

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS AGUAS DE  
ESCORRENTÍA EN LA EUTROFIZACIÓN DE ZONAS COSTERAS**

TRABAJO FIN DE GRADO

SEPTIEMBRE 2017

**AUTOR:** JORDI BLASCO FERRE

**TUTORES:** IGNACIO MELÉNDEZ PASTOR

MARÍA BELÉN ALMENDRO CANDEL

DEPARTAMENTO DE AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE

ÁREA DE INGENIERÍA QUÍMICA

## Estudio de la influencia de las aguas de escorrentía en la eutrofización de zonas costeras

**Resumen:** Este trabajo fin de grado pretende avanzar en el conocimiento del estado de degradación de los recursos hídricos superficiales en el entorno de la desembocadura de los ríos Segura y Vinalopó. Para ello se analizó la calidad de las aguas superficiales de 13 canales de drenaje (azarbes) y de ambos ríos, con la finalidad de avanzar en el conocimiento de la variabilidad temporal y severidad de los procesos de eutrofización en los diferentes cursos hídricos analizados. El periodo de análisis fue desde septiembre de 2016 a mayo de 2017, realizando muestreos bimensuales.

Los resultados obtenidos en los análisis revelan una elevada predisposición al desarrollo de proceso de eutrofización en los cauces fluviales estudiados. Esto se debe a la presencia de altas concentraciones de especies nitrogenadas y fosfatos, cuyo origen fundamental es el empleo excesivo fertilizantes y posterior lavado del suelo. Además, se observaron diferencias significativas de las concentraciones de nitratos y fosfatos entre los diferentes puntos de muestreo. Esto sugiere la existencia de diferentes práctica agrícolas asociadas a diferentes tipos de cultivos. Se necesita seguir profundizando en el conocimiento de los procesos de eutrofización de la zona de estudio y promover mejores prácticas agrícolas.

**Palabras clave:** escorrentías agrícolas, azarbes, eutrofización, nutrientes.

## Study of the influence of runoff waters on the eutrophication of coastal zones.

**Abstract:** This bachelor thesis analyze the degradation state of surface surface resources in the surroundings of the Segura and Vinalopó rivers mouths.m For this purpose, surface water quality parameters of 13 drainage channels (azarbes) and both rivers were analyzed. Temporal variability and severity of the eutrophication processes in the different water courses was assessed. The study period ranged from September 2016 to May 2017B. imonthly sampling surveys were done.

Our results sugges a high of eutrophication process development in the studied water coures. This is due to the presence of high concentrations of nitrogenated compounds and phosphates, whose fundamental origin is the excessive use of fertilizers and subsequent soil leakage. In addition, significant differences in nitrate and phosphate concentrations were observed between the different sampling sites. It suggests the existence of different agricultural practices associated to different types of crops. It is necessary to deepen the knowledge of the eutrophication processes of the study area and to promote better agricultural practices.

**Key words:** agricultural runoff, drainage channels, eutrophication, nutrients.

## Agradecimientos

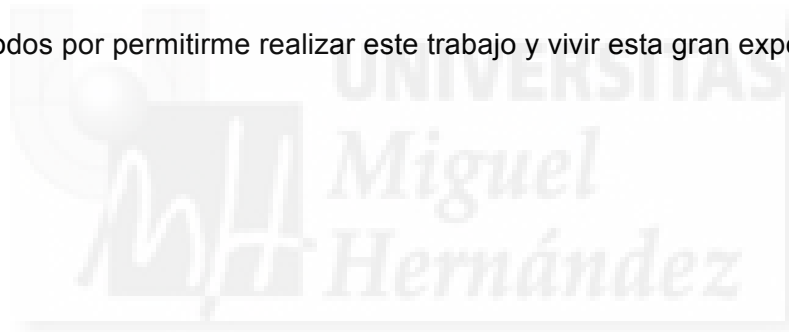
Agradecer que este trabajo de investigación se ha podido realizar gracias a la ayuda de investigación concedida por la Generalitat Valenciana, establecida en el “Convenio entre la Generalitat Valenciana a través de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural y la Universidad Miguel Hernández para la ejecución de un proyecto de investigación aplicada a recursos hídricos en la Comunitat Valenciana”.

Al Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente por facilitar los medios necesarios para desarrollar este trabajo de investigación.

A mis tutores Ignacio Meléndez Pastor y María Belén Almendro Candel, así como a Jose Navarro Pedreño. Gracias por todas las ayudas prestadas, tanto en el campo como en el laboratorio, para lograr sacar adelante este trabajo.

Por otra parte, también me gustaría agradecer a toda mi familia. En especial a mi madre que me ha ayudado y me ha dado un apoyo incondicional para que siguiera adelante con la carrera hasta conseguir mi meta.

Gracias a todos por permitirme realizar este trabajo y vivir esta gran experiencia.



## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	CALIDAD DE LAS AGUAS .....	1
1.2	EUTROFIZACIÓN .....	4
1.2.1	<i>Nitrógeno</i> .....	6
1.2.2	<i>Fósforo</i> .....	10
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES Y OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
3.1	CAMPAÑAS DE MUESTREO .....	15
3.2	PARÁMETROS ANALIZADOS .....	17
3.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	19
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>20</b>
4.1	PH.....	21
4.2	OXÍGENO DISUELTO .....	21
4.3	<u>SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN</u> .....	21
4.4	<u>NITRATOS</u> .....	22
4.5	<u>NITRITOS</u> .....	23
4.6	<u>AMONIO</u> .....	24
4.7	<u>FOSFATOS</u> .....	24
4.8	<u>RELACIÓN ENTRE VARIABLES</u> .....	25
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA</b> .....	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>28</b>
6.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....	28
6.2	RECURSOS DE INTERNET .....	31

# 1 INTRODUCCIÓN

El agua es una sustancia común, necesaria para el desarrollo de la vida. Es un componente principal de los seres vivos, llegando a alcanzar hasta un 90-95% de su peso corporal como en el caso de las bacterias y otros microorganismos. Su abundancia y características determinará la presencia de unas formas u otras de vida (Boyd, 2015).

Es un medio con características únicas, donde tendrán lugar los principales procesos físicos, químicos y biológicos en la naturaleza. Además, ejerce un papel prioritario en la mayoría de los procesos esenciales para la vida, como los metabólicos, la nutrición y la eliminación de desechos de las células (García et al., 2001).

## 1.1 Calidad de las aguas

La contaminación de las aguas es una de las principales problemáticas que afecta a la calidad de los recursos hídricos. Se entiende por contaminación la “introducción de sustancias o energía en el medio ambiente, con efectos deletéreos que ponen en peligro la salud humana, dañan los recursos vivos y los ecosistemas, y perjudican o interfieren con los servicios y otros usos legítimos del medio ambiente” (web EEA glossary definitions).

La creciente contaminación de las aguas está generando una escasez de agua a nivel mundial, siendo uno de los problemas más graves actualmente. Según las Naciones Unidas, la escasez de agua se define como “punto en el que el impacto agregado de todos los usuarios repercute en el suministro o la calidad del agua en los arreglos institucionales vigentes, en la medida en que la demanda de todos los sectores, incluyendo el medio ambiente, no puede ser satisfecha de manera completa”(UN-Water, 2012).

Las problemáticas del agua amenazan directamente la producción de alimentos, la pesca, la generación de energía, la política exterior, la salud pública y la seguridad internacional, ya que un acceso seguro, suficiente y asequible al agua es vital para el buen funcionamiento económico y social(Gleick et al., 2016).

Entre las múltiples actividades antrópicas que demandan agua para su desarrollo, la agricultura es una de las mayores usuarias, por el volumen el agua que requiere en sistemas de regadío, y principal factor de degradación de los recursos hídricos a escala mundial, tanto superficial como subterráneamente (FAO, 2005).

Con el fin de proteger, unificar y mejorar la calidad de las aguas en la Unión Europea, entró en vigor el 22 de diciembre del 2000 la Directiva Marco del Agua (DMA)

2000/60/CE(Unión Europea, 2000), representando un hito en la gestión de los recursos hídricos y sus ecosistemas relacionados. Sus principios fundamentales son:

- Protección y mejora de todo tipo de aguas, ya sea superficiales, subterráneas, de transición o costeras.
- Prevención del deterioro adicional, protección y mejora del estado de los ecosistemas acuáticos, y todos los que dependan de ellos.
- Promover una gestión sostenible del agua.
- Gestión del Medio Ambiente Hídrico a nivel de cuenca hidrográfica.
- Recuperación de los costes de los servicios del agua.
- Participación pública.
- Planes hidrográficos.

En función del proceso por el que los contaminantes son incorporados al medio, la Agencia Ambiental Europea distingue entre (web EEA GlossaryDefinitions):

- Contaminación puntual (*point source*): resulta de una ubicación fija o instalación fija desde la que se descargan los contaminantes; cualquier fuente identificable de contaminación; p.e. una tubería, zanja, buque, actividad minera, chimenea de fábrica.
- Contaminación difusa (*diffuse pollution*): contaminación de actividades generalizadas sin ninguna fuente localizada en un punto concreto; p.e. lluvia ácida, pesticidas, escorrentía urbana, etc.

En España, la contaminación de los cursos fluviales viene determinada principalmente por un uso excesivo de fertilizantes en la agricultura intensiva y vertido de residuos del ganado, así como los vertidos urbanos e industriales (web IGN).En la Figura 1 se muestra los principales focos de contaminación en el sureste peninsular.

La presencia de sustancias contaminantes en las aguas superficiales y subterráneas está poniendo en riesgo el suministro de agua potable a la población mundial. Esta es una problemática global con connotaciones sociales, ambientales y económicas. Entre los múltiples problemas de contaminación y degradación físico-química de los recursos hídricos utilizados para el suministro de agua potable, son de relevancia internacional algunos de los siguientes (web UNICEF):

- La presencia de materia fecal, que resulta ser la causa principal de las 4.000 muertes diarias ocasionadas por la diarrea, la mayor parte de las cuales ocurre entre los menores de cinco años.

- La presencia de sustancias químicas tóxicas como arsénico o fluoruro, que amenazan la salud de millones de personas.
- La emisión de desechos tóxicos e industriales en el medio, que resulta especialmente grave en los países más pobres y en las regiones que carecen de los recursos necesarios para hacer cumplir las leyes contra la contaminación.
- El aumento de concentración de sales disueltas en el agua por intrusiones de agua marina en acuíferos de agua dulce, por ejemplo.
- El aumento significativo en la carga de sólidos en suspensión y sedimentables, sobretodo en periodos lluviosos, debido al arrastre de los sedimentos. Vendrá relacionado con el aumento de turbidez de las aguas.
- Reducción significativa del oxígeno disuelto por la presencia de contaminación orgánica que genera una demanda de oxígeno en su proceso de descomposición (ver apartado siguiente), promoviendo el desarrollo de condiciones anóxicas que afectan gravemente el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.
- Corrosiones debido a la presencia de elevadas concentraciones de hierro.

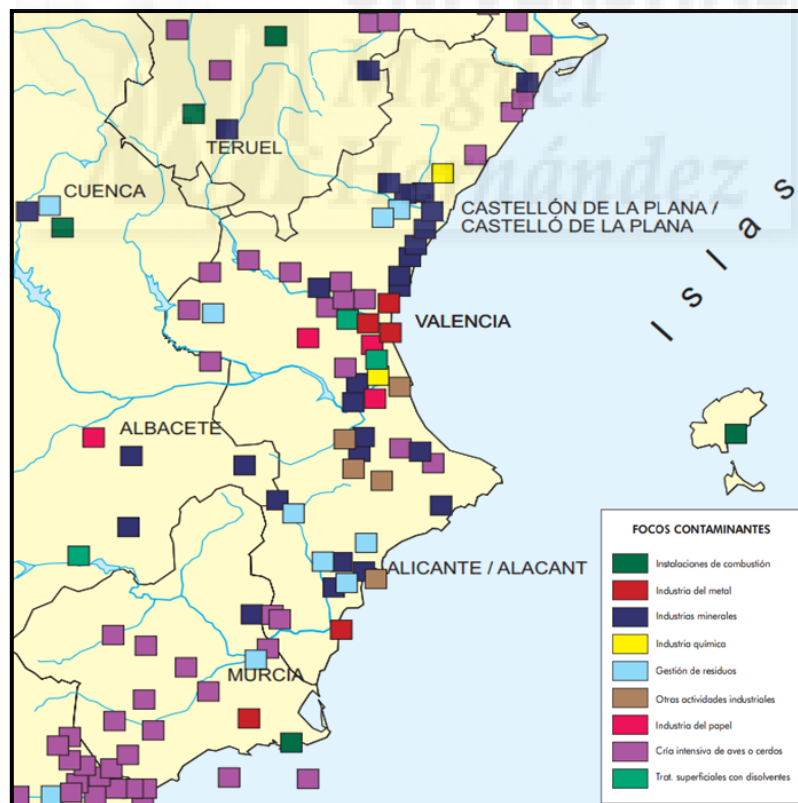


Figura 1. Distribución geográfica de los focos contaminantes más importantes en el sureste peninsular.  
Fuente: web IGN.

Paralelamente a esto, al estar experimentando un crecimiento poblacional constante, aumentamos la demanda de agua dulce para usos tales como la producción de alimentos, o actividades industriales y domésticas. Por lo tanto, su disponibilidad impone límites al número de personas que pueden llegar a vivir en una zona y su calidad de vida. Si los requerimientos de la zona siguen en aumento, se llegará a su sobreexplotación, que provocará una escasez hídrica crónica a niveles subterráneos (Figura 2).

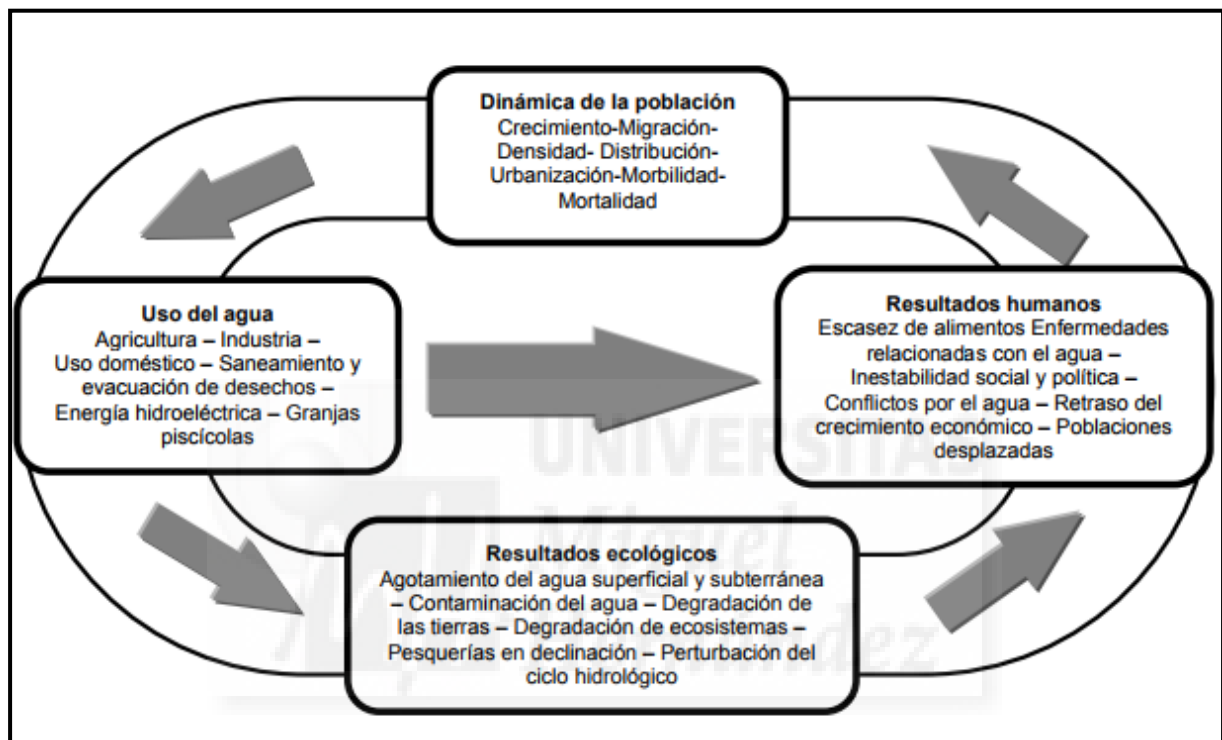


Figura 2. Vínculos entre la población y los recursos hídricos. Fuente: IUCN, 1997

## 1.2 Eutrofización

Uno de los procesos ambientales de degradación de la calidad de las aguas superficiales que más extendidos están a escala global es la eutrofización. Este es un proceso de contaminación que ocurre cuando un lago, arroyo o incluso mar, se vuelve excesivamente rico en nutrientes vegetales; como consecuencia se produce un crecimiento masivo, principalmente de algas que impiden la normal penetración de la luz solar en los cuerpos de agua. Este proceso, junto con el agotamiento de los nutrientes, produce que las plantas mueran y se descompongan. Dicho proceso de descomposición de la materia orgánica vegetal se realiza a expensas de un consumo o demanda del oxígeno presente en el agua,



provocando, sobre todo en verano, condiciones hipóxicas o anóxicas, desarrollando las zonas conocidas como zonas de muerte (Arend et al., 2011), zonas que promueven la muerte de los peces (Figura 3) y afectan a toda la cadena trófica (Harrison et al., 2015). Entre los principales agentes detonantes de los procesos de eutrofización están los fertilizantes de nitratos que drenan de los campos, los nutrientes de los desechos animales y las aguas residuales humanas (web EEA glossary definitions).

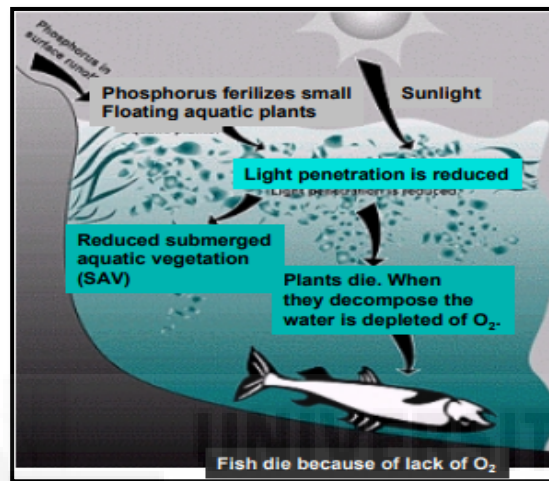


Figura 3. Efectos de la eutrofización en peces. Fuente: web UNC

Afortunadamente los ecosistemas acuáticos tienen cierta tolerancia a la presencia de contaminantes. Este hecho se denomina resiliencia y se define como la cantidad de perturbaciones a la cual se puede someter un ecosistema antes del cambio (EEA, 2012). Sin embargo, cuando se excede la capacidad de transformación de los contaminantes por parte de los ecosistemas, los procesos de contaminación se manifiestan masivamente y pueden durar largos periodos de tiempo, incluso desde que se ha cesado la introducción de contaminantes al medio.

Los nutrientes tienen varias funciones en el desarrollo y metabolismo de todos los seres vivos, desde suministrar la energía necesaria para crecer, a ayudar en las reacciones químicas de la respiración como aceptores de electrones e hidrógeno (Boyd, 2015). Sin embargo, desde la década de 1970 el flujo masivo de nutrientes (principalmente N y P) a los ecosistemas acuáticos ha emergido como uno de los principales problemas de calidad de agua en los ecosistemas marinos costeros (Harrison et al., 2015) y continentales (Paerl, 2008). El aporte masivo de nutrientes y posteriores procesos de eutrofización son posibles en sistemas naturales bajo ciertas condiciones ambientales (p.e., tras unas lluvias intensas que arrastren gran cantidad de sedimentos). Este fenómeno ocurre frecuentemente de

forma natural cuando un lago envejece y se va colmatando de sedimentos (Carpenter et al., 1998), sin embargo, nuestras actividades agrícolas, industriales y urbanas están generalizando y magnificando los procesos de eutrofización a lo largo y ancho del planeta.

Tanto la comunidad científica como las instituciones y gran parte de la sociedad, están siendo conscientes del grave perjuicio a la calidad de las aguas que supone el aporte masivo de nutrientes a los ecosistemas acuáticos. Las acciones fundamentales para evitar esto van encaminadas a una mejora de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y en el desarrollo de mejores prácticas agrícolas. El efecto de la implantación de estas medidas correctoras en los últimos tiempos, está permitiendo reducir el aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos (Figura 4). Sin embargo, debe continuarse con la implantación de acciones de control de aportes de nutrientes y la investigación en el escenario de cambio climático actual (Paerl, 2008).

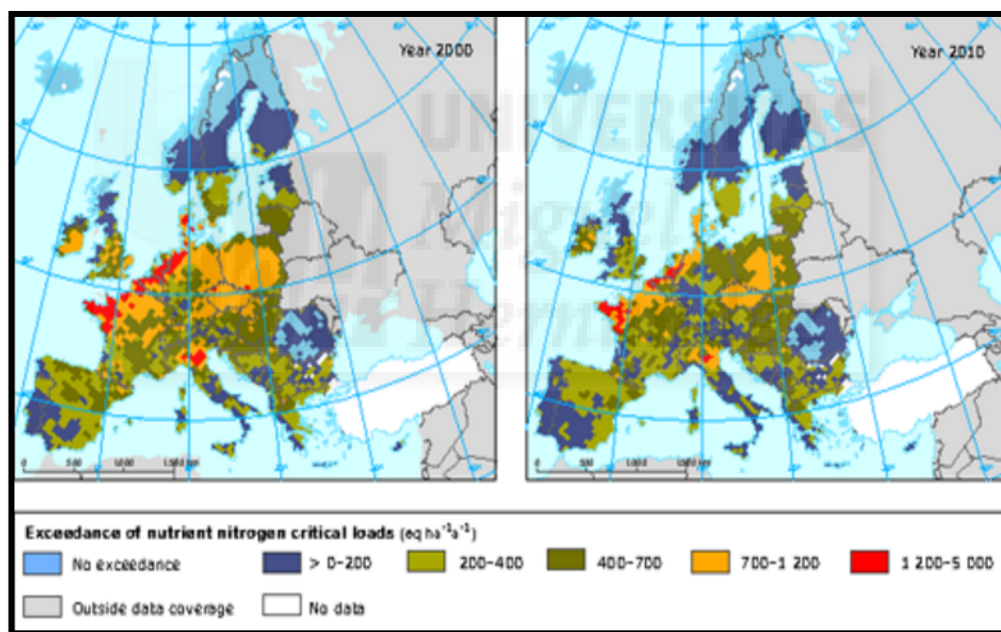


Figura 4. Variación de los aportes de nitrógeno en Europa entre los años 2000 y 2010. Fuente: web Agencia Europea del Medio Ambiente

### 1.2.1 Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento fundamental para el desarrollo de los organismos, debido a que es uno de los componentes principales de muchas biomoléculas, incluidas proteínas, ADN y clorofila (Bernhard et al., 2010). Es fundamental para el correcto crecimiento de los cultivos, encontrándose de forma natural en el suelo o incorporándose por acción antrópica a

través del uso de fertilizantes. A pesar de su importancia, su exceso puede acarrear serios problemas ambientales como excesiva estimulación de crecimiento, madurez tardía o mala calidad de los cultivos (Ayers y Westcot, 1994).

En los ecosistemas acuáticos es posible encontrar diversos compuestos nitrogenados, siendo los más importantes para la evaluación de la calidad de aguas amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). El movimiento de las diferentes especies nitrogenadas entre la atmósfera, biosfera y geosfera se denomina ciclo del nitrógeno. En el ciclo del nitrógeno (Figura 5) podemos encontrar, en los diferentes compartimentos ambientales, diversas transformaciones de las especies nitrogenadas, en las que juegan un papel fundamental los microorganismos capaces de realizar una biotransformación de unas especies en otros.

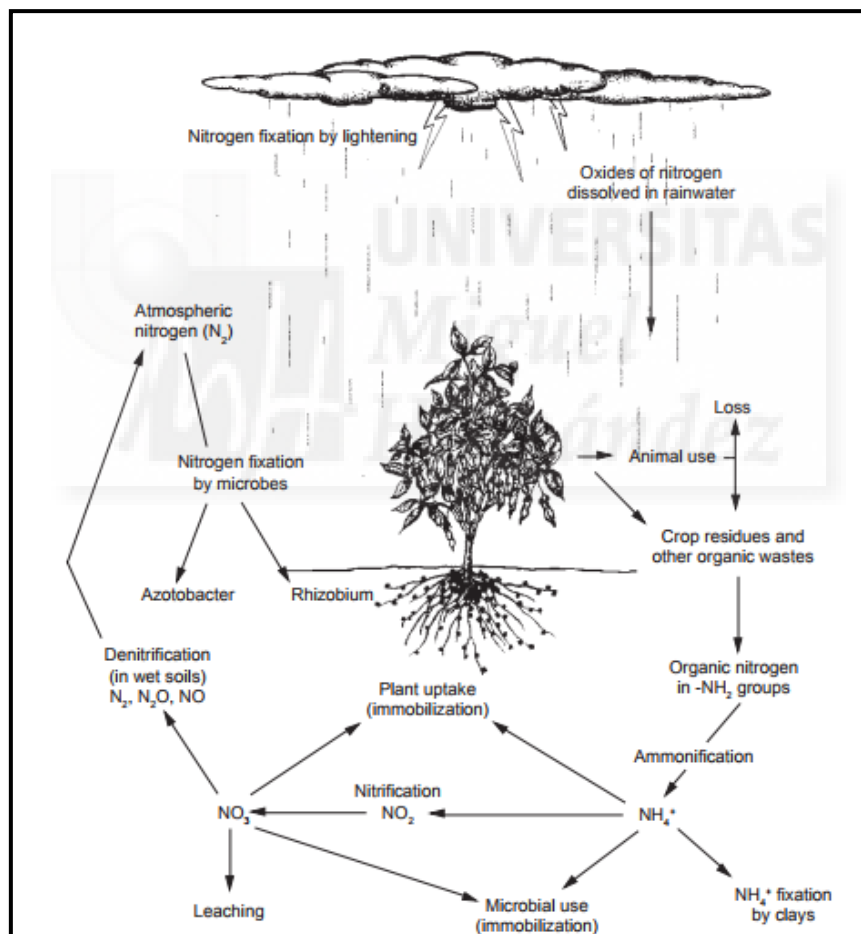


Figura 5. Ciclo del nitrógeno. Fuente: Uchida, 2000.

La mayor parte del ciclo del nitrógeno se puede desarrollar en el suelo siendo de vital importancia para el desarrollo de la vegetación (Killpack y Burchholz, 1993). Por su parte, en los ecosistemas acuáticos resulta de especial interés la oxidación de los compuestos

orgánicos para forma amonio (amonificación), nitrito y nitrato (nitrificación). La eliminación de nitratos se lleva a cabo mediante los procesos de desnitrificación en condiciones reductoras.

- Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

El nitrato es una forma disuelta del nitrógeno que se encuentra de manera natural en el suelo y agua. Su presencia en el suelo, en gran parte es debida a la descomposición biológica natural de los residuos de materia orgánica y plantas (Killpack y Burchholz, 1993). Es la principal fuente de nutrientes para las plantas y por eso es usada también como fertilizante.

La mayoría de los nitratos consumidos por los humanos provienen del consumo de vegetales crudos o cocinados, con pocos efectos conocidos sobre la salud, ya que la mayoría de las concentraciones en estado natural no son peligrosas para la salud humana. Según la Agencia Ambiental Americana (*Environmental Protection Agency-EPA*) no debe exceder el límite de 10mg/L de nitrógeno en forma nitrato en el agua potable (web USEPA), pero si las concentraciones (expresadas para  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) son superiores se pueden clasificar (web USU):

- 0-10mg/L: Seguro para los humanos y el ganado. Concentraciones por encima de 4 mg/L pueden ser indicadores de una posible fuente de contaminación.
- 11-20mg/L: Generalmente seguro para la vida de personas adultas y ganado, pero sí será peligrosa para niños ya que sus sistemas digestivos no podrán absorber y excretar el nitrato.
- 21-40mg/L: no debe usarse como fuente de agua de consumo. Su exposición puntual en adultos o ganado será aceptable siempre y cuando los alimentos tomados no tengan concentraciones de nitratos elevadas.
- 41-100mg/L: Peligroso para la vida de los humanos y ganado.
- >100mg/L: no debe usarse como agua de consumo ni para humanos ni para ganado.

Los efectos negativos de concentraciones elevadas de nitratos en la salud humana son los siguientes (Bauman, 2008):

- **Metahemoglobinemia:** esta enfermedad también conocida como “síndrome del bebé azul” aparece cuando personas tales como bebés, mujeres embarazadas, adultos con baja acidez estomacal o personas con cierta deficiencia enzimática ingieren agua rica en nitratos la cuál al entrar en contacto con el organismo reaccionará formando nitritos los cuales reducirán la capacidad de transporte de oxígeno de la

sangre. Esta disminución de oxígeno podrá acarrear daños cerebrales o incluso la muerte, en los casos más graves.

- Cánceres.: Debido a una ingesta prolongada, por la formación de nitrosamina.

### Nitrito (NO<sub>2</sub>)

El nitrito es un intermediario entre la nitrificación y la desnitrificación, debido a su elevada inestabilidad y rápida reacción con otros componentes (IPCS, 1996). En su uso comercial, su origen es totalmente sintético, obteniéndose mediante la disolución de óxido de nitrógeno en disoluciones alcalinas.

El nitrito dañará el sistema nervioso, el hígado y riñones de los peces y otros animales acuáticos. Además, al igual que los nitratos, está asociado a la incidencia creciente de desarrollo de cánceres, tumores en el cerebro, leucemia y tumores de la nasofaringe tanto en adultos como en niños (USEPA, 2006). Debido a esta peligrosidad su límite será de 1mg/L en agua potable.

- Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

El amonio es un producto natural de la descomposición de compuestos orgánicos de nitrógeno que se puede presentar en el agua de dos formas, como hidróxido de amonio (NH<sub>3</sub>) o como ion de amonio (NH<sub>4</sub>). Esta forma de nitrógeno es incorporada por las plantas acuáticas en proteínas, aminoácidos y otras moléculas. Grandes concentraciones de amonio pueden mejorar el crecimiento vegetal. También son importantes en el crecimiento de plantas en suelos hipóxicos, pero en la mayoría de cultivos puede ser un nutriente tóxico por lo que rara vez se aplica como única fuente de nitrógeno. (TMIC, 2017)

El amonio se instaura en los suministros de agua mediante la escorrentía de zonas agrícolas, donde son aplicados los fertilizantes, o desde instalaciones ganaderas, donde son producidos como desechos metabólicos (p.e. urea o ácido úrico). Desde estas fuentes, el amonio encuentra fácilmente la manera de infiltrarse en los acuíferos y de estos continuar su camino por lo diferentes compartimento del ciclo hídrico, pudiendo ocasionar muertes en los peces o daños en nuestra salud debido a su toxicidad. (Bauman, 2008).

En nuestras aguas, según el Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015) la concentración de amonio establecida para considerar una agua como de buena calidad será  $\leq 0,6$  mg/L y si es  $\leq 0,2$  mg/L se considerará de calidad muy buena.

### 1.2.2 Fósforo

El fósforo es un elemento vital para todos los organismos, ya que está presente en el ADN, el cual contiene el código genético encargado de dar todas las instrucciones a los organismos tales como el crecimiento, su mantenimiento o la reproducción. El fósforo suele ser el nutriente más importante en la limitación de la producción de fitoplancton en ecosistemas acuáticos (especialmente de agua dulce). Aparece de forma natural en la mayoría de las formaciones geológicas en diferentes cantidades y formas. La principal fuente de fósforo para la agricultura y la industria son los depósitos de apatito, también conocida como fosfato de roca (Boyd, 2015).

Su principal fuente de contaminación es debido a los vertidos puntuales y difusos de zonas urbanas y agrícolas. Las formas disueltas de fosfato más comunes en la mayoría de los cuerpos de agua son:

- $\text{HPO}_4^{2-}$  Fosfato ácido.
- $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  Fosfato diácido.

El fosfato se incorpora a las plantas a través del suelo, continuando a través de las cadenas tróficas a los animales. Por otra parte, la eliminación se puede llevar a cabo mediante reacciones con el aluminio, y en menor medida, con el hierro en el suelo. En ambientes alcalinos, el fósforo precipitará como fosfato cálcico. Todos estos procesos de transformación y tránsito entre los diferentes compartimentos ambientales están representados en el ciclo del fósforo.

El ciclo del fósforo (Figura 6) es un ciclo biogeoquímico que describe el movimiento de los fosfatos a través de la litosfera, hidrosfera y biosfera. A diferencia de los ciclos del carbono, oxígeno y nitrógeno, el ciclo del fósforo no está tan bien definido de manera global. El fósforo se mueve lentamente desde los depósitos del suelo a los organismos, pero aún más despacio de vuelta al suelo y a los sedimentos del agua. En las aguas naturales sin apenas contaminación su fuente primaria son las escurrientías que aportan material edáfico, siendo insignificante el proveniente de la atmósfera. Muchas aguas superficiales contienen menos de 0,05 mg/L de fósforo soluble (Boyd, 2015).

El fósforo no llega a ser tóxico en concentraciones elevadas, pero cuando se aúnan flujos masivos de P y N se promueven procesos de eutrofización masiva en los cuerpos de agua. Para poder predecir estos efectos tendremos que tener en cuenta la concentración de P en los cuerpos fluviales. La mayoría de las aguas superficiales suelen presentar bajas concentraciones de fosfatos. A modo de ejemplo, los siguientes rangos de concentración de

fósforo en forma fosfato son ilustrativos de las posibles consecuencias que pueden tener en los ecosistemas acuáticos (Oram, 2014):

- 0,01 – 0,03 mg/L – Nivel en lagos no contaminados.
- 0,025 – 0,1 mg/L – Niveles donde el crecimiento de las plantas se ve estimulado.
- 0,1 mg/L – Nivel máximo aceptable para evitar la eutrofización acelerada.
- >0,1 mg/L – Acelerado crecimiento y problemas consecuentes.

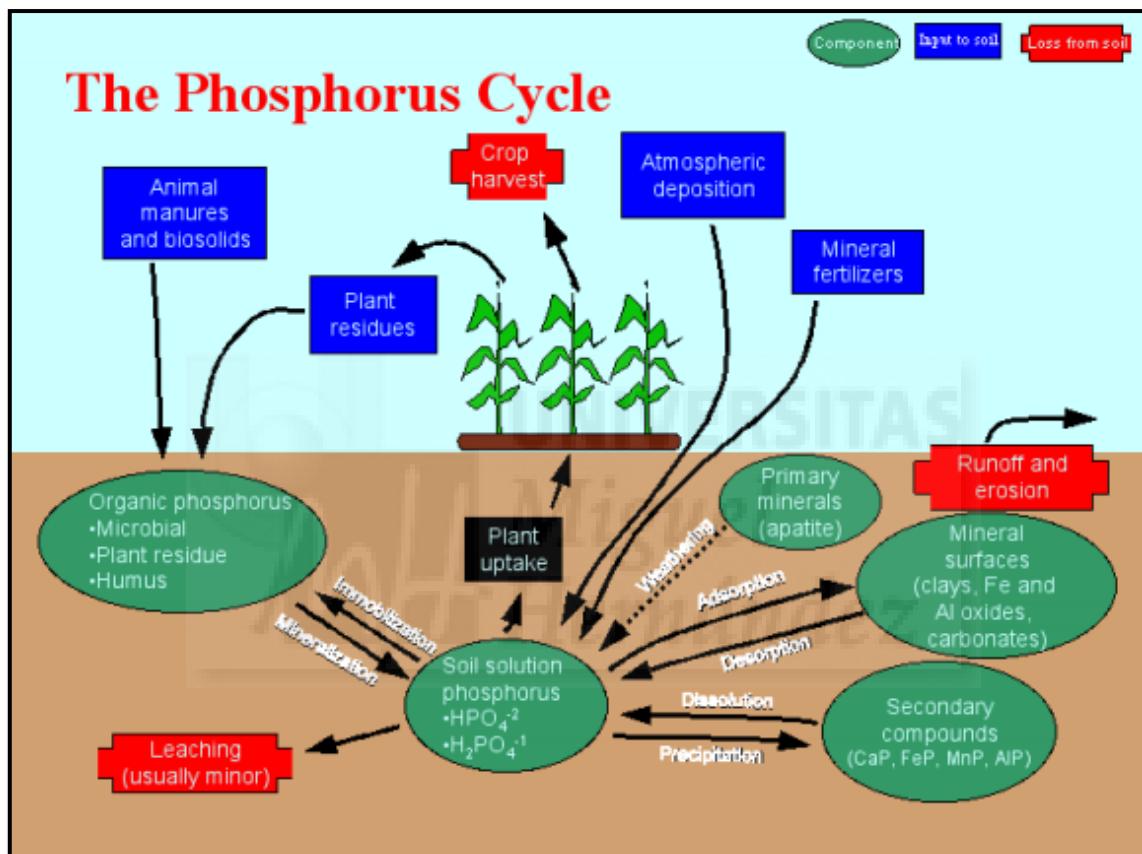


Figura 6. Ciclo del fósforo. Fuente: web UNC.

## 2 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La situación actual de los recursos hídricos en el sureste de la Península Ibérica está muy condicionada por la concurrencia de diversos factores tales como la escasez de precipitaciones, excesivas demandas de agua o la contaminación de los mismos. Esta situación de contaminación de los escasos recursos hídricos disponibles resulta altamente irracional e insostenible. Es por ello necesario profundizar en el conocimiento de los procesos de contaminación y transporte de contaminantes, para promover acciones de mejora que permitan minimizar la incorporación de contaminantes al medio, tanto procedentes de fuentes puntuales como difusas.

El presente Trabajo de Fin de Grado en Ciencias Ambientales pretende avanzar en el conocimiento del estado de degradación de los recursos hídricos superficiales en el entorno de las zonas de agricultura intensiva de regadío existentes en los tramos finales de los ríos Segura y Vinalopó. Para ello nos hemos centrado en la caracterización de las aguas de las desembocaduras de dichos ríos, así como de los principales azarbes de su entorno. El objetivo fundamental de este estudio es la caracterización de la calidad de las aguas superficiales utilizadas para el regadío, con la finalidad de avanzar en el conocimiento de la variabilidad temporal y severidad de los procesos de eutrofización en los diferentes cursos hídricos analizados. Para realizar el estudio hemos realizado un seguimiento bimensual de diversos parámetros de calidad de aguas relacionados con la eutrofización a lo largo de un periodo de tiempo de casi un año.

El seguimiento a lo largo de un extenso periodo de tiempo permitió la caracterización del estado de la calidad de las aguas de los diferentes cursos hídricos estudiados, así como profundizar en el conocimiento de sus problemáticas intrínsecas y la variabilidad estacional de los parámetros analizados. Para poder satisfacer el objetivo del estudio, se desarrollaron las siguientes tareas de investigación:

- Recopilación de información bibliográfica para profundizar en el conocimiento de los procesos de contaminación por nutrientes y estudios previos relacionados con el nuestro.
- Realización de cinco campañas de muestreo y análisis de parámetros de calidad en el laboratorio, desarrollados a intervalos de dos meses desde septiembre de 2016.
- Recopilación, análisis estadístico e interpretación de los resultados analíticos obtenidos.
- Redacción de la memoria del Trabajo Fin de Grado.



### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

La zona en la cual se realizó el estudio está comprendida entre las localidades de Elche y Guardamar del Segura. Para los análisis se eligieron los azarbes más representativos que pasan a formar parte del río Segura y Vinalopó (Figura 7). En el caso del Vinalopó (punto 1) tuvimos en cuenta 4 azarbes: azarbe de Dalt (punto 2), del Robatori (punto 3), Dulce (punto 4) y Ancha (punto 5). En el caso del río Segura elegimos 9 azarbes, que fueron: tramos finales del azarbe del Convenio (punto 6), de Enmedio (punto 10), de la Culebrina (punto 11), del Señor (Punto 12), de la Villa (punto 13), de la Comuna (punto 14) y el azud de San Antonio (punto 15).



Figura 7. Localización de los puntos de muestreo (en rojo y numerados) en los cursos hídricos estudiados. Se incluye la fecha de la ortofotografía del fondo.

Como se puede apreciar en la figura 7, es una zona donde hay una elevada afluencia de canales y zonas húmedas debidas principalmente a la geomorfología del terreno y a la presencia de dos ríos en sus alrededores. Pero la situación actual es diferente a como era hace unos siglos.

Hace miles de años, un alejamiento de la línea de la costa hizo que se instaurara una llanura de inundación con zonas palustres y lagunares de carácter dulceacuícola, la cual llegó a la Baja Edad Media siendo ya muy estrecha. Pero, es a partir del siglo XVIII, cuando comienzan las obras de colonización de este espacio con fines agrícolas y de saneamiento por parte del Cardena Belluga, acciones que provocarían una total desecación del área, área que presentaba un conjunto lagunar muy amplio que se prolongaba desde la laguna del Hondo, hasta los saladares de Albatera y la Albufera de Elche. Esta desecación provocaría una mejora en la salud pública debido a la proliferación de insectos, entre ellos mosquitos portadores de enfermedades, en las zonas estancadas de las aguas. Actualmente, gracias a la construcción de una gran red de canales y acequias de saneamiento y regadío, en las cuencas de los ríos Segura y Vinalopó se está proporcionando agua dulce que permite el desarrollo de una huerta fértil con diferentes tipos de productos en sus zonas colindantes (Canales y Vera Rebollo, 1985).

El uso intensivo del suelo caracteriza la zona con una deficiencia de materia orgánica y una baja estabilidad de agregados. A lo largo del terreno estudiado encontramos Fluvisoles (FAO, 2016), los cuales son típicos de los depósitos fluviales. Pero, además de estos, también encontramos depósitos de la etapa del Cuaternario aportados por las ramblas, ríos, etc. La caracterización de la topografía llana y su uso agrícola, hace que las propiedades geológicas y geomorfológicas de las regiones atravesadas por el río, sean un poco diferentes a las que se esperaba.

En cuanto a las características climáticas de las zonas estudiadas, encontramos que son muy similares entre sí. La temperatura media de Guardamar del Segura es de unos 15,3°C, con unas precipitaciones anuales de unos 293mm, llegando a variar unos 54 mm entre el mes más seco y el más húmedo (Figura 8). Por otra parte, en Elche la temperatura media es de 15,5°C y con precipitaciones anuales de unos 318mm, con diferencias de 56mm. Estos datos solo nos corroboran el tipo de clima que encontramos en la zona. Un clima Mediterráneo seco, con lluvias anuales inferiores a los 400mm y temperaturas medias que oscilan alrededor de los 17°C, alcanzando los 30°C en los secos y largos veranos y unos 12°C en los cortos y suaves inviernos. En cuanto a las precipitaciones, se sitúan en las estaciones equinocciales, es decir, en los inicios de la primavera y otoño.

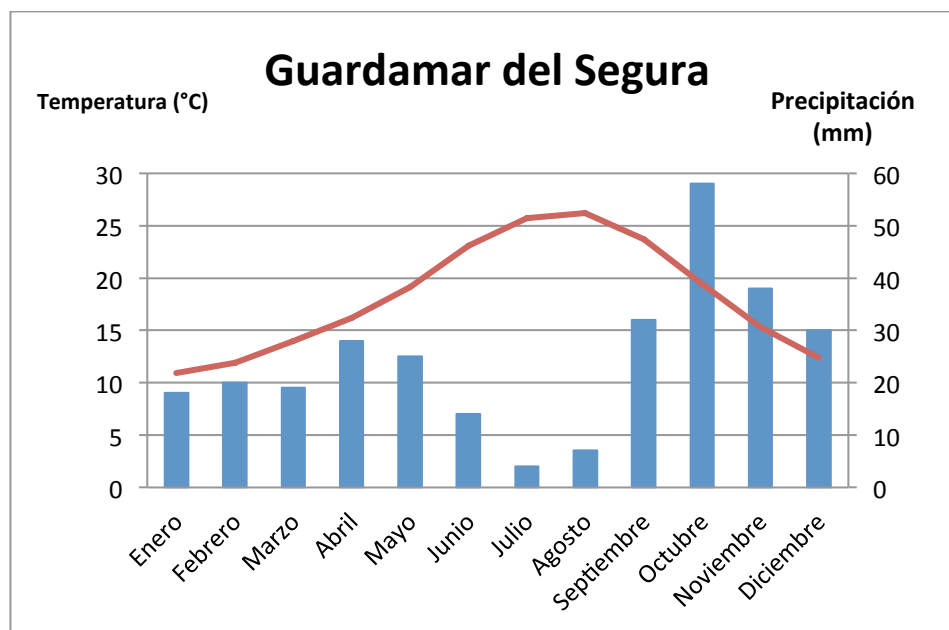


Figura 8. Climograma de Guardamar del Segura. Fuente: web AEMET.

### 3.1 Campañas de muestreo

A lo largo la duración del estudio, comprendido de septiembre de 2016 a mayo de 2017, se realizaron muestreos cada dos meses (Tabla 1). Estos muestreos se realizaban en las ubicaciones del mapa anterior (Figura 7).

Tabla 1. Fecha de recogidas de las muestras por puntos de muestreo

Punto de muestreo	Topónimo	Fecha de recogida				
		Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
1	Desembocadura del Vinalopó	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
2	Azarbe de Dalt	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
3	Azarbe de Robatori	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
4	Azarbe Dulce	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
5	Azarbe Ancha	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
6	Azarbe del Convenio	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
7	Azarbe de Pineda	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
8	Azarbe del Mayayo	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
9	Azarbe del Acierto	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
10	Azarbe de Enmedio	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
11	Azarbe Culebrina	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
12	Azarbe del Señor	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
13	Azarbe de la Villa	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
14	Azarbe de la Comuna	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17
15	Azud San Antonio	Sep-16	Nov-16	Ene-17	Mar-17	May-17

Para la realización de los muestreos, se realizaba un protocolo que consistía en lo siguiente:

1. Se preparaban y etiquetaban botellas de PEAD de 2L de volumen.
2. Con el uso de guantes de látex, para evitar contaminación en las muestras, y gracias al uso de una pértiga toma-muestras, se recogía el agua siempre homogeneizando el cubilete de la pértiga y la botella con el agua de cada punto a muestrear (Figura 9).
3. Se llenaban las botellas hasta su máxima capacidad, evitando dejar un espacio vacío, con la finalidad de minimizar la degradación de los parámetros a analizar en el agua.
4. A medida que se iban recolectando las aguas, las botellas se iban depositando en una nevera portátil, que se mantenía a la mínima temperatura posible mediante el uso de refrigerantes. Esto ralentizaría los procesos reactivos que pudieran ocurrir en las aguas, haciendo más fiable su posterior análisis.
5. Transporte y análisis en el laboratorio. Las muestras se mantenían refrigeradas hasta el momento de realizar su análisis, que se llevaba a cabo lo antes posible.



*Figura 9. Recogida manual de agua en uno de los puntos de muestreo. Autor: Jose Navarro Pedreño*

## 3.2 Parámetros analizados

Los parámetros analizados para conocer y poder determinar la calidad de las aguas de las zonas estudiadas fueron los siguientes:

- **pH**

Para la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico. Para su determinación se midió por triplicado el pH de cada azarbe y se realizó una media de los valores obtenidos. Dicho valor es independiente del color o turbidez del medio, así como de las materias coloidales (Rodier, 1981) Por otra parte, el pH se rige por una escala que va de 0 a 14, siendo el 0 el pH más ácido posible y 14 el más básico. La temperatura media a la cual se realizaron las mediciones fueron 25°C.

- **Oxígeno disuelto**

La medida del oxígeno disuelto se realizó mediante una sonda portátil *Cell Ox325* con sensor de oxígeno *Oxi 330* fabricado por WTW (Xylem Inc., Weilheim-Alemania). Es de gran importancia la medida de este parámetro in situ, ya que podría reaccionar dentro de los botes usados para el transporte y dar un valor ligeramente equivoco. Este parámetro se midió en lugares donde no había saltos de agua, ya que si la medida se realizara en ellos la concentración de oxígeno disuelto aumentaría debido a la oxigenación que en ellos se produce, por lo tanto su valor no sería representativo para todo el cauce.

- **Sólidos en suspensión**

Las aguas residuales domésticas generalmente contienen grandes cantidades de sólidos suspendidos de naturaleza orgánica e inorgánica. Los Sólidos en Suspensión Totales (SST) son la fracción de sólidos totales (ST) retenidos por un filtro con un tamaño de poro específico ( $>0,45\mu\text{m}$ ) cuando se filtra a vacío una muestra de agua (Tchobanoglous et al., 2003). Este filtrado, recogido en los matraces Kitasatos, se utilizó para realizar todas las determinaciones analíticas posteriores. El filtro se secó en estufa a una temperatura de 105°C durante aproximadamente 1h para eliminar toda la humedad. Finalmente, por diferencia de peso entre el filtro antes de la determinación analítica y el filtro tras el proceso de filtración y secado, se puede conocer la cantidad de sólidos de una muestra de agua.

- **Nitratos**

Los nitratos se determinaron por el método de la segunda derivada del espectro ultravioleta (APHA-AWWA-WEF, 2012). Para ello, se realiza un barrido entre 190 y 280nm y se calcula la segunda derivada del espectro UV de las muestras, comparando con una recta de calibrado adecuada. La altura del último pico (alrededor de los 230nm) antes de la recuperación de la línea base es la que se emplea en la determinación. Este método es más fiable cuando analizamos en espectros con longitudes de onda de 210 a 230nm, debido a que la absorbancia del nitrato en esas longitudes crece rápidamente mientras que la de la materia orgánica natural (NOM) crece de manera gradual produciendo un menor ruido de fondo.

- **Nitritos**

Para la determinación de los nitritos se empleó método de la sulfanilamida. Este método se basa en la reacción del nitrito con la sulfanilamida en medio ácido, para producir una sal de diazonio, que a su vez reacciona con el dicloruro de N-(1-naftil)-etilen-diamina. Resultante de esta diazotación se obtuvo un complejo coloreado púrpura, de intensidad proporcional a la concentración de nitrito en la muestra, susceptible de determinación colorimétrica a 543nm, comparando con una curva de calibrado adecuada (APHA-AWWA-WEF, 2012).

- **Amonio**

La determinación de este catión se realizó mediante el empleo de un fotómetro ORION AQUAfast AQ3700 fabricado por Thermo Fisher Scientific Inc. (Waltham, Massachusetts, EEUU). Este sistema permite realizar análisis espectroscópicos en muestras de agua empleando kits específicos de reactivos (en este caso de salicinato de amonio y cianurato de amonio), para el parámetro y rango deseado siempre y cuando la concentración de nitrógeno en forma amonio esté entre 0,02-2,5 mg/L (Thermo Scientific, 2010)

- **Fosfatos**

El método que se utilizó para el análisis de fósforo fue el método de Burriel-Hernando. El fósforo se determina mediante la formación de un complejo fosfomolibdico, en medio ácido, que es reducido por ácido ascórbico para dar una coloración azul que se puede medir colorimétricamente a 825nm, comparando los resultados con patrones de fósforo como ion fosfato preparados en las mismas condiciones que las muestras.

### 3.3 Análisis estadísticos

Los datos de calidad de aguas (7 variables) fueron analizados estadísticamente mediante estadísticos descriptivos, análisis de las distribuciones de frecuencias, comparaciones entre las medias y análisis de correlación entre las variables.

Los estadísticos descriptivos (medidas de tendencia central y de dispersión) se calcularon en base a los 15 puntos de muestreo ( $n=75$ ). Se empleó la prueba de Kolmogorov Smirnov para el análisis de la distribución de frecuencias de las diferentes variables, con la finalidad de determinar si se ajustaban a una distribución normal o no. Dados los resultados obtenidos, se procedió a la transformación de aquellas variables que no se ajustaban a la citada distribución.

Tras la primera fase de análisis descriptivo se procedió a realizar un análisis estadístico que permitiera evaluar las diferencias entre los resultados que obtuvimos para cada curso hídrico. La comparación entre las medias de las variables estudiadas se analizó mediante el test de análisis normalizado de la varianza (ANOVA). Este test paramétrico se utiliza para determinar si las medias de dos o más grupos divergen entre sí de manera significativa. Se empleó como factor para el test ANOVA la localización de los puntos de muestreo.

Finalmente se realizó un análisis de correlación entre los parámetros de calidad de aguas. Se empleó el método de correlación de Pearson para evaluar la relación entre las variables (McDonald, 2008). Este coeficiente es una medida de asociación lineal entre pares de variables. Todos los análisis estadísticos se han desarrollado utilizando el software IBM SPSS 24 (IBM Inc, Nueva York, EEUU).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente estudio se desarrolló entre los meses de septiembre de 2016 y mayo de 2017, permitiendo realizar un seguimiento bimensual de una serie de parámetros de calidad de aguas, en los sistemas de azarbes del entorno de las desembocaduras de los ríos Segura y Vinalopó. Se analizaron parámetros de calidad de aguas indicativos del estado de eutrofización de los cursos hídricos en un total de 15 puntos de muestreo.

En la Tabla 2 se muestran los estadísticos descriptivos de media y desviación estándar, además de los resultados del test ANOVA, para las siete propiedades de calidad de aguas analizadas a lo largo del periodo de tiempo que duró el estudio. El test ANOVA se aplicó considerando como factor la localización de los puntos de muestreo.

*Tabla 2: Estadísticos descriptivos y test ANOVA de los parámetros de calidad de agua en los diferentes puntos de muestreo.*

Puntos	pH	O <sub>2</sub> dis. (mg/L)	SST (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)
1	7,9±0,3 a	6,1±1,1 a	20,1±8,4 a	31,9±11,2 a	2,4±2,7 a	1,2±2,0 a	1,7±0,9 a
2	7,8±0,2 a	5,1±1,8 ab	38,2±24,8 a	13,0±12,5 ab	0,5±0,4 a	0,6±0,5 a	0,8±0,4 a
3	7,8±0,2 a	6,2±1,2 ab	36,2±28,0 a	18,8±6,9 ab	0,3±0,1 a	0,1±0,1 a	0,8±0,3 ab
4	8,0±0,2 a	6,6±1,6 ab	38,6±55,2 a	19,8±17,8 ab	0,2±0,2 a	0,1±0,1 a	3,6±4,5 ab
5	7,8±0,3 a	6,0±1,2 ab	27,3±10,8 a	17,6±9,9 ab	0,2±0,1 a	0,1±0,1 a	0,6±0,2 abc
6	7,8±0,2 a	6,6±0,9 ab	52,7±42,9 a	42,2±4,2 ab	0,4±0,1 a	0,2±0,2 a	1,0±0,2 abc
7	8,0±0,2 a	6,4±1,5 ab	90,3±34,89 a	31,7±13,9 ab	0,5±0,1 a	0,3±0,3 a	0,6±0,2 abc
8	8,0±0,2 a	7,5±0,9 ab	95,0±170,4 a	28,3±26,4 ab	0,4±0,3 a	0,2±0,3 a	0,8±0,5 abc
9	7,9±0,3 a	5,9±0,5 ab	34,3±11,5 a	42,0±16,6 ab	0,5±0,1 a	0,2±0,1 a	1,0±0,2 abc
10	8,0±0,2 a	6,5±0,8 ab	39,2±14,5 a	43,2±7,3 ab	0,8±0,3 a	0,2±0,1 a	1,1±0,1 abc
11	7,9±0,2 a	5,9±0,5 ab	40,6±28,7 a	52,8±22,7 ab	0,6±0,2 a	0,6±0,6 a	1,1±0,2 abc
12	8,1±0,2 a	6,3±0,3 ab	42,2±36,1 a	37,9±14,3 ab	0,6±0,4 a	0,3±0,4 a	1,2±0,3 abc
13	8,0±0,2 a	6,3±0,5 ab	28,2±11,7 a	49,1±18,5 ab	0,6±0,2 a	0,3±0,2 a	1,5±0,2 abc
14	7,9±0,2 a	6,0±0,5 ab	20,9±8,5 a	49,3±23,4 b	0,6±0,3 a	0,4±0,4 a	1,8±0,3 bc
15	8,1±0,2 a	6,3±0,7 b	93,3±93,1 a	27,3±9,6 b	0,6±0,4 a	0,3±0,2 a	1,3±0,3 c
F	1,106	1,182	1,301	3,100	1,558	0,908	3,728
p-valor	0,371 n.s.	0,312 n.s.	0,234 n.s.	0,001***	0,119 n.s.	0,555 n.s.	<0,001***

\*\*\* : p≤ 0,001 ; n.s.: no significativa

A continuación se presentan detalladamente los resultados más relevantes obtenidos para cada uno de los parámetros individuales analizados.



## 4.1 pH

El pH en una solución nos indica la naturaleza ácida o básica de la misma, resultado un parámetro muy útil para identificar alguna anomalía atípica en el agua, como resultado de ciertos vertidos. El pH fue un parámetro que varió poco entre unos puntos de muestreo y otros, con valores promedio entre 7,8 y 8,1 (Tabla 2). No se encontraron diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose un *p*-valor de 0,371.

Según el Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015), los cursos hídricos estudiados se podrían englobar en la categoría de ríos mediterráneos muy mineralizados (R-T13), presentando una muy buena calidad (rango 6,5-8,7) para el parámetro pH.

## 4.2 Oxígeno disuelto

Una adecuada concentración de oxígeno disuelto en los ecosistemas acuáticos es básica para su correcto funcionamiento, dado su uso por parte de multitud de organismos en los procesos de respiración aeróbica para la generación de energía y movilización de carbono en la célula. Además de todo eso, también es importante en los procesos de fotosíntesis, oxidación, reducción, solubilidad de minerales y descomposición de materia orgánica (Fuentes y Massol-Deyá, 2002).

En este estudio se constató que las concentraciones promedio de oxígeno disuelto oscilaron entre 5,1 mg/L para el azarbe número 2 (Dalt) y 7,5 mg/L para el azarbe número 8 (Mayayo), presentando el resto de azarbes y ríos un valor en torno a 6-6,5 mg/L (Tabla 2). No se encontraron diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose un *p*-valor de 0,312.

Según el Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015), todos los puntos de muestreo presentaban una calidad promedio buena/moderada, ya que se encontraría por encima de los 5mg/L establecidos por la legislación para los ríos mediterráneos muy mineralizados (R-T13).

## 4.3 Sólidos en suspensión

La concentración de sólidos en suspensión en cursos hídricos es altamente variable espacial y temporalmente, dado que se ve seriamente condicionada por los aportes de materiales arrastrados por las lluvias mediante las escorrentías superficiales, además de poder ser modificada también por diversas acciones antrópicas (p.e., corta de carrizo,

movimientos de tierras) o naturales (p.e., movimiento de los sedimentos por parte de los peces). En los azarbes de nuestra zona, al ser un lugar de precipitaciones escasas pero torrenciales, en épocas de lluvias pueden producirse muy acusados incrementos en la concentración de sólidos en suspensión, repercutiendo en obtener desviaciones estándares bastante elevadas.

En nuestro estudio que las concentraciones promedio de sólidos en suspensión (Tabla 2) oscilaron entre 20,1 mg/L para el río Vinalopó (punto 1) y valores superior a 90 mg/L para los azarbes número 7 y 8 (Pineda y Mayayo respectivamente) y el río Segura (punto 15). Estos cursos hídricos con tan elevadas concentraciones promedio de sólidos en suspensión presentaban también grandes desviaciones estándar. Tales fluctuaciones estaban asociadas a un incremento del transporte de sólidos en suspensión en muestreos realizados pocos días después de episodios de precipitación. No se encontraron diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose un  $p$ -valor de 0,234.

El Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015) no incluye los sólidos en suspensión en las tablas de definición de las categorías de calidad de aguas, por lo que no fue posible asociar los valores obtenidos a ningún rango de concentraciones.

#### 4.4 Nitratos

La contaminación por nitratos de las aguas superficiales y subterráneas es muy común en zonas rurales con actividades de agricultura intensiva. Su presencia en los cursos hídricos puede deberse principalmente a un excesivo uso de pesticidas en las zonas agrícolas. Estos excesos, que no han podido ser asimilados por las plantas, serán arrastrados por el agua de lluvia llegando por medio de la escorrentía a los cauces hídricos más cercanos y contaminando los reservorios hídricos cercanos.

Obtuvimos concentraciones promedio de nitratos altamente variables entre unas localizaciones y otras (Tabla 2). La menor concentración promedio se obtuvo para el azarbe de Dalt (punto 2; 13,0 mg/L), en contraposición con el azarbe de Culebrina (punto 11; 52,8 mg/L).

Comparando nuestros resultados, con el Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015), se observó una clara diferenciación entre contaminación de cuencas. Esta diferenciación es claramente visible en la Figura 10, donde los azarbes pertenecientes a la zona del Vinalopó (puntos de muestreo del 2 a 5) presentaron una concentración promedio de nitratos en sus aguas inferior a 25mg/L, que es el umbral que define la calidad buena/moderada. Por el contrario, ninguno de los azarbes del entorno de la

desembocadura del río Segura presentaron concentraciones promedio inferiores al citado umbral, pudiendo considerarlos que tiene una calidad era deficitaria respecto a la concentración de nitratos.

Al realizar el test ANOVA, se ratificaron dichas observaciones dado que se encontraron diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose un  $p$ -valor de 0,001.

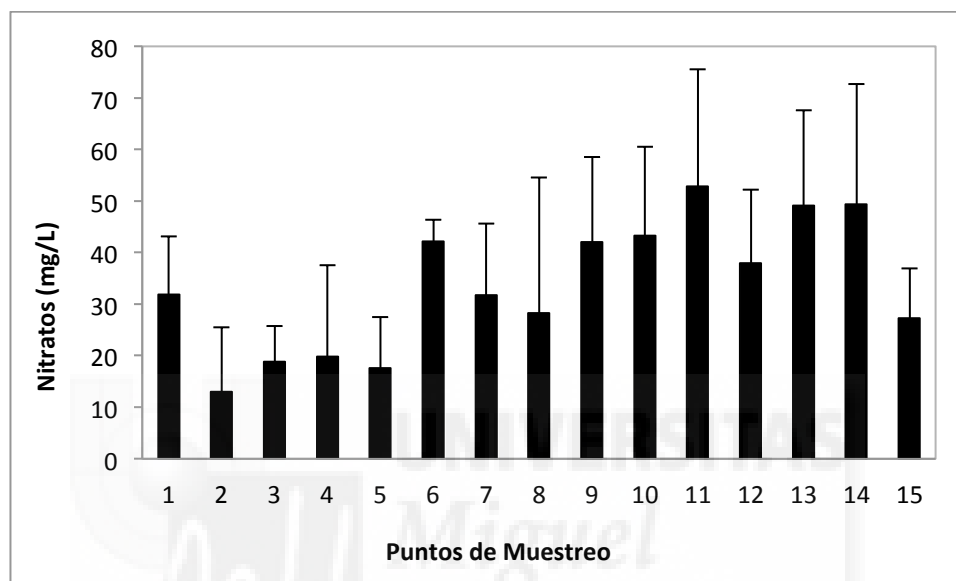


Figura 10. Variación de las concentraciones de nitratos entre los diferentes puntos de muestreo

## 4.5 Nitritos

Las altas concentraciones de nitrito resultan altamente tóxicas para los peces y otros organismos acuáticos. El proceso más común para el enriquecimiento de nitritos en aguas está asociado a nitrificación y desnitrificación de otras especies nitrogenadas implicadas en el ciclo del nitrógeno (Boyd, 2015). La contaminación de las aguas por nitritos no solo pone en riesgo la salud de los organismos acuáticos, sino que también puede afectarnos dado que se asocia con procesos alérgicos y reacciona con la hemoglobina para dar metahemoglobina, que reduce la capacidad de transportar oxígeno disuelto en la sangre y puede derivar en la enfermedad de metahemoglobinemia.

En nuestro estudio que las concentraciones promedio de nitritos (Tabla 2) oscilaron entre 0,2 y 0,8 mg/L para todos los cursos hídricos analizados, a excepción del río Vinalopó (punto 1) que presentaba un valor promedio de 2,4 mg/L. Este valor promedio tan elevado se asoció a una también muy elevada desviación estándar. Esto se justifica por el hecho de

que se obtuvieron valores de nitritos muy elevados tras episodios de lluvias (enero y marzo) en la cuenca del río Vinalopó pocos días antes del muestreo. Este proceso de aumento del transporte de especies nitrogenadas asociado a episodios de lluvias, es muy común en cuencas fluviales del sureste peninsular como es el caso del río Vinalopó, o por ejemplo la rambla de Albuñón que vierte sus aguas al Mar Menor (García-Pintado et al., 2007). Aplicando el test ANOVA no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose un  $p$ -valor de 0,119.

El Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015) no incluye los nitritos en las tablas de definición de las categorías de calidad de aguas, por lo que no fue posible asociar los valores obtenidos a ningún rango de concentraciones.

#### 4.6 Amonio

La presencia de altas concentraciones de amonio en las aguas superficiales resulta perjudicial para gran número de organismos acuáticos (genera toxicidad) y además puede derivar en un incremento de las concentraciones nitritos y nitratos, tanto en los ecosistemas acuáticos, como en los suministros de agua potable como resultado de la acción catalítica o por la colonización accidental de filtros por bacterias oxidantes de amonio.(WHO, 1996).

Se obtuvieron concentraciones promedio de amonio inferiores a 0,6 mg/L para todos los cursos hídricos analizados, a excepción del río Vinalopó (punto 1), que presentaba un valor promedio de 1,2 mg/L. Al igual que pasaba para el caso de los nitritos, se obtuvieron valores de amonio muy elevados tras episodios de lluvias (enero y marzo) en la cuenca del río Vinalopó pocos días antes del muestreo. No se encontraron diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose un  $p$ -valor de 0,555.

Según el Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015), gran parte de los puntos de muestreo presentaban una calidad promedio buena/moderada ( $[\text{NH}_4^+] \leq 0,6$  mg/L) o incluso muy buena ( $[\text{NH}_4^+] \leq 0,2$  mg/L) para los ríos mediterráneos muy mineralizados (R-T13). Quedaría excluido de estas categorías en el punto de muestro 1 correspondiente al río Vinalopó, cuya calidad sería deficitaria.

#### 4.7 Fosfatos

Los fosfatos entran a las vías fluviales a través de los desechos humanos y animales, roca madre rica en fósforo o fertilizantes, entre otras fuentes. Una acumulación de estos fosfatos podrán nutrir las plantas acuáticas provocando eutrofización (Paerl, 2008).

Obtuvimos concentraciones promedio de fosfatos altamente variables entre unas localizaciones y otras (Tabla 2). Las menores concentraciones de fosfatos se obtuvieron para los puntos de muestreo 2, 3, 5, 7 y 8 (azarbes de Dalt, Robatori, Ancha, Pineda y Mayayo respectivamente), con valores promedio comprendidos entre 0,6 y 0,8 mg/L. En el extremo opuesto encontramos el azarbe Dulce (punto número 4), que presentaba un valor promedio de 3,6 mg/L, motivado por ciertos episodios puntuales de enriquecimiento masivo de fosfatos. Al realizar el test ANOVA, se ratificaron dichas observaciones dado que se encontraron diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo, obteniéndose un  $p$ -valor  $<0,001$ .

Comparando nuestros resultados con el Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015), se evidencia que los cursos hídricos del área de estudio tienen una calidad deficitaria para fosfatos, dado que en ningún punto de muestreo se obtuvieron valores promedio inferiores al umbral establecido para calidades de agua buenas/moderadas ( $[\text{PO}_4^{-3}] \leq 0,5 \text{ mg/L}$ ).

#### 4.8 Relación entre variables

Una vez analizados individualmente los parámetros de calidad de aguas entre los diferentes puntos de muestreo, se procedió a estudiar las relaciones entre dichas variables. Para la realización de este apartado, se empleó el test de correlación de Pearson que nos permite identificar relaciones significativas entre variables. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos con el test de correlación de Pearson, entre las diferentes variables analizadas para los 15 cursos hídricos en las cinco campañas de muestreo ( $n=75$ ). Debido a que el test de correlación de Pearson requiere que la distribución de los datos sea normal, previamente al desarrollo del test de correlación se realizó una transformación de los datos de pH, sólidos, nitritos, amonio y fosfatos, mediante la aplicación del logaritmo neperiano.

*Tabla 3: Test de correlación de Pearson entre las variables analizadas. Se muestra en negrita las correlaciones significativas.*

	pH	O <sub>2</sub> dis.	SST	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
pH	1	-0,043	-0,020	<b>-0,255*</b>	-0,211	<b>-0,373**</b>	0,145
O <sub>2</sub> dis.	-0,043	1	0,093	0,103	-0,064	-0,082	-0,016
SST	-0,020	0,093	1	0,099	<b>0,266*</b>	0,045	-0,180
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>-0,255*</b>	0,103	0,099	1	<b>0,467**</b>	<b>0,401**</b>	<b>0,313**</b>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,211	-0,064	<b>0,266*</b>	<b>0,467**</b>	1	<b>0,562**</b>	0,079
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>-0,373**</b>	-0,082	0,045	<b>0,401**</b>	<b>0,562**</b>	1	<b>0,253*</b>
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,145	-0,016	-0,180	<b>0,313**</b>	0,079	<b>0,253*</b>	1

\*\* :  $p \leq 0,01$  ; \* :  $p \leq 0,05$

Lo primero que llama la atención en la tabla anterior es que todas las especies nitrogenadas están directamente correlacionadas significativamente entre sí ( $p$ -valor  $\leq 0,01$ ). Esto indica que si encontramos una alta concentración de una especie nitrogenada, es altamente probable también hallar elevadas concentraciones de las otras dos, lo que repercutirá en que la concentración de nitrógeno total sea bastante elevada. La presencia de elevadas concentraciones de estas especies nitrogenadas es un claro indicador del desarrollo de procesos de eutrofización (Boyd, 2015).

Por otra parte se observa una correlación significativa pero negativa entre el pH con respecto a los nitratos ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ) y el amonio ( $p$ -valor  $\leq 0,01$ ). Existen evidencias científicas que demuestran que la fotosíntesis (y consecuente asimilación de nutrientes) está relacionada con un incremento del pH en los cuerpos de agua (Boyd, 2015). En nuestro caso, se observó dicha relación pero al tratarse de cuerpos de agua independientes entre sí y con mediciones puntuales, no es posible asegurar que dicha correlación están inequívocamente asociada a altas tasas de fotosíntesis por parte de los crecimientos masivos de microalgas. En un Trabajo Fin de Grado previo desarrollado en nuestra área de conocimiento, sí que se pudo hacer patente esta asociación entre cambios de pH e incremento de la actividad fotosintética por parte de las microalgas, dado que en este estudio sí que se hizo un seguimiento pormenorizado a lo largo de un cauce fluvial continuo como es el Pantano de Elche (Amorós, 2015)

Finalmente se observó una correlación significativa entre la concentración de fosfatos respecto a la de nitratos ( $p$ -valor  $\leq 0,01$ ) y amonio ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ). La presencia concurrente de concentraciones elevadas de especies nitrogenadas y fosfatos puede deberse a un exceso de aporte de fertilizantes en las actividades agrarias de zonas colindantes a los puntos de muestreo. Tales zonas de cultivo disponen de sistemas de drenaje para evitar su encharcamiento, cuyas aguas son recogidas por los azarbes que estamos estudiando. Es por eso que el encontrar una correlación directa entre especies nitrogenadas y fosfatos resulta del todo lógica. Hay que tener en cuenta que la mayoría de las fuentes de contaminación orgánica rica en N y P están relacionadas con las actividades agrícolas (p.e., aplicación de estiércol de ganado, lodos de depuradora, o fertilizantes comerciales, cultivos de legumbres) (Bloemet al., 2017), por lo que la mejora de las prácticas agrícolas (p.e., labranza de conservación, planes de manejo de nutrientes, manejo de desechos de animales, protección de arroyos, manejo de tierras de pastoreo, amortiguadores de riberas forestales) es crítica para el control de los procesos de eutrofización (Lam et al., 2011).

## 5 CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA

Después de un análisis exhaustivo de los parámetros más relevantes en la calidad de nuestras aguas, podemos llegar a la conclusión de que los cursos de agua den entrono de las desembocaduras de los ríos Vinalopó y Segura tiene una muy alta predisposición para el desarrollo de procesos de eutrofización. Esto es debido a las elevadas concentraciones de nutrientes (formas nitrogenadas y fosfatos) encontrados en los puntos de muestreo. La abundante presencia tanto de las especies nitrogenadas como de los fosfatos en las aguas, acelerará la aparición de eutrofización. Comparando nuestros resultados analíticos con los rangos definitorios de los niveles de calidad de aguas superficiales recopilados en el Real Decreto 817/2015 de calidad de aguas superficiales (BOE, 2015), se pudo constatar que para el caso de los nitratos, las concentraciones establecidas para poder catalogar las aguas con buena calidad se vieron prácticamente superadas en todos los puntos de muestreo, mientras que en los fosfatos estas concentraciones fueron superadas en su totalidad. En base a esto se podría identificar la zona como altamente propensa a la eutrofización.

Después de discernir la procedencia de estas concentraciones tan elevadas de nutrientes en los cursos fluviales analizados, se llegó a la conclusión de que las zonas agrícolas alrededor de los cursos debían de estar aportando, mediante escorrentía, una gran parte de nutrientes que hacían aumentar de esta manera las concentraciones totales de los parámetros analizados relativos a la eutrofización. También se observó que los puntos de muestreo situados en la zona del Vinalopó presentaban una menor concentración de nitratos en sus aguas que los presentes en la zona del Segura, por lo tanto recibirían una menor aportación de escorrentías de procedencia agrícola ricas en fertilizantes, principal fuente de nutrientes.

Para mejorar la calidad de nuestras aguas, sería conveniente mejorar la comunicación y conciencias ambiental de las consecuencias que tiene el uso excesivo de fertilizantes y como estos afectan a los ecosistemas acuáticos y a la sanidad pública. Además deberían de implementarse formas de laboreo más eficaces en las cuales se redujesen las cantidades de fertilizantes necesarios para sacar adelante el cultivo.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

### 6.1 Referencias Bibliográficas:

- Amorós, I., 2015. Modelización de la calidad de aguas en cursos de agua eutrofizados. Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales. Universidad Miguel Hernández de Elche. Directores: I. Meléndez y J. Navarro. Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. 34 p.
- APHA-AWWA-WEF, 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater: 22nd Edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF): Washington, DC. 1496 p.
- Arend, K.K., Beletsky, D., De Pinto, J.V., Ludsin, S.A., Roberts, J.J., Rucinski, D.K., Scavia, D., Schwab, D.J., Höök, T.O., 2010. Seasonal and interannual effects of hypoxia on fish habitat quality in central Lake Erie. *Freshwater Biology*, 56: 366-383.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1994. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Roma, Italia. 192 p.
- Bauman, D., 2008. Nitrates/Nitrites. *Water Technology Magazine*, 31.
- Bernhard, A., 2010. The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human impact. *Nature education Knowledge*, 3: 25.
- Bloem, E.A., Albiñ, A.B., Elving, J.B., Hermann, L.C., Lehmann, L.A., Sarvi, M.D., Schaaf, T.C., Schick, J.A., Turtola, E.D., Ylivainio, K.D., 2017. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers. *Science of Total Environment*, 607-608: 225-242.
- BOE, 2015. 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. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Boletín Oficial del Estado. Boletín Oficial del Estado (BOE) núm. 219, de 12 de septiembre de 2015, páginas 80582 a 80677
- Boid, C.E., 2015. Water Quality. An Introduction. Second Edition. Springer: Heidelberg, New York, Dordrecht, London. 374 p.



- Canales, G.M., Vera Rebollo, J.F., 1985. Colonización del Cardenal Belluga en las tierras donadas por Guardamardel Segura: creación de un paisaje agrario y situación actual. *Investigaciones Geográficas*, 3: 143-160.
- Carpenter, S. R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howart, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H., 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8: 559-568.
- EEA Report 2012. Water resources in Europe in the context of vulnerability. No 11/2012. Agencia European de Medio Ambiente: Copenague, Dinamarca. 96 p.
- FAO, 2005. Uso del agua en la agricultura. *Revista Enfoques*, nº noviembre 2005. Accesible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0511sp2.htm>
- FAO, 2016. Base referencial mundial del recurso suelo 2014: Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Serie número 106. Actualización 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Roma, Italia. 214 p.
- Fuentes, F., Massol-Deyá, A., 2002. Manual de laboratorios. Ecología de microorganismos. Universidad de Puerto Rico: Mayagüez, Puerto Rico Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/>
- García-Pintado, J., Martínez-Mena, M., Barberá, G.G., Albaladejo, J., Castillo, V.M., 2011. Anthropogenic nutrient sources and loads from a Mediterranean catchment into a coastal lagoon: Mar Menor, Spain. *Science of The Total Environment*, 373: 220-239.
- García, M., Sánchez, F.D., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., Vargas O., Panizzo, L., Sánchez, N., Gómez, J., y Cortés, G., 2001. El agua. Ed. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Bogotá, Colombia.
- Gleick, P.H., 2016. Water strategies for the next administration. *Science*, 354: 555-556.
- Harrison, M., Jonhson, A., 2015. The Increasing Problem of Nutrient Runoff On The Coast. *American Scientist*, 103: 98-101.
- IPCS, 1996. Nitrates and nitrites. Chemical Safety Information from Intergovernmental Organizations (INCHEM), International Programme of Chemical Safety (IPCS). Accesible en: <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pimg016.htm>
- Isaak, D.J., Peterson, E.E., VerHoef, J.M., Wenger, S.J., Falke, J.A., Torgersen, C.E., Sowder, C., Steel, E.A., Fortin, M.J., Jordan, C.E., Ruesch, A.S., Som, N., Monestiez, P., 2014. Applications of Spatial Statistical Network Models to Stream Data. *Wiley Interdisciplinary Reviews (WIREs): Water*, 1: 277-294.

- IUCN, 1997. El agua y la dinámica de la población: enfoques locales a un desafío mundial. Primer Congreso Mundial para la Conservación. Montreal, Canadá. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN): Gland, Suiza, 34 p.
- Killpack, S.C., Buchholz, D., 1993. WQ252. Nitrogen Cycle. University of Missouri Extension. Accesible en: <http://extension.missouri.edu/p/WQ252>
- Lam, Q.D., Schmalz, B., Fohrer, N., 2011. The impact of agricultural Best Management Practices on water quality in a North German lowland catchment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 183: 351–379
- McDonald, J.H., 2008. Handbook of Biological Statistics. Sparky House Publishing, Baltimore (MD), EEUU.
- Oram, P.B. 2014. Phosphates in the Environment. Water Research Center (WRC) Dallas, EEUU. PA 18612
- Paerl, H., 2008. Chapter 10: Nutrient and other environmental controls of harmful cyanobacterial blooms along the freshwater-marine continuum. En: H.K.Hudnell (Ed.), *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs*. Springer Science+Business Media: New York, USA. pp. 217–237.
- Rodier, J., 1981. Análisis de las aguas. Editorial Omega: Barcelona. 1080 p.
- Stott, P., 2016. How climate change affects extreme weather events. *Science*, 352: 1517-1518.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2003. Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering Treatment and reuse*. 4th Edition. McGraw-Hill Education: Nueva York, EEUU. 1819 p.
- Thermo Scientific, 2010. Thermo Scientific OrionAQUAfast AQ3700 Colorimetry Meter. User Guide. Waltham (MA), EEUU: Thermo Fisher Scientific Inc. 264 p.
- TMIC, The Metabolomics Innovation Centre, 2017. Show in metabocard for Ammonium (HMDB0041827)
- Uchida, R., 2000. Chapter 3. Essential Nutrients from Plant Growth: Nutrient Functions and Deficiency Symptoms. En: J. A. Silva and R. Uchida (Eds.) *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa: Manoa (HI), EEUU. pp. 31-55

UN-Water 2012. Managing Water under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development Report 4, Volume 1. United Nations Water (UN-Water) inter-agency: Ginebra, Suiza. 68 p.

Unión Europea, 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial n° L 327 de 22/12/2000 p. 0001-0073

USEPA, 2006. Nitrates and Nitrites. Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health (TEACH). Chemical Summary. United States Environmental Protection Agency (USEA). Accesible en: <https://archive.epa.gov/region5/teach/web/html/index.html>

USU, 2017. Nitrate. Water quality. Utah State University. Logan, Estados Unidos de América. Disponible en: <https://extension.usu.edu/waterquality/whats-in-your-water/nitrate>

WHO, 1996. Ammonia in Drinking-water. Guidelines for drinking-water quality, World Health Organization (WHO). Geneva, Switzerland. Accesible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/ammonia.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/ammonia.pdf)

## 6.2 Recursos de internet

AEMET. Agencia Estatal de Meteorología. Gobierno de España. URL: <http://www.aemet.es> [Último acceso: 06/09/2017]

Agencia Europea de Medio Ambiente. URL: <https://www.eea.europa.eu/> [Último acceso: 04/09/2017]

EEA Glossary definitions. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/water/wise-help-centre/glossary-definitions> [Último acceso: 04/09/2017]

IGN. Instituto Geográfico Nacional. URL: [https://www.ign.es/espmap/contaminacion\\_bach.htm](https://www.ign.es/espmap/contaminacion_bach.htm) [Último acceso: 04/09/2017]

UNC. University of North Carolina. URL: <http://www.unc.edu/> [Último acceso: 06/09/2017]

UNICEF. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. URL: [https://www.unicef.org/spanish/wash/index\\_water\\_quality.html](https://www.unicef.org/spanish/wash/index_water_quality.html) [Último acceso: 04/09/2017]

USEPA. National Primary Drinking Water Regulations. United States Environmental Protection Agency (USEPA). URL: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations> [Último acceso: 06/09/2017]

USU. Utah State University Extension. Water quality. URL:  
<https://extension.usu.edu/waterquality/whats-in-your-water/nitrate> [Último acceso:  
06/09/2017]

