.

Los **usos del suelo** se presentan en la zona como un mosaico en el que se encajan unos con otros, con predominio de los cultivos. En trabajos anteriores, este grupo de investigación ha

demostrado (Juan et al., 2011; Bas et al., 2017) la orla de suelos salinos que rodean las masas de agua, especialmente las de El Hondo y que afectan a la zona de Carrizales, entre estos embalses y la Sierra del Molar. Estos suelos salinos condicionan los cultivos y, además, es la zona donde aparecen parcelas sin cultivar que con mayor rapidez se transforman en saladares, naturalizándose rápidamente.

Es complejo en el caso de la contaminación difusa, establecer una causa directa de la misma con la aparición de contaminantes en las aguas de los azarbes, pero se ha dado un paso al poder focalizar cuales son los drenajes que se ven afectados en mayor medida por un tipo u otro de contaminantes.

La calidad de las aguas de los azarbes está influenciada por las actividades que se desarrollan en cada una de sus cuencas de influencia. Estas son variables en tamaño y en general predomina la actividad agropecuaria. Sin embargo, es preocupante que los cambios de usos del suelo en la zona puedan influir negativamente en la calidad de las aguas.

10. Acciones de futuro.

A raíz de esta investigación, los planteamientos de estudio en el futuro, pueden encaminarse hacia un mejor conocimiento de los siguientes aspectos:

- Determinar con mayor fiabilidad el **caudal medio anual** de los azarbes, con la finalidad de poder estimar mejor las descargas que se producen en la zona costera.
- Valorar las **descargas anuales de nutrientes, sales y sólidos en suspensión**, contaminación puntual que se dirige hacia las aguas marinas.
- Estimar los **plaguicidas** aquí reseñados en los muestreos anuales de los quince puntos de control, frente al seguimiento lineal, con el fin de cuantificar las descargas anuales y su predominancia en unos u otros azarbes de este sistema complejo de drenaje.
- Analizar la presencia de **boro**, elemento que se convierte en relevante en las aguas de riego y que presenta un renacido interés, justificado por sensibilidad de los cultivos a la concentración máxima permitida de boro en el agua de riego (Martínez et al., 1999), siendo los más sensibles cultivos como el limonero, naranjo, peral, melocotonero, pomelo, aguacate, olmo, albaricoquero, higuera, vid, ciruelo y judías (cantidades que rondan entre 0,30-1,00 mg/L).
- Realizar un **seguimiento de los usos del suelo** mediante teledetección, para tratar de analizar con más profundidad si se puede establecer causa-efecto en cuanto a la presencia de contaminantes en las aguas.

Con estos datos, pretendemos crear un modelo explicativo a través del cual podamos realizar simulaciones y análisis de riesgo de contaminación debida a la presencia de sustancias en las aguas de los azarbes.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Agencia para Sustancias Tóxicas y registro de Enfermedades.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts35.html
- Aguilella Forner R.M. (2002). Control y valoración de la contaminación producida por compuestos nitrogenados en las aguas que abastecen al Parque Natural de “El Hondo”. Practicum de Ciencias Ambientales. Director: J. Navarro Pedreño.
- APHA, AWWA, WEF (2012). Standard Methods for the examination of water and wastewater. Ed. American Public Health Association, Wasington.
- Avigliano L., Alvarez N., Loughlin C.M., Rodríguez E.M. (2014). Effects of glyphosate on egg incubation, larvae hatching, and ovarian rematuration in the estuarine crab, *Neohelice granulata*. *Environ Toxicol Chem* 33(8):1879-84.
- Ayers R.S., Westcot D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper nº 29.
- Bas Niñerola V., Navarro-Pedreño J., Gómez Lucas I., Meléndez Pastor I., Jordán Vidal M.M. (2017) Geostatistical assessment of soil salinity and cropping systems used as soil phytoremediation strategy. *J Geochemi Explo* 174:53–58.
- Blázquez A.M. (2003). L'Albufera d'Elx: evolución cuaternaria y reconstrucción paleoambiental a partir del estudio de los foraminíferos fósiles. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.
- Box Amorós M. (2004). Humedales y áreas lacustres de la provincia de Alicante. Segunda edición. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. España
- Bru Ronda C. (1993). La sobreexplotación de acuíferos y los planes de ordenación hidráulica en la cuenca del río Vinalopó. Alicante. *Investigaciones Geográficas* 11:93-107.
- Confederación Hidrográfica del Júcar. <http://www.chj.es/>.
- Confederación Hidrográfica del Segura. <https://www.chsegura.es/>.
- Cuhra M. (2015). Glyphosate nontoxicity: the genesis of a scientific fact. *J Biol Phy Chem* 15:89-96.
- EPA (2001). Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Estuarine and Coastal Marine Waters. EPA-822-B-01-003.
- EPA (2017). Coastal trophic. https://cfpub.epa.gov/roe/indicator_pdf.cfm?i=43
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1990). Long Island Sound Study, Status Report and Interim Actions for Hypoxia Management. New York: U.S. Environmental Protection Agency.

- European Environment Agency (2017). Diffusive sources. <https://www.eea.europa.eu/themes/water/water-pollution/diffuse-sources>
- Juan P., Mateu J., Jordán M.M., Mataix-Solera J., Meléndez-Pastor I., Navarro-Pedreño J. (2011). Geostatistical methods to identify and map spatial variations of soil salinity. *J Geochem Explo* 108:62–72.
- Junta de Andalucía (2017). Efectos de los nitratos en la salud. http://www.juntadeandalucia.es/salud/export/sites/csalud/galerias/documentos/c_3_c_2_medio_ambiente_y_salud/aguas_consumo_publico/contaminacion_nitratos5.pdf
- Kennish M.J. (1989). *Practical Handbook of Marine Science*. CRC Press.
- Lozano Sánchez P. (2008). Calidad de las aguas de los cauces situados al sur del Parque Natural de “El Hondo”. *Practicum de Ciencias Ambientales*. Director: J. Navarro Pedreño.
- Martínez J.L., de la Fuente M.M., Muñoz E. (1999). El boro en los vertidos industriales. *Ingeniería Química* 9:163-169.
- Meléndez I., Navarro-Pedreño J., Koch M., Gómez I. (2010). Applying imaging spectroscopy techniques to map saline soils with ASTER images. *Geoderma* 158: 55-65.
- Moreno N.C., Sofia S.H., Martínez C.B. (2014). Genotoxic effects of the herbicide Roundup Transorb and its active ingredient glyphosate on the fish *Prochilodus lineatus*. *Environ Toxicol Pharmacol* 37(1):448-54.
- O’Connell P.J., Christian S., Harms T., Allen J.R.F. (1998). Metolachlor, S-metolachlor and their within sustainable weed-management role. *Crop Protection* 17(3):207-212.
- Organización Mundial de la Salud OMS (2016). Métodos básicos de lucha antivectorial. http://www.who.int/malaria/areas/vector_control/core_methods/es/
- Paganelli A., Gnazzo V., Acosta H., López S.L., Carrasco A.E. (2010). Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signalling. *Chem Res Toxicol* 23(10):1586-95.
- PAN Europe (2017). Summary on the toxicity of Glyphosate. <http://www.pan-europe.info/sites/pan-europe.info/files/public/resources/press-releases/Summary%20on%20glyphosate%20toxicity.pdf>
- Pérez G.L., Torremorell A., Mugni H., Rodríguez P., Solange Vera M., do Nascimento M., Allende L., Bustingorry J., Escaray R., Ferraro M., Izaguirre I., Pizarro H., Bonetto C., Morris D.P., Zagarese H. (2007). Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study. *Ecol Appl* 17(8):2310-22.
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano.

Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

Smith J.D., Longmore A.R. (1980). Behaviour of phosphate in estuarine water. *Nature* 287:532–534

Torrijos Alcón. P. (2015). Calidad de las aguas del curso fluvial del río Vinalopó: Salinidad. TFG de Ciencias Ambientales. Director: J. Navarro Pedreño.

NOTA TÉCNICA

El estudio ha tenido una parte preparativa previa para geolocalizar y determinar los lugares más idóneos de muestreo que permitieran obtener las características de las aguas de cada azarbe y río sin influencia marina.

Por otro lado, muchos de los parámetros analizados exigían un análisis inmediato para evitar que el paso del tiempo cambiara su concentración. En este sentido se han tenido que duplicar esfuerzos analíticos y de material para poder realizar los análisis y sus correspondientes repeticiones que condujeran a resultados fiables.

Los métodos analíticos seguidos están conformes con los estándares internacionales, basados fundamentalmente en la metodología de la APHA, AWWA y WEF.