

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

GRADO EN INGENIERIA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO RURAL
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO
NATURAL



Influencia de la inundación invernal en la
biodiversidad y calidad del agua de los arrozales del
Parque Natural de la Albufera.

Trabajo Final de Grado

Curso académico 2017/2018

Alumno:

SALVADOR IBARRA GALBIS

Director/a académico:

GUILLERMO PALAU SALVADOR

ROSA VERCHER AZNAR

Valencia, junio 2018.

Datos del Proyecto

Título

Influencia de la inundación invernal en la biodiversidad y calidad del agua de los arrozales del Parque Natural de la Albufera.

Autor

Salvador Ibarra Galbis

Tutor

Guillermo Palau Salvador

Co-tutor

Rosa Vercher Aznar

Localidad y Fecha

Valencia, junio 2018.

Resumen

La inundación invernal de los campos de arroz es de gran importancia para el ecosistema del Parque Natural de la Albufera, puesto que durante esta época el parque alberga gran cantidad de aves de gran interés medio ambiental. Por lo que determinar el estado ecológico de las aguas es determinante, durante éste periodo de inundación, denominado "Perellonà". Sin embargo, debido a las diferentes procedencias de las aguas y su composición no es fácil de determinar. Tras el análisis de estudios anteriores y de diversos factores que pudieran afectar a la procedencia del agua durante esta inundación, se han distinguido dos zonas; una zona Norte que se inundaba por la EDAR de Pinedo hasta 2017 y una Sur que recibe aportes cada vez más escasos del río Júcar. La zona inundada ha disminuido en superficie y tiempo debido a la no utilización del agua de la estación de depuración de aguas residuales y de las transformaciones a riego localizado de la zona Sur y Oeste del lago.

Para el estudio de la calidad de las aguas, se han seleccionado distintos parámetros físico-químicos, químicos y microbiológicos, así como distintos índices bióticos y de diversidad de macroinvertebrados bentónicos, acorde con la Directiva Europea del Agua 2000/60/CE, que establece los indicadores biológicos para el estudio de la calidad de las masas de agua.

Este estudio ha caracterizado las diferencias obtenidas a lo largo del periodo invernal 2017/2018, en función de las dos zonas de muestreo. Se han observado diferencias significativas en función de la fecha de muestreo y la zona de procedencia del agua. Obteniéndose valores de baja calidad del agua, siendo la zona Norte de peor calidad que la Sur. En cuanto a los parámetros físico-químico y microbiológico también se observa una peor calidad del agua en la zona Norte. Se ha realizado un estudio del coste económico de la reutilización del agua de la EDAR de Pinedo para otros usos durante este periodo de inundación.

Este estudio se ha basado en un estudio previo del 2011, para así observar la posible evolución en el tiempo. Tras realizar la comparativa se observa un importante descenso en la calidad del agua y un aumento preocupante de la conductividad eléctrica.

Palabras clave

Albufera, macroinvertebrados bentónicos, calidad, parámetro.

Project Data

Title

Influence of the winter flood on the biodiversity and water quality of the rice fields of the Albufera Natural Park.

Author

Salvador Ibarra Galbis

Tutor

Guillermo Palau Salvador

Co-tutor

Rosa Vercher Aznar

Place and Data

Valencia, June 2018.

Abstract

Winter flooding of the rice fields is highly important for the ecosystem at the Albufera Natural Park, since in this season the Park hosts many bird species of great environmental interest. This is the reason why determining the ecological state of the waters in this flooding period, named "Perellonà" is a decisive factor. However, due to the different water procedences and composition, it is not an easy thing to determine. After the study of previous research, and other diverse factors that could affect the procedence of the water in this flooding, two areas have been distinguished; a Northern area which was flooded by the WWTS located in Pinedo until 2017, and a Southern area which gets increasingly scarce water contributions from the Júcar river. The flooded area has decreased, both in surface and time flooded, because the water coming from the WWTS was stopped being used, and because some areas South and West of the lake have been transformed from flooding to located irrigation.

For the water quality study, some physical-chemical, chemical and microbiological parameters have been selected, as well as different biotic and benthic macroinvertebrates indexes, according to the European Directive of the Water 2000/60/CE, which stablishes the biological indicators for the study of water bodies' quality.

This research has characterized the differences obtained through the Winter period of 2017/2018, according to the two sampling areas. Some significative differences have been found depending on the sampling date and the water procedence. Bad water quality parameters were obtained, being the northern area worse than the southern. Regarding physical-chemical and microbiological parameters, it is also observed a worse water quality in the northern area. An economical costs analysis of the WWTS water re-utilization was conducted, for other uses during the flooding period.

This research has been based on a previous research of 2011, to study a possible evolution in time. After comparing, a huge descense of the water quality and a worrying increase of electrical conductivity were observed.

Key Words

Albufera, benthic macroinvertebrate, quality, parameter.

| Dades del Projecte |
|---|
| Títol |
| Influència de la inundació hivernal a la biodiversitat i qualitat de l'aigua dels arrossars del Parc Natural de l'Albufera. |
| Autor |
| Salvador Ibarra Galbis |
| Tutor |
| Guillermo Palau Salvador |
| Co-tutor |
| Rosa Vercher Aznar |
| Localitat i Data |
| València, Juny 2018. |
| Resum |
| <p>La inundació hivernal dels camps d'arròs és de gran importància per a l'ecosistema del Parc Natural de l'Albufera, ja que durant aquesta època el parc alberga gran quantitat d'aus de gran interès mediambiental. Per que aquesta raó, determinar l'estat ecològic de les aigües és determinant, durant aquest període d'inundació, denominat "Perellonà". No obstant això, a causa de les diferents procedències de les aigües i la seua composició no és fàcil de determinar. Després de l'anàlisi d'estudis anteriors i de diversos factors que puguen afectar la procedència de l'aigua durant aquesta inundació, s'han distingit dos zones; una zona Nord que s'inundava per l'EDAR de Pinedo fins 2017 i una Sud que rep aportacions cada vegada més escasses del riu Xúquer. La zona inundada ha disminuït en superfície i temps a causa de la no utilització de l'aigua de l'estació de depuració d'aigües residuals i de les transformacions a reg localitzat de la zona Sud i Oest del llac.</p> <p>Per a l'estudi de la qualitat de les aigües, s'han seleccionat diferents paràmetres fisicoquímics, químics i microbiològics, així com diferents índex biòtics i de diversitat de macroinvertebrats bentònics, d'acord amb la Directiva Europea de l'Aigua 2000/60/CE, que estableix els indicadors biològics per a l'estudi de la qualitat de les masses d'aigua.</p> <p>Aquest estudi ha caracteritzat les diferències obtingudes al llarg del període hivernal 2017/2018, en funció de les dos zones de mostreig. S'han observat diferències significatives en funció de la data de mostreig i la zona de procedència de l'aigua. Obtenint valors de baixa qualitat de l'aigua, sent la zona Nord de pitjor qualitat que la Sud. Quant als paràmetres físic-químic i microbiològic també s'observa una pitjor qualitat de l'aigua a la zona Nord. S'ha realitzat un estudi del cost econòmic de la reutilització de l'aigua de l'EDAR de Pinedo per a altres usos durant aquest període d'inundació.</p> <p>Aquest estudi s'ha basat en un estudi previ del 2011, per així observar la possible evolució en el temps. Després de realitzar la comparativa s'observa un important descens en la qualitat de l'aigua i un augment preocupant de la conductivitat elèctrica.</p> |
| Paraules clau |
| Albufera, macroinvertebrats bentònics, qualitat, paràmetre. |

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. | EL PARQUE NATURAL DE LA ALBUFERA, VALENCIA..... | 1 |
| 1.1.1 | Dinámica de aguas de la Albufera..... | 2 |
| 1.2. | Indicadores de calidad de las aguas | 3 |
| 2. | JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS | 4 |
| 3. | TRABAJOS PREVIOS..... | 5 |
| 4. | MATERIAL Y MÉTODOS | 6 |
| 4.1. | Selección periodo de muestreo..... | 6 |
| 4.2. | Selección de la zona de muestreo | 6 |
| 4.3. | Localización de las parcelas | 7 |
| 4.4. | Metodología de muestreo..... | 7 |
| 4.4.1. | Muestreo de macroinvertebrados..... | 7 |
| 4.4.2. | Parámetros físico-químicos del agua | 9 |
| 4.5. | Índices bióticos | 11 |
| 4.5.1. | Índice IMN..... | 11 |
| 4.5.2. | Índices diversidad Simpson y Shannon-Weaver | 12 |
| 4.5.3. | Índice IBMWP | 13 |
| 4.5.4. | Índice QAELS | 14 |
| 4.6. | Análisis estadístico de los resultados | 15 |
| 5. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 16 |
| 5.1. | Macroinvertebrados bentónicos | 16 |
| 5.2. | Influencia de la variación en función de la fecha de muestreo..... | 18 |
| 5.2.1. | Índices bióticos y de diversidad..... | 18 |
| 5.2.2. | Parámetros Físico-Químicos..... | 20 |
| 5.3. | Influencia de la variación en función de la zona de muestreo e interacción entre factor fecha y zona..... | 25 |
| 5.3.1. | Índices bióticos y de diversidad..... | 25 |
| 5.3.2. | Parámetros Físico-Químicos..... | 27 |
| 5.4. | Influencia de la variación en función del estrato de muestreo e interacción entre los factores día-estrato y zona-estrato..... | 33 |
| 5.5. | Factores de influencia en la calidad de las aguas | 34 |
| 5.6. | Límites de calidad de agua | 35 |
| 6. | PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA DE LA EDAR DE PINEDO .. | 36 |

Influencia de la inundación invernal en la biodiversidad y calidad del agua de los arrozales del Parque Natural de la Albufera.

| | | |
|----|-------------------|----|
| 7. | CONCLUSIONES..... | 38 |
| 8. | BIBLIOGRAFÍA..... | 39 |

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Límites de la Albufera. Fuente: página web de la Albufera.
<http://www.albufera.com/parque/content/1%C3%ADmites-del-parque-natural> _____Página 1.
- Figura 2: Dinámica de aguas de la Albufera. Fuente: página web de la albufera.
<http://www.albufera.com/parque/content/din%C3%A1mica-de-aguas> _____Página 3.
- Figura 3: Ciclo anual del agua en la Albufera. Fuente: página web parques naturales GVA.
<http://www.parquesnaturales.gva.es/documents/80302883/162014201/Funcionamiento+h%C3%ADdrico.pdf/423ab471-eafb-40c3-9973-d8bf5b18411f> _____Página 6.
- Figura 4: Mapa de ubicación de las parcelas muestreadas de las zonas Norte y Sur-Oeste. _____Página 7.
- Figura 5: Muestreo con salabre. “dipping” y foto de limpieza en campo durante el muestreo. _____Página 8.
- Figura 6: análisis calidad de agua en campo. _____Página 11.
- Figura 7: Cálculo índice Simpson. (n_i =cantidad individuos especie; N =total individuos muestra). __Página 12.
- Figura 8: Cálculo índice Shannon-Weaver. _____Página 13.
- Figura 9: Fórmula cálculo valor ACCO índice QAELS. _____Página 14.
- Figura 10: Fórmula cálculo valor RIC índice QAELS. _____Página 14.
- Figura 11: Fórmula índice QAELS. _____Página 14.
- Figura 12: Trazado propuestas reutilización agua EDAR Pinedo. _____Página 37.

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-------------------|
| <i>Tabla 1: Valores medios de los índices de calidad del agua y diversidad durante el periodo invernal obtenidos en el estudio del 2011 de María Calera.</i> | <i>Página 5.</i> |
| <i>Tabla 2: Aparatos utilizados para la medida in situ de los parámetros fisicoquímicos.</i> | <i>Página 10.</i> |
| <i>Tabla 3: Valores límite para una buena calidad del agua de río.</i> | <i>Página 11.</i> |
| <i>Tabla 4: Rangos de calidad trófica según el IMN.</i> | <i>Página 12.</i> |
| <i>Tabla 5: Tabla calidad agua en función índice Shannon-Weaver.</i> | <i>Página 13.</i> |
| <i>Tabla 6: Tabla puntuación estado ecológico aguas índice IBMWP.</i> | <i>Página 13.</i> |
| <i>Tabla 7: Tabla rango valores índice QAELS.</i> | <i>Página 15.</i> |
| <i>Tabla 8: Abundancia de familias según la zona.</i> | <i>Página 16.</i> |
| <i>Tabla 9: Presencia/Ausencia de familias según las zonas o fechas de muestreo.</i> | <i>Página 17.</i> |
| <i>Tabla 10: Valores medios obtenidos para cada índice según la fecha de muestreo.</i> | <i>Página 19.</i> |
| <i>Tabla 11: Variación del índice Simpson en función del día.</i> | <i>Página 19.</i> |
| <i>Tabla 12: Variación del índice Shannon-Weaver en función del día.</i> | <i>Página 20.</i> |
| <i>Tabla 13: Valores medios para los parámetros físico-químicos en función del día de muestreo.</i> | <i>Página 20.</i> |
| <i>Tabla 14: Variación del pH en función del día.</i> | <i>Página 21.</i> |
| <i>Tabla 15: Variación del oxígeno disuelto en mg/l en función del día.</i> | <i>Página 21.</i> |
| <i>Tabla 16: Variación de la temperatura en función del día.</i> | <i>Página 22.</i> |
| <i>Tabla 17: Valores medios de los parámetros químicos en función del día de muestreo.</i> | <i>Página 22.</i> |
| <i>Tabla 18: Variación de los nitratos en función del día.</i> | <i>Página 23.</i> |
| <i>Tabla 19: Variación de los nitritos en función del día.</i> | <i>Página 23.</i> |
| <i>Tabla 20: Valores medios para los parámetros microbiológicos en función del día de muestreo.</i> | <i>Página 24.</i> |
| <i>Tabla 21: Variación coliformes totales en función del día.</i> | <i>Página 24.</i> |
| <i>Tabla 22: Variación coliformes intestinales en función del día.</i> | <i>Página 25.</i> |

Influencia de la inundación invernal en la biodiversidad y calidad del agua de los arrozales del Parque Natural de la Albufera.

- Tabla 23: Variación de los enterococos en función del día. _____Página 25.*
- Tabla 24: Valores medios obtenidos para cada índice según la zona de muestreo. _____Página 26.*
- Tabla 25: Variación del índice Simpson en función de la zona de muestreo. _____Página 26.*
- Tabla 26: Variación del índice Shannon-Weaver en función de la zona de muestreo. _____Página 27.*
- Tabla 27: Valores medios para los parámetros físico-químicos en función de la zona de muestreo. Página 28.*
- Tabla 28: Variación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en función de la zona de muestreo. _____
_____Página 28.*
- Tabla 29: Variación de la interacción del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en función del día y zona de muestreo. _____Página 28.*
- Tabla 30: Variación del oxígeno disuelto en función de la zona de muestreo. _____Página 29.*
- Tabla 31: Variación de la conductividad eléctrica en función de la zona de muestreo. _____Página 29.*
- Tabla 32: Variación de la temperatura en función de la zona de muestreo. _____Página 29.*
- Tabla 33: Variación de la interacción de la temperatura en función del día y zona de muestreo. _____Página 30.*
- Tabla 34: Variación de la interacción del pH en función del día y la zona de muestreo. _____Página 30.*
- Tabla 35: Valores medios para los parámetros químicos en función de la zona de muestreo. _____Página 31.*
- Tabla 36: Variación nitritos en función de la zona. _____Página 31.*
- Tabla 37: Variación de la interacción de los nitritos en función del día y la zona de muestreo. _____Página 31.*
- Tabla 38: Variación nitratos en función de la zona de muestreo. _____Página 32.*
- Tabla 39: Variación de la interacción de los nitratos en función del día y la zona. _____Página 32.*
- Tabla 40: Variación de la interacción de los fosfatos en función del día y la zona. _____Página 32.*
- Tabla 41: Valores medios para los parámetros químicos en función de la zona de muestro. _____Página 33.*
- Tabla 42: Variación enterococos en función de la zona de muestreo. _____Página 33.*
- Tabla 43: Gráfica multivariante de los parámetros químicos y microbiológicos en función de los factores zona, estrato y día. _____Página 34.*

Influencia de la inundación invernal en la biodiversidad y calidad del agua de los arrozales del Parque Natural de la Albufera.

Tabla 44: Gráfica multivariante de los índices de calidad y diversidad de agua y los parámetros físico-químicos en función de los factores zona y día. _____Página 35.

Tabla 45: Coste rebombeo en función de las distintas propuestas de utilización. _____Página 36.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL PARQUE NATURAL DE LA ALBUFERA, VALENCIA

El Parque Natural de la Albufera de Valencia, tiene una superficie de 21.000 hectáreas de superficie, es uno de los espacios naturales más representativos e interesantes de la Comunidad Valenciana. Se localiza a 15 kilómetros del extremo sur de la ciudad de Valencia y, constituye el mayor lago de la Península Ibérica.

El Parque Natural de la Albufera, pertenece en su mayoría al término municipal de Valencia, lindando con los términos de Alfafar, Albalat de la Ribera, Algemesi, Beniparrell, Massanassa, Catarroja, Albal, Silla, Sollana, Sueca, Sedavi y Cullera; por el este, la separa del Mediterráneo una franja arenosa de unos 1.200 metros de ancho de pinares y monte bajo conocida como la Dehesa de El Saler, que constituye el dique natural de la laguna.



Figura 1: Límites de la Albufera. Fuente: página web de la Albufera.

<http://www.albufera.com/parque/content/%C3%ADmites-del-parque-natural>

A través de esta Dehesa se abren los tres canales de desagüe o "golas" (El Pujol Nuevo, El Perellonet y El Perelló) que regulan el nivel de las aguas del lago y permiten la inundación de unas 18.000 hectáreas limítrofes al lago que se dedican al cultivo de arroz.

El arrozal es un sistema fundamental para la conservación de la riqueza biológica del parque puesto que sustenta una vegetación y fauna invertebrada que constituye la base trófica de numerosas especies de vertebrados, principalmente aves. El arrozal constituye un ambiente complementario al del lago como área de cultivo y vital durante el período invernal para los pasos migratorios de las aves.

En los últimos años, se ha convertido en una de las áreas más dinámicas de la Comunidad Valenciana, generando importantes conflictos con la conservación de este espacio natural. Los núcleos urbanos alrededor del lago han experimentado un fuerte

crecimiento (agrario, turístico o industrial) incrementando la contaminación sobre el espacio natural, principalmente del agua. Esto ha dado lugar a problemas ambientales importantes.

La Albufera fue declarado como Parque Natural por la Comunidad Valenciana, y también ha sido incluida como área de especial protección en el ámbito comunitario e internacional. Constituye desde abril de 1991 una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) según la Directiva Aves (79/409/CEE), está incluida desde mayo de 1990 en la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio Ramsar y posee hábitats y especies recogidos en la Directiva comunitaria conocida como "Hábitats" (92/43/CEE). También está recogida por el Protocolo de Ginebra, de 3 de abril de 1982, sobre zonas especialmente protegidas del Mediterráneo.

1.1.1 Dinámica de aguas de la Albufera

El ecosistema limnético de la Albufera es amplio y complicado, sobre todo por la influencia decisiva que representan las miles de hectáreas de marjal que circundan al lago. Se alimenta de un centenar de afluentes (barrancos, ramblas, canales, acequias, "sequiols") que recogen las escorrentías de una cuenca receptora de cerca de 920 Km². Además, hay un aporte de aguas de los "ullals" o afloramientos en las partes más profundas del centro del lago.

Al lago llegan anualmente 300 millones de metros cúbicos de agua (PHJ, 2014), de los que una décima parte aproximadamente se pierden por evaporación o desaguando por las golas del Perelló, Perellonet y Puchol Nuevo.

Puede considerarse de muy singular el régimen hidráulico de la Albufera, dado el aprovechamiento de sus aguas para el cultivo de las 18.000 hectáreas de arrozal que la circundan. El manejo de las golas, lo lleva a cabo la Junta de Gobierno de la Comunidad de Desagüe de la Albufera, al mismo tiempo que mantiene el nivel de las aguas para el cultivo del arroz, impide la entrada de agua del mar al interior del lago.

Como norma general, las compuertas se bajan el día 1 de noviembre para volverse a abrir el 1 de enero. Durante este período se alcanza el nivel máximo de la Albufera o Perellonà, ascendiendo el agua de 50 a 60 cm e inundándose las tierras colindantes con el lago. El día 1 de enero se abren las compuertas y comienza el desagüe natural de campos y acequias que se complementa a finales de febrero y principios de marzo, con la ayuda de motores y bombas.

Esta dinámica de aguas, con la inundación y la desecación de los campos de arroz, recogen insecticidas, herbicidas y abonos de los campos, que son arrastrados hasta el lago, el cual sirve de depósito de acumulación, provocando la contaminación de las aguas del lago. Diversos estudios han demostrado que la eutrofización varía a lo largo del año en el lago, y que los mejores niveles de clorofila-a y de visibilidad se obtienen entre los meses de abril a octubre debido al aumento de fertilizantes por el cultivo del arroz, que provocan un aumento de esta (Doña et al., 2014; del Barrio et al., 2011).

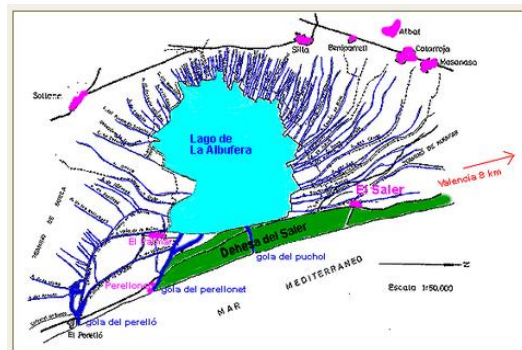


Figura 2: Dinámica de aguas de la Albufera. Fuente: página web de la albufera.
<http://www.albufera.com/parque/content/din%C3%A1mica-de-aguas>

1.2. Indicadores de calidad de las aguas

La calidad del agua se puede valorar utilizando indicadores físico-químicos y biológicos los cuales son evaluados tanto en conjunto como de forma individual.

Los estudios físico-químicos están basados en parámetros como el oxígeno disuelto, estado de nutrientes nitrógeno y fosforo, pH, temperatura, salinidad...

Los seres vivos son de gran importancia para la determinación del estado de los sistemas acuáticos, la Directiva Marco de las Aguas 2000/60/CE, establece los indicadores biológicos que determinan el estado de la masa de agua.

Los macroinvertebrados han sido uno de los grupos más empleados para la determinación de la calidad de las aguas. Estos son lo suficientemente grandes para ser observados a simple vista, una definición más concreta sería "aquellos organismos invertebrados habitantes, en algún momento de su ciclo vital, de hábitats acuáticos, y que son retenidos por mallas de luz entre 200 y 500 μm " (Rosenberg y Resh, 1993).

Estas comunidades presentan una gran variedad de rangos de tolerancia a las perturbaciones, por lo que para cualquier alteración habrá especies más o menos sensibles. Estas diferencias en la resistencia a las alteraciones han permitido el desarrollo de índices bióticos basados en la tolerancia de los diferentes taxones de macroinvertebrados a la contaminación o alteraciones del medio en el que habitan.

Para poder evaluar la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos ya sea cuantitativa o cualitativamente, se han utilizado en este trabajo diversos índices matemáticos propuestos y modificados según el lugar y metodología, estos son: índice QAELS, IMN, IBMWP, Simpson y Shannon-Weaver.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El trabajo surge de los cambios en la gestión de los recursos hídricos de los que se alimentan los arrozales del Parque Natural de la Albufera, estos son el hábitat más extenso y representativo del parque. Las aportaciones han variado a lo largo del tiempo, y desde 2017 ya no se utiliza agua de la EDAR de Pinedo para la inundación invernal, lo que ha provocado una disminución de la superficie inundada y de la duración de esta.

El objetivo principal del trabajo es el análisis de la calidad del agua tanto física, química y biológica de los campos de arroz durante el periodo denominado como la Perellonà, que se realiza en los meses de invierno, y de los canales que llevan agua directamente al lago. El análisis se divide en el estudio de la calidad del agua en función de la procedencia de esta, dividiendo así la Albufera en dos partes una Norte y otra Sur. Además, se pretende hacer una comparativa de los datos obtenidos en el trabajo con los obtenidos en un trabajo anterior realizado en el 2011 (Calera, 2011). Puesto que no se tienen estudios de si el cambio de procedencia del agua ha afectado a la calidad ecológica del agua.

Para el estudio se han tomado muestras desde diciembre hasta marzo una vez al mes, en 6 puntos situados tres en la parte Norte y tres en la parte Sur. En cada toma de muestras se realizaron muestras para:

1. Análisis de pH, conductividad eléctrica, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en agua, oxígeno disuelto en agua, temperatura y profundidad realizados in situ.
2. Abundancia y composición de la comunidad de macroinvertebrados y aplicación de índices de calidad de agua.
3. Análisis químico en laboratorio de nitratos, nitritos y fosfatos.
4. Análisis microbiológico en laboratorio de coliformes totales e intestinales y enterococos.

Para finalizar este estudio, se presentarán tres alternativas para la utilización del agua de la EDAR de Pinedo, que actualmente durante el periodo de inundación se vierte directamente al mar mediante un emisario submarino. Asimismo, se analizará el coste económico que supondría el rebombeo de esta agua durante el periodo de inundación, que es cuando no se utiliza esta agua para el parque natural de la Albufera.

3. TRABAJOS PREVIOS

En 2011, se realizó un estudio de características similares al presente trabajo y también en la Albufera. Fue realizado por una alumna de la Universidad Politécnica de Valencia, María Calera Picazo (Calera, 2011). En este caso se estudió el periodo invernal y estival, pero realizando tan solo una toma en cada periodo. A continuación, se muestra un resumen de los datos obtenidos durante el periodo invernal, puesto que es el que coincide con el realizado en este trabajo. Además, en el trabajo de María Calera se dividió el muestreo en tres zonas, una Norte "EDAR Pinedo", una del Centro "Lago" y una del Sur "Júcar", en función de las zonas de riego de los arrozales, para la comparativa solo se tendrán en cuenta las zonas Norte y Sur que son las que coinciden con las zonas estudiadas en este trabajo.

En el trabajo se realizó un muestreo de macroinvertebrados bentónicos, para posteriormente realizar un cálculo de índices de calidad de aguas y diversidad, se realizaron los cálculos de los índices IBMWP, IMN, Simpson y Shannon-Weaver. Obteniendo el valor medio de cada índice en función de la zona de muestreo.

| Zona | Índice | Valor |
|---------------------|----------------|-------|
| Norte "EDAR Pinedo" | IBMWP | 19,20 |
| Sur "Júcar" | IBMWP | 15,83 |
| Norte "EDAR Pinedo" | IMN | 32,40 |
| Sur "Júcar" | IMN | 35,75 |
| Norte "EDAR Pinedo" | Simpson | 3,03 |
| Sur "Júcar" | Simpson | 3,07 |
| Norte "EDAR Pinedo" | Shannon-Weaver | 1,77 |
| Sur "Júcar" | Shannon-Weaver | 1,85 |

Tabla 1: Valores medios de los índices de calidad del agua y diversidad durante el periodo invernal obtenidos en el estudio del 2011 de María Calera.

No se obtuvieron diferencias significativas para ninguno de los índices estudiados entre las dos zonas que se tienen en cuenta en este trabajo, sin embargo, en su trabajo sí que obtuvo diferencias con su tercera zona de muestreo (lago).

En cuanto a los parámetros físico-químicos estudió el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica del agua en ambas zonas, sin embargo, no obtuvo diferencias significativas para ninguno de los parámetros estudiados entre las zonas de muestreo. Los valores medios de temperatura fueron de 12°C, los valores medios de pH fueron de 8,38 y el valor medio de la conductividad eléctrica fue de 0,89 dS/m.

Se ha tenido en cuenta este trabajo puesto que es de características similares al que se va a realizar, y sirve de comparativa para observar la evolución de los parámetros estudiados a lo largo del tiempo. De esta manera se puede observar si la calidad del agua de la Albufera mejora o empeora con el tiempo. Esto es de gran importancia, puesto que como se ha mencionado en la introducción de este trabajo, el Parque Natural de la Albufera es un ecosistema de gran importancia cultural y medioambiental y debe preservarse por el bien de la biodiversidad.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Selección periodo de muestreo.

Durante un ciclo, de octubre a octubre, la Albufera sufre diferentes transformaciones de su ecosistema. De una inundación invernal de la Marjal, pasa en verano a un medio agrícola de monocultivo del arroz. Mediante la utilización de teledetección, con imágenes satélites se puede observar la variación que sufre la Albufera durante el ciclo.



Figura 3: Ciclo anual del agua en la Albufera. Fuente: página web parques naturales GVA.

<http://www.parquesnaturales.gva.es/documents/80302883/162014201/Funcionamiento+h%C3%ADdrico.pdf/423ab471-eafb-40c3-9973-d8bf5b18411f>

Se ha seleccionado el periodo de muestreo en invierno debido a la anteriormente mencionada “Perellonà”, en la cual inundan el 1 de octubre los campos colindantes con la laguna, mediante el cierre de las “golas”. En este periodo no existe actividad agrícola, y las parcelas permanecen inundadas durante unos cuatro meses. Esto se realiza con el fin de la conservación y uso racional del humedal.

4.2. Selección de la zona de muestreo

El criterio seguido para la elección de las parcelas a muestrear ha sido en función de la procedencia de las aguas de inundación. Hasta 2017 se utilizaba el agua de la depuradora de Pinedo para realizar esta inundación, pero desde el invierno 16/17 no se realiza, por lo que toda el agua procede del lago. El agua se obtiene mediante el cierre de las “golas”, que provocan un aumento de la altura del lago y así se inundan los campos colindantes denominados “tancats”. Tras la no utilización del agua de la depuradora, la superficie inundada ha sufrido una importante disminución, estudios han cifrado que la superficie de inundación del invierno 16/17 fue 80km² mientras que años anteriores era de 120 km² (Genco, 2018). Por lo que se ha decidido seleccionar dos zonas de muestreo una zona Norte y una zona Sur para observar si hay diferencias.

4.3. Localización de las parcelas

La elección de las parcelas una vez elegidas las zonas de muestreo se realizó de manera más o menos aleatoria, en función de las dos zonas seleccionadas y teniendo en cuenta que se mantuviesen inundadas el mayor tiempo posible para poder realizar la recogida de muestras durante el máximo tiempo posible. Además, se tuvo en cuenta que cada parcela estuviera a una distancia distinta del lago.



Figura 4: Mapa de ubicación de las parcelas muestreadas de las zonas Norte y Sur-Oeste.

Se realizaron 4 muestreos durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, realizando un muestreo al mes. Se eligieron 3 parcelas en cada una de las zonas, y un canal junto a una de las parcelas, el canal se encuentra en la “toma 2” de cada una de las zonas, este canal va directo al lago por lo que es de gran importancia conocer la calidad del agua que llega directamente a la Albufera. En el anejo 1 se muestran las coordenadas de las parcelas elegidas y un mapa con la ubicación de cada una de ellas. En el muestreo de marzo los campos se encontraban secos por lo que se realizó el muestreo de los canales solo, se analizaron los parámetros químicos y microbiológicos.

4.4. Metodología de muestreo

4.4.1. Muestreo de macroinvertebrados

El muestreo se realizó según la Normativa Europea publicada en 1995 EN 27828:1995 “Calidad del agua. Métodos de muestreo biológico. Guía para el muestreo manual con red de macroinvertebrados bénticos.” (ISO 7828:1985). En la cual especifica los procedimientos a seguir para el muestreo en campo y en el laboratorio.

4.4.1.1. Tratamiento de muestras en campo

Para el muestreo se utilizó una red de 250 μm de luz y una abertura de 200 mm. Realizando el método del “dipping”, que consiste en realizar pasadas con la red de muestreo con un recorrido de bajada seguido de un recorrido de aproximadamente 1 m cerca del fondo y subiendo hasta la superficie. Se realizaba en 3 puntos representativos de cada parcela. Y realizando una muestra conjunta de las 3 submuestras.

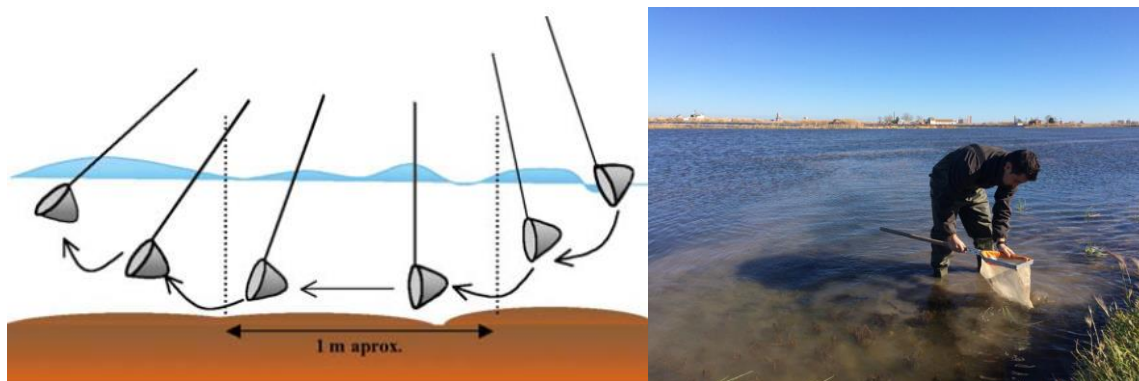


Figura 5: Muestreo con salabre. “dipping” y foto de limpieza en campo durante el muestreo.

En campo una vez recogidas las muestras se realizaba una limpieza, con la finalidad de extraer restos grandes de macrófitos o microalgas, este material era examinado para no desprender organismos que estuvieran adheridos a los materiales extraídos. Las muestras se etiquetaban con el nombre del lugar de muestreo y la fecha de toma de muestras.

4.4.1.2. Tratamiento de muestras en laboratorio

Una vez recogidas las muestras en campo se llevaban al laboratorio para examinarlas. Si las muestras no se examinaban el mismo día de la recogida, se conservaban en frigorífico a una temperatura de 4°C para evitar su deterioro y poder realizar el trabajo en laboratorio correctamente. Se limpiaban colocando las muestras sobre bandejas blancas y separando los macroinvertebrados en placas petri. Una vez separados en placas petri se colocaban bajo el binocular y se anotaba la información de los organismos observados indicando nombre de la muestra y fecha del muestreo. Se identificaban y contabilizaban los individuos de la muestra a nivel de género y familia, y si era posible especie.

Las calves a las que se recurrió durante la fase de identificación en el laboratorio fueron:

- Invertebrés déau douce systématique ecologique. Henri Tachet. CNRS. Editions 2003.
- Atlas fotográfico de los invertebrados acuáticos de la cuenca del río Júcar en la provincia de Albacete. Juan Rueda, Ramón Hernández. Instituto de estudios Albacetenses “Don Juan Manuel”. Diputación de Albacete. 2009.

4.4.1.3. Material utilizado para el muestreo

- Equipo de protección personal en campo:
 - Vadeador de pescador.
 - Guantes de látex.
- Equipo para la recolección de muestras:
 - Red.
 - Botes de plástico con tapón hermético.
 - Rotulador permanente para marcar etiquetas.
 - Libreta y bolígrafo.
- Equipo para el tratamiento en el laboratorio:
 - Guantes.
 - Fregadero.
 - 3 bateas blancas de plástico.
 - Placas Petri.
 - Pinzas entomológicas.
 - Guías de identificación.
 - Frigorífico y congelador.

4.4.2. Parámetros físico-químicos del agua

Además del muestreo de macroinvertebrados, se realizaba un análisis de la calidad del agua. Se extraían dos muestras de agua por punto de muestreo, una para realizar el análisis en campo y otra para el análisis en laboratorio, estas muestras eran un conjunto de submuestras tomadas por 3 puntos del campo de muestreo.

Las muestras de agua para el análisis en laboratorio se recogían en botellas de 2 litros y se transportaban refrigeradas hasta el laboratorio, donde se conservaban a 4°C hasta su análisis químico y microbiológico, en un plazo inferior a 24 horas. El análisis químico del agua, consistía en analizar la cantidad de nitratos, nitritos y fosfatos del agua, y el análisis microbiológico trataba de analizar la cantidad de coliformes totales, coliformes intestinales y enterococos.

Los coliformes totales incluyen una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes capaces de proliferar en presencia de concentraciones altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35-37°C. Pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución, así como la posible presencia de biopelículas (OMS, 2006). En la legislación española no se admite su presencia como criterio de calidad para el agua potable.

En la mayoría de las aguas el coliforme intestinal mayoritario es *Escherichia. E.coli* se distingue de los demás coliformes por su capacidad para producir indol a partir de triptófano. Son bacterias de origen fecal, y tienen interés clínico puesto que pueden ser

capaces de generar infecciones en el tracto respiratorio superior e inferior, infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas (Moore et al, 2002).

Los enterococos incluyen especies del género *Streptococcus* y son un subgrupo del grupo más amplio de los estreptococos fecales. Como los coliformes intestinales, pueden generar graves enfermedades al ser humano. Una ratio mayor a 4 es considerado indicativo de contaminación fecal humano, una ratio menor a 0,7 sugiere contaminación por una fuente no humana (APHA, 1995). Hay concentraciones altas de enterococos intestinales en las aguas residuales y en medios acuáticos contaminados por aguas residuales o por residuos humanos o animales (OMS, 2006).

Con la otra muestra de agua se realizaba un análisis in situ en campo con el equipo necesario, los parámetros analizados fueron:

- pH
- Temperatura (°C)
- Conductividad eléctrica (25°C) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{l}$)
- Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (%)
- Profundidad (cm)

Estos valores son representativos para conocer el estado de la calidad del agua. Los aparatos utilizados para esta medida de valores en campo aparecen en la tabla 2:

| Parámetro | Unidades | Aparato |
|-----------------------------------|--------------------------|---|
| pH | - | pH/mV & Ion/pH Meter series. Eutech instruments. |
| Conductividad | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | Hand-held conductivity/TDS Meter. Con 6/TDS 6 Eutech instruments. |
| T ^a | °C | Los 3 aparatos miden este parámetro. |
| Concentración de oxígeno disuelto | $\text{mg O}_2/\text{l}$ | DO 6 Economy Hand-held Dissolved Oxygen. Eutech instruments. |
| Porcentaje de saturación | % | DO 6 Economy Hand-held Dissolved Oxygen. Eutech instruments. |

Tabla 2: Aparatos utilizados para la medida in situ de los parámetros fisicoquímicos.



Figura 6: análisis calidad de agua en campo.

En la tabla 11 de las instrucciones de planificación hidrológica del BOE (BOE, 2008), se establecen los límites para una buena calidad de agua (tabla 3).

| Límite para el buen estado del agua de río | |
|--|---------------------------|
| Oxígeno disuelto | >5mg/l |
| Tasa de saturación de Oxígeno | 60%<X>120% |
| pH | 6<X>9 |
| Nitrato | <25mg/l NO ₃ |
| Amonio | <1mg/l NH ₄ |
| Fósforo total | <0,4 mg/l PO ₄ |

Tabla 3: Valores límite para una buena calidad del agua de río.

4.5. Índices bióticos

En el trabajo se realizó un análisis del estado ecológico del agua mediante el uso de índices bióticos, se calcularon el IMN, el IBMWP y el QAELS e índices de diversidad Simpson y Shannon-Weaver. Se han utilizado estos, puesto que son complementarios unos a otros y proporcionan información sobre la calidad de las aguas desde diferentes perspectivas.

4.5.1. Índice IMN

Las siglas IMN significan “Índice del Modo de Nutrición” (Rueda et al., 2005). Este índice se basa en la evaluación de la calidad de la estructura trófica de las comunidades de macroinvertebrados de todos los sistemas acuáticos. Trata de clasificar los organismos según su modo de nutrición. Por lo que cuanto más heterogéneo sea el ambiente en cuanto al modo de nutrición mayor será la diversidad de invertebrados. Este índice exige llegar en la clasificación hasta el nivel de familia, para poder realizar la agrupación.

Este método se calcula clasificando los individuos según su modo de alimentación y en función del porcentaje que haya de cada tipo se obtiene un valor positivo cuando se obtiene un alto número de grupos nutricionales y otro negativo cuando se obtiene un elevado porcentaje de un mismo grupo la diferencia entre ambos indicará el valor del IMN. En el anejo 2 se muestra la tabla con el modo de nutrición de cada individuo.

| Valor IMN | Clase | Color | Significado |
|-----------|-------|----------|--|
| Más de 70 | I | Azul | Red trófica muy diversificada. Medio saludable. |
| 55 a 69 | II | Verde | Red trófica diversificada. Medio con tendencia al estrés. |
| 40 a 54 | III | Amarillo | Red trófica poco diversificada. Medio estresado. |
| 20 a 39 | IV | Naranja | Red trófica simplificada. Medio muy estresado. |
| 0 a 19 | V | Rojo | Red trófica muy simplificada. Medio fuertemente estresado. |

Tabla 4: Rangos de calidad trófica según el IMN.

4.5.2. Índices diversidad Simpson y Shannon-Weaver

Una alternativa al estudio de la presencia de “especies indicadoras” para conocer el estado o calidad de las aguas, es la utilización de la estructura de la comunidad en términos de su diversidad (Tanago y García, 1984). Es por ello que las medidas de diversidad se han utilizado para detectar la contaminación (Alba-Tercedor y Sánchez, 1988). Los índices de diversidad incorporan en un valor la riqueza y abundancia de las especies. En este trabajo se han calculado los más ampliamente utilizados en ecología, los índices de Simpson y Shannon-Weaver.

4.5.2.1. Índice Simpson

Fue el primer índice usado en ecología, 1949. Se deriva de la teoría de la probabilidad y mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos muestras sucesivas al azar. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes y da un peso mayor a las especies abundantes subestimando las especies raras (Magurran, 1988; Peet, 1974).

$$S_{iD} = 1 - \sum p_i^2 = 1 - D_{Si} \quad p_i = \frac{n_i}{N}$$

Figura 7: Cálculo índice Simpson. (n_i =cantidad individuos especie; N =total individuos muestra).

4.5.2.2. Índice Shannon-Weaver

Se basa en la teoría de la información, es el índice más frecuentemente utilizado en ecología de comunidades. H' mide el contenido de información por individuo en las muestras, pero también se puede considerar como una media de la incertidumbre para predecir a que especie pertenecerá un individuo elegido al azar de una muestra (índice de Shannon-Weaver, 1949).

$$H' = -\sum \left(\frac{n_i}{N} * \log_2 \frac{n_i}{N} \right)$$

Figura 8: Cálculo índice Shannon-Weaver.

Existe una relación entre el índice de Shannon-Weaver y la calidad del agua (Margalef, 1993).

| H' | Calidad del agua |
|-------|---------------------------|
| >3 | Limpia |
| 3>x>1 | Moderadamente polucionada |
| <1 | Fuertemente polucionada |

Tabla 5: Tabla calidad agua en función índice Shannon-Weaver.

4.5.3. Índice IBMWP

Este índice es una adaptación para la Península Ibérica del BMWP (Hellowell, 1978), se utilizó el IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party), es uno de los índices más empleado y que mejores resultados da. Este índice requiere identificaciones solo hasta el nivel de familia (Alba-Tercedor et al., 2005).

Una vez procesadas y analizadas las muestras se anotan las familias y se asignan las puntuaciones correspondientes según una tabla de valores (anejo 3) y se van sumando hasta obtener un valor final, que será el valor del índice IBMWP. Con esta puntuación se determinará el estado ecológico del agua, con la ayuda de la siguiente tabla que indica el rango de puntuación para diferentes grados establecidos de contaminación del agua.

| Estado ecológico | Calidad | IBMWP |
|----------------------|--|--------|
| Muy bueno | Buena. Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible | >101 |
| Bueno | Aceptable. Son evidentes algunos efectos de contaminación | 61-100 |
| Aceptable (Moderado) | Dudosa. Aguas contaminadas | 36-60 |
| Deficiente | Critica. Aguas muy contaminadas | 16-35 |
| Malo | Muy crítica. Aguas fuertemente contaminadas | <15 |

Tabla 6: Tabla puntuación estado ecológico aguas índice IBMWP.

4.5.4. Índice QAELS

Las siglas QAELS hacen referencia a Índex de Qualitat de l'Aigua d'Ecosistemes Lenítics Soms. Este índice fue elaborado para la determinación del estado ecológico de los sistemas lagunares someros de Cataluña (ACA, 2004). Reúne aspectos de riqueza taxonómica con otros de abundancia.

El índice está compuesto por dos cálculos, ACCO (basado en la abundancia de cladóceros, copépodos y ostrácodos) y RIC (basado en la riqueza de insectos y crustáceos).

$$ACCO = \sum_{i=1}^j k_i \times n_i \quad n_i = N_i \div N_{tot}$$

i = taxones indicadores

j = número de taxones indicadores

n_i = abundancia relativa del taxón i

N_i = abundancia del taxón i

N_{tot} = suma de la abundancia de los taxones indicadores

k_i = valor de calidad del taxón i (se obtiene del análisis de PCA)

Figura 9: Fórmula cálculo valor ACCO índice QAELS.

El valor de k_i es un valor indicador de cada taxón, en función de la tipología de la zona húmeda. Para este trabajo se ha elegido la zona húmeda de agua dulce temporal "Dolces temporànies" en el anejo 4 se muestra la tabla de la cual se han extraído los valores. Se ha elegido esta zona húmeda porque el agua no está estancada permanentemente en los campos, sino que permanece estancada durante la "Perellonà".

$$RIC = N^{\circ} \text{ géneros de crustáceos} + N^{\circ} \text{ géneros de formas} \\ \text{adultas de coleópteros y heterópteros} + N^{\circ} \text{ familias de larvas} \\ \text{y pupas de insectos}$$

Figura 10: Fórmula cálculo valor RIC índice QAELS.

Para el valor RICC solo es necesario contar el número de familias distintas de insectos y crustáceos.

Una vez calculados estos dos valores, se procede a calcular el valor del índice QAELS, con la siguiente fórmula:

$$QAELS = (ACCO + 1) * \log(RIC + 1)$$

Figura 11: Fórmula índice QAELS.

Una vez obtenido el valor se comparará con la tabla del rango de valores predeterminados (tabla 7), y en función del valor obtenido en la muestra obtendremos un estado ecológico del agua.

| Rangos de la clase de calidad | Significado |
|-------------------------------|------------------------|
| QAELS>8 | I: Calidad muy buena |
| 6< QAELS<8 | II: Calidad buena |
| 4< QAELS<6 | III: Calidad mediocre |
| 2< QAELS<4 | IV: Calidad deficiente |
| QAELS<2 | V: Calidad mala |

Tabla 7: Tabla rango valores índice QAELS.

4.6. Análisis estadístico de los resultados

Una vez obtenidos los resultados se realizó un análisis estadístico de estos mediante ayuda del programa informático STATGRAPHICS versión CENTURION XVII. II (Statgraphics Centurion, 2013). Con un análisis de la varianza (ANOVA) simple y multifactorial se realizó la comparativa de los parámetros, para así determinar las diferencias significativas entre las fechas de muestreo, las dos zonas de muestreo y el estrato en el cual se realizó el muestreo, así como, la posible interacción entre estos parámetros. Además, se realizó un análisis multivariante para estudiar cuales son los parámetros más influyentes en la calidad de las aguas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tanto en el estudio de macroinvertebrados como en el de parámetros físico-químicos, tan solo se realizaron toma de muestras en diciembre, enero y febrero, puesto que se realizaban solo en el estrato “campo”, y en el mes de marzo los campos se encontraban secos, por lo que no se pudo realizar el muestreo. Mientras que, para los parámetros químicos y microbiológicos, sí que se tomaron muestras el mes de marzo, pero en este caso solo de los canales. A finales de febrero principios de marzo se produjeron lluvias importantes en las zonas de muestreo.

5.1. Macroinvertebrados bentónicos

La Directiva Marco del Agua establece que los indicadores biológicos son los que determinan el estado del agua tanto en el estudio de comunidades acuáticas, como de su relación con la calidad del agua. Fundamentalmente en este trabajo los indicadores biológicos han sido los macroinvertebrados bentónicos. Variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación (Alba-Tercedor, J. 1996).

Los macroinvertebrados bentónicos son los organismos que más ventajas presentan como indicadores biológicos. En la tabla 9, se muestran las diferentes familias encontradas durante el muestreo en función de las distintas zonas y los días de muestreo.

Se han registrado un total de 19 familias distintas durante todo el muestro, dentro de 16 órdenes, 9 clases y 4 phylum (tabla 9). Con un total de 27441 macroinvertebrados registrados. Las familias más abundantes son *Daphniidae* (52,6%), *Cyclopidae* (37,2%), *Candonidae* (7,2%) y luego con valores muy inferiores pero representativos *Bithyniidae* (1,06%), *Chironomidae* (0,86%) y *Tubificidae* (0,74%). El resto de familias presentan valores entre el 0,1 y el 0,003%.

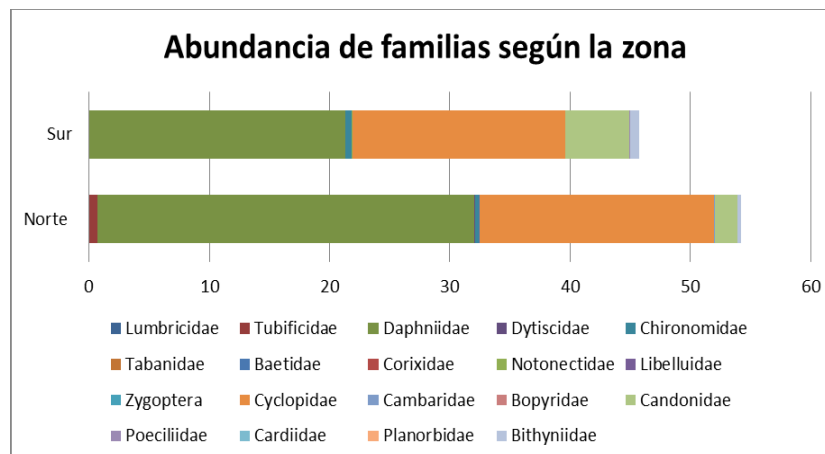


Tabla 8: Abundancia de familias según la zona.

| Phylum | Clasificación | | | Zonas | | Días | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------------|-----|------------|------------|------------|
| | Clase | Orden | Familia | Norte | Sur | 19/12/2017 | 16/01/2018 | 13/02/2018 |
| Annelida | Oligochaeta | Haplotaxida | Lumbricidae | | x | x | | |
| | | Tubificida | Tubificidae | x | x | | | x |
| Arthropoda | Branchiopoda | Cladocera | Daphniidae | x | x | x | x | x |
| | | Coleoptera | Dytiscidae | x | | | x | |
| | Insecta | Diptera | Chironomidae | x | x | x | x | x |
| | | | Tabanidae | | x | x | | |
| | | Ephemeroptera | Baetidae | x | x | x | x | x |
| | | Hemiptera | Corixidae | x | | | x | |
| | | | Notonectidae | | x | | | x |
| | | Odonata | Libellulidae | x | x | | | x |
| | Zygoptera | | x | | | x | x | |
| | Maxillopoda | Cyclopoida | Cyclopidae | x | x | x | x | x |
| | Malacostraca | Decapoda | Cambaridae | x | x | x | x | x |
| | | Isopoda | Bopyridae | x | | x | | |
| | Ostracoda | Podocopida | Candonidae | x | x | x | x | x |
| | Chordata | Actinopterygii | Cyprinodontiformes | Poeciliidae | x | x | | |
| Mollusca | Bivalvia | Veneroida | Cardiidae | | x | x | | x |
| | Gastropoda | Hygrophila | Planorbidae | x | x | x | x | |
| | | Littorinimorpha | Bithyniidae | x | x | x | x | x |

Tabla 9: Presencia/Ausencia de familias según las zonas o fechas de muestreo.

No se han obtenido diferencias entre la zona Norte (15) y la Sur (15) en cuanto al número de familias, pero sí que hay una diferencia en las familias de cada zona. Respecto a los días de muestreo, se observa que el primer y último día hay un mayor número de familias (13) mientras que en el segundo día desciende (11) pero sin gran importancia.

En la zona Sur se registraron 12560 individuos de 15 familias distintas, las familias más importantes de esta zona respecto del total de individuos registrados, son *Daphniidae* (21,3%), *Cyclopidae* (17,7%), *Candonidae* (5,35%) y en menor medida *Bithyniidae* (0,75%). Mientras que en la zona Norte el número de individuos registrados fue de 14881, siendo las familias más representativas respecto del total de individuos registrados en todos los muestreos, *Daphniidae* (31,34%), *Cyclopidae* (19,5%), *Candonidae* (1,86%) y en mejor cantidad *Tubificidae* (0,73%).

Se observa que las familias dominantes en ambas zonas son las mismas, puesto que son muy tolerantes a la contaminación. Tras realizar un análisis de la varianza para observar si existen diferencias significativas entre las dos zonas en cuanto al número de familias, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas (ANOVA: $F=0.6$; $g.l.=1,14$; $P=0.45$).

Hay que mencionar que se contabilizaron 7 individuos, 5 en la zona Norte y 2 en la zona Sur, de la familia *Poeciliidae*, especie *Gambusia Hoolbrooki* (Girard, 1859). Esta especie fue introducida en el Parque Natural de la Albufera para el control de quironómidos (Vidal et al., 2009). Además, cabe destacar que en la zona Sur se encontraron 2 ejemplares de la familia *Cardiidae*, especie *Cerastoderma edule*, identificados por el experto en moluscos Sergio Quiñonero. Se trataban de ejemplares juveniles de esta familia, y son una especie que vive en aguas salobres, su aparición puede suponerse al aumento de la conductividad eléctrica del agua.

Respecto al trabajo previo del 2011, se han encontrado un mayor número de familias puesto que en el 2011 se encontraron 13 familias distintas (Calera, 2011), esta diferencia se debe a que en el trabajo previo no se calculó el índice QAELS que tiene en cuenta las familias *Daphniidae*, *Cyclopidae* y *Candonidae* que en este trabajo sí que se han tenido en cuenta. El resto de familias son prácticamente las mismas, obteniéndose una mayor cantidad de *Chironomidae*. También, se encontraron individuos de *Gambusia Hoolbrooki* pero en mayor cantidad, y no se encontraron individuos de *Cerastoderma edule*, esto puede deberse al gran aumento de la conductividad eléctrica, que en la actualidad sí que permita un hábitat adecuado para la especie.

5.2. Influencia de la variación en función de la fecha de muestreo.

5.2.1. Índices bióticos y de diversidad.

Los índices bióticos y diversidad expresan la presencia y abundancia de ciertas especies indicadoras de la calidad de las aguas, ponderando estas últimas según su tolerancia a la contaminación orgánica (Tanago y García, 1984). Se han utilizado tres índices de calidad del agua QAELS, IMN, IBMWP y dos índices de diversidad Simpson y Shannon-Weaver. En este punto se van a estudiar las diferencias obtenidas en función de la fecha de muestreo. Para obtener estas diferencias se ha realizado un análisis estadístico simple y multifactorial para observar si existen diferencias significativas según la fecha de muestro.

Valores medios obtenidos para cada índice en función del tiempo:

| Factor | Índice | Valor Medio | Calidad |
|------------|----------------|-------------|---------------------------|
| 19/12/2017 | QAELS | 2,08333 | Deficiente |
| 16/01/2018 | QAELS | 2,14167 | Deficiente |
| 13/02/2018 | QAELS | 2,505 | Deficiente |
| 19/12/2017 | IMN | 25 | Muy estresado |
| 16/01/2018 | IMN | 26,3333 | Muy estresado |
| 13/02/2018 | IMN | 24,6667 | Muy estresado |
| 19/12/2017 | IBMWP | 14,8333 | Muy crítica |
| 16/01/2018 | IBMWP | 14,3333 | Muy crítica |
| 13/02/2018 | IBMWP | 14,3333 | Muy crítica |
| 19/12/2017 | Simpson | 0,481667 | |
| 16/01/2018 | Simpson | 0,596667 | |
| 13/02/2018 | Simpson | 0,533333 | |
| 19/12/2017 | Shannon-Weaver | 1,135 | Moderadamente polucionada |
| 16/01/2018 | Shannon-Weaver | 1,47833 | Moderadamente polucionada |
| 13/02/2018 | Shannon-Weaver | 1,38667 | Moderadamente polucionada |

Tabla 10: Valores medios obtenidos para cada índice según la fecha de muestreo.

En ninguno de los índices de calidad del agua (QAELS, IMN, IBMWP) se han obtenido diferencias significativas con respecto a las fechas de muestreo (ANOVA QAELS: $F=0.78$; g.l.=2, 14; $P=0.48$), (ANOVA IMN: $F=0.42$; g.l.=2,14; $P=0.66$), (ANOVA IBMWP: $F=0.02$; g.l.=2, 14; $P=0.98$). Sin embargo, para los dos índices de diversidad tanto Simpson como Shannon-Weaver se han obtenido diferencias significativas respecto a las fechas de muestreo (ANOVA Simpson: $F=9.98$; g.l.=2, 14; $P=0.003$), (ANOVA Shannon-Weaver: $F=14.38$; g.l.=2, 14; $P\leq 0.001$). En el índice Simpson se observa diferencia en el valor de muestreo entre el primer y segundo día, mientras que entre los valores del primer y último muestreo no hay diferencias significativas, ni entre el segundo y tercer día, siendo el segundo día el que mayor valor tiene "16/01/2018".

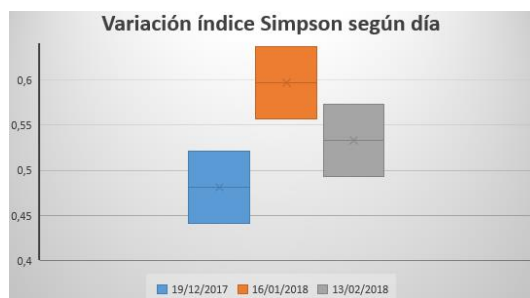


Tabla 11: Variación del índice Simpson en función del día.

En el índice Shannon-Weaver se observan diferencias entre el primer día con respecto al segundo y tercero. El día "19/12/2017" presenta el valor más bajo, mientras que los valores de los otros dos días son similares entre ellos y mayores al del primer día de muestreo.

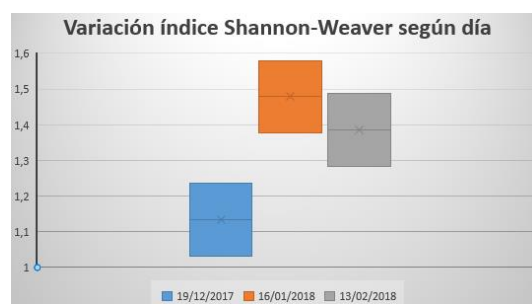


Tabla 12: Variación del índice Shannon-Weaver en función del día.

Por lo que se puede llegar a la conclusión que hay diferencias significativas en cuanto a la diversidad a lo largo del periodo de muestreo, pero no hay diferencias en cuanto a los índices de calidad del agua.

5.2.2. Parámetros Físico-Químicos.

Los parámetros físico-químicos explicados en el apartado 3.4.2 de este mismo trabajo, se han analizado mediante un análisis multifactorial de la varianza y un análisis simple de la varianza. Los valores medios para cada día de muestreo se observan en la tabla 13.

| Día | Parámetro | Valor | Unidades |
|------------|--|--------|----------|
| 19/12/2017 | pH | 7,36 | - |
| 16/01/2018 | pH | 7,98 | - |
| 13/02/2018 | pH | 8,07 | - |
| 19/12/2017 | Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto | 101,17 | % |
| 16/01/2018 | Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto | 93,02 | % |
| 13/02/2018 | Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto | 86,13 | % |
| 19/12/2017 | Oxígeno disuelto | 17,94 | mg/l |
| 16/01/2018 | Oxígeno disuelto | 15,57 | mg/l |
| 13/02/2018 | Oxígeno disuelto | 9,7 | mg/l |
| 19/12/2017 | Temperatura | 11,96 | °C |
| 16/01/2018 | Temperatura | 10,8 | °C |
| 13/02/2018 | Temperatura | 9,7 | °C |
| 19/12/2017 | Conductividad eléctrica | 2,62 | dS/m |
| 16/01/2018 | Conductividad eléctrica | 3,29 | dS/m |
| 13/02/2018 | Conductividad eléctrica | 3,03 | dS/m |
| 19/12/2017 | Profundidad | 43,33 | cm |
| 16/01/2018 | Profundidad | 51,67 | cm |
| 13/02/2018 | Profundidad | 35,83 | cm |

Tabla 13: Valores medios para los parámetros físico-químicos en función del día de muestreo.

En cuantos a los parámetros físico-químicos que son el pH, la temperatura, el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el oxígeno disuelto (mg/l), la profundidad y la conductividad eléctrica. Las variaciones resultan significativas respecto al factor fecha para el pH, el oxígeno disuelto (mg/l) y la temperatura. Mientras que para los otros factores las diferencias no han resultado significativas para las diferentes fechas de muestreo.

Para la variable pH, las diferencias se observa un ascenso del pH conforme avanza el periodo de muestreo, la diferencia se observa solo en el primer día con valor inferior al de los otros dos días de toma de muestras (ANOVA: $F=15.51$; g.l.=2, 14; $P\leq 0.001$).

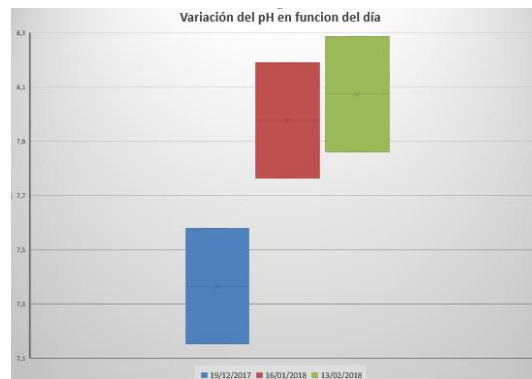


Tabla 14: Variación del pH en función del día.

La variable oxígeno disuelto (mg/l), también ha resultado significativa para el factor día. Sin embargo, en este caso la diferencia se observa en el último día en la cual el valor es inferior al de los otros dos días (ANOVA: $F=14.42$; g.l.=2, 14; $P\leq 0.001$).

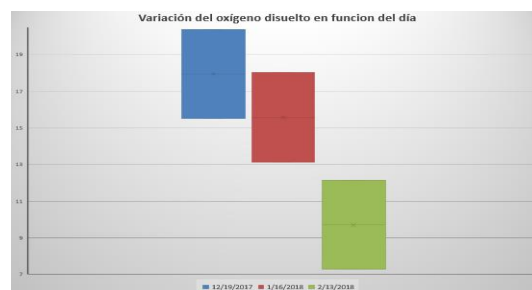


Tabla 15: Variación del oxígeno disuelto en mg/l en función del día.

La otra variable significativa es la temperatura, en la cual se observan diferencias significativas entre todos los días, reduciéndose la temperatura del agua conforme avanza el invierno (ANOVA: $F=20.98$; g.l.=2, 14; $P\leq 0.001$).

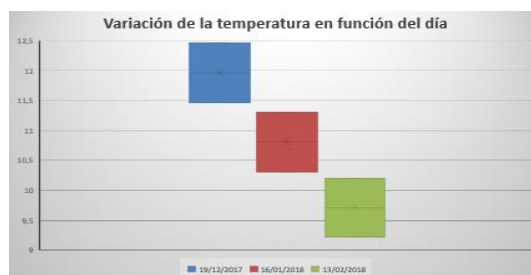


Tabla 16: Variación de la temperatura en función del día.

Respecto al resto de variables estudiadas como parámetros físico-químicos, no han resultado ser significativas las diferencias para el factor día. Siendo los valores obtenidos, para el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (ANOVA: $F=3.34$; g.l.=2, 14; $P=0.07$), conductividad eléctrica (ANOVA: $F=1.67$; g.l.=2, 14; $P=0.23$) y profundidad (ANOVA: $F=20.98$; g.l.=2, 14; $P=0.21$). Por lo que se entiende que las posibles variaciones observadas se deben al azar del muestreo.

Para los parámetros químicos que se han explicado en el apartado 3.4.2 del trabajo se ha seguido la misma metodología para el análisis de datos. Estos son nitratos, nitritos y fosfatos. Se han obtenido los valores de la tabla 17 para el variable día de muestreo.

| Día | Parámetro | Valor | Unidades |
|------------|-----------|-------|----------|
| 19/12/2017 | Nitritos | 0,028 | mg/l |
| 16/01/2018 | Nitritos | 0,01 | mg/l |
| 13/02/2018 | Nitritos | 0,01 | mg/l |
| 06/03/2018 | Nitritos | 0,373 | mg/l |
| 19/12/2017 | Nitratos | 0,93 | mg/l |
| 16/01/2018 | Nitratos | 1,8 | mg/l |
| 13/02/2018 | Nitratos | 1,56 | mg/l |
| 06/03/2018 | Nitratos | 35,75 | mg/l |
| 19/12/2017 | Fosfatos | 1,15 | mg/l |
| 16/01/2018 | Fosfatos | 0,69 | mg/l |
| 13/02/2018 | Fosfatos | 0,67 | mg/l |
| 06/03/2018 | Fosfatos | 0,25 | mg/l |

Tabla 17: Valores medios de los parámetros químicos en función del día de muestreo.

En cuanto a los nitratos las diferencias observadas respecto al día, han resultado ser significativas (ANOVA: $F=1109.95$; g.l.=3, 18; $P\leq 0.001$). Se observa que el último día los nitratos aumentan muy significativamente respecto a los anteriores que se mantienen iguales prácticamente durante todo el periodo de muestreo.



Tabla 18: Variación de los nitratos en función del día.

Las variaciones en los nitritos han resultado también significativas respecto al día (ANOVA: $F=184.27$; g.l.=3, 18; $P\leq 0.001$). Observándose de la misma manera que para los nitratos un aumento de su valor en el último día de muestro, y manteniéndose estables durante los primeros días.



Tabla 19: Variación de los nitritos en función del día.

Respecto a los fosfatos no se han obtenido diferencias significativas respecto al día, puesto que el último día presenta una amplia variación de valores, que provoca un solape entre los valores de los primeros días que se mantienen más o menos estables, siendo el mayor valor el del primer día reduciéndose en los siguientes (ANOVA: $F=2.5$; g.l.=3, 18; $P=0.093$).

Los valores microbiológicos se clasifican en coliformes totales, coliformes intestinales y enterococos. Las variaciones resultan significativas para todas las variables estudiadas. En cuanto a los valores medios para cada parámetro en función del día se muestran en la siguiente tabla (tabla 20).

| Día | Parámetro | Valor | Unidades |
|------------|-------------------------|--------|----------|
| 19/12/2017 | Coliformes totales | 300 | mg/l |
| 16/01/2018 | Coliformes totales | 26,87 | mg/l |
| 13/02/2018 | Coliformes totales | 282,6 | mg/l |
| 06/03/2018 | Coliformes totales | 300 | mg/l |
| 19/12/2017 | Coliformes intestinales | 12,13 | mg/l |
| 16/01/2018 | Coliformes intestinales | 1,38 | mg/l |
| 13/02/2018 | Coliformes intestinales | 265 | mg/l |
| 06/03/2018 | Coliformes intestinales | 62,75 | mg/l |
| 19/12/2017 | Enterococos | 201,88 | mg/l |
| 16/01/2018 | Enterococos | 36,88 | mg/l |
| 13/02/2018 | Enterococos | 42,5 | mg/l |
| 06/03/2018 | Enterococos | 333,25 | mg/l |

Tabla 20: Valores medios para los parámetros microbiológicos en función del día de muestreo.

Los coliformes totales se reducen en el segundo día de muestreo a valores casi nulos, mientras que en el resto de días se mantienen estables (ANOVA: $F=83.3$; $g.l.=3, 18$; $P\leq 0.001$).

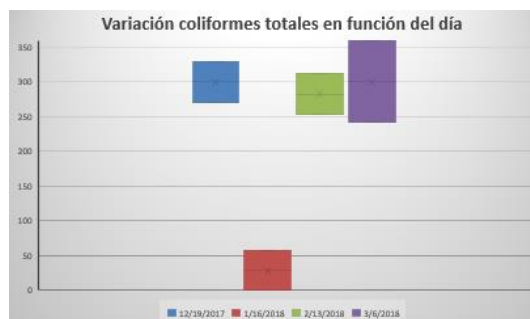


Tabla 21: Variación coliformes totales en función del día.

Para los coliformes intestinales la variación también es significativa, sin embargo, en este caso se mantienen casi nulos los valores casi todos los días excepto el tercer día que aumentan significativamente respecto al resto (ANOVA: $F=84.41$; $g.l.=3, 18$; $P\leq 0.001$).

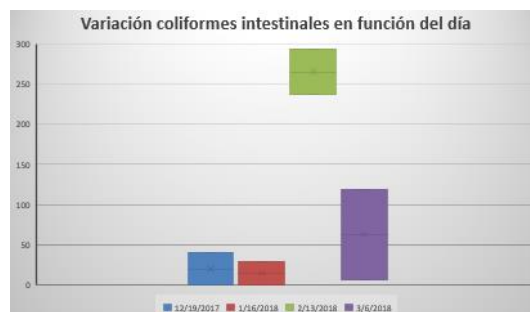


Tabla 22: Variación coliformes intestinales en función del día.

Las diferencias en los enterococos resultan significativas para el primer y último día, siendo el segundo y tercero más o menos iguales los valores y menores a los otros dos, el último día es el que mayor cantidad de enterococos presenta (ANOVA: $F=18.32$; $g.l.=3, 18$; $P \leq 0.001$).



Tabla 23: Variación de los enterococos en función del día.

Este aumento de enterococos el ultimo día puede deberse a las lluvias que se produjeron antes del muestreo que hayan provocado que llegaran a los canales una mayor cantidad de restos fecales de origen humano a la Albufera.

5.3. Influencia de la variación en función de la zona de muestreo e interacción entre factor fecha y zona.

5.3.1. Índices bióticos y de diversidad

En este apartado se van a analizar las diferencias obtenidas entre las dos zonas de muestreo y los índices analizados en el trabajo. También se comentará la posible interacción entre factores de zona y fecha si es que existiera interacción. Esto se llevará a cabo mediante un análisis de la varianza simple y multifactorial.

En ninguno de los índices estudiados se han obtenido diferencias significativas entre el día y la zona de muestro, ni para los índices de calidad ni para los índices de diversidad. Por lo que se puede deducir que no hay interacción entre factores para los valores obtenidos de los índices.

En la tabla 24 se muestran los valores medios obtenidos para cada índice según la zona de muestreo, así como la calidad de agua que le otorga el índice según el valor obtenido.

| Factor | Índice | Valor | Calidad |
|--------|----------------|----------|---------------------------|
| Norte | QAELS | 2,32222 | Deficiente |
| Sur | QAELS | 2,16444 | Deficiente |
| Norte | IMN | 24,3333 | Muy estresado |
| Sur | IMN | 26,3333 | Muy estresado |
| Norte | IBMWP | 16,1111 | Crítica |
| Sur | IBMWP | 12,8889 | Muy crítica |
| Norte | Simpson | 0,493333 | |
| Sur | Simpson | 0,581111 | |
| Norte | Shannon-Weaver | 1,18778 | Moderadamente polucionada |
| Sur | Shannon-Weaver | 1,47889 | Moderadamente polucionada |

Tabla 24: Valores medios obtenidos para cada índice según la zona de muestreo.

Tras realizar el análisis estadístico se observan diferencias significativas para la zona de muestreo en los índices de diversidad tanto Simpson como Shannon-Weaver, pero en los índices de calidad ninguna de las diferencias observadas resulta significativa. Puesto que se mantienen constante en ambas zonas (ANOVA QAELS: $F=0.28$; g.l.=1, 14; $P=0.61$) (ANOVA IMN: $F=1.62$; g.l.=1, 14; $P=0.23$) (ANOVA IBMWP: $F=1.5$; g.l.=1, 14; $P=0.24$).

Para el índice de diversidad Simpson se han obtenido diferencias significativas en cuanto a la zona, se observa un mayor índice en la zona Sur que en la Norte (ANOVA: $F=17.38$; g.l.=1, 14; $P=0.0013$).

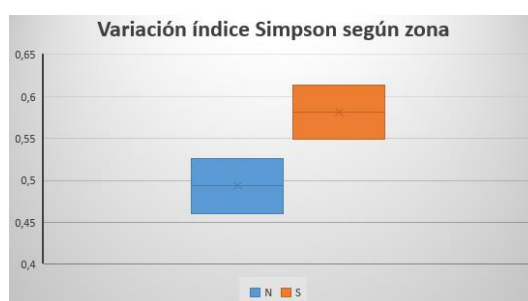


Tabla 25: Variación del índice Simpson en función de la zona de muestreo.

El índice Shannon-Weaver al igual que en el índice Simpson se observan diferencias significativas para la zona de muestreo, y también se obtiene un mayor índice en la zona Sur a lo largo del periodo de recogida de muestras (ANOVA: $F=28.91$; g.l.=1, 14; $P\leq 0.001$).

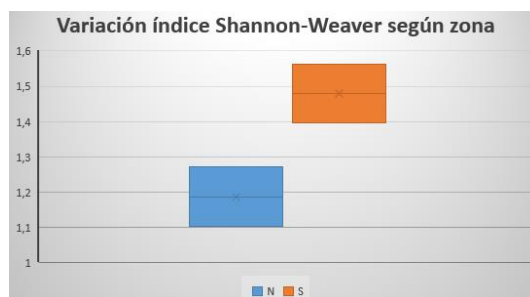


Tabla 26: Variación del índice Shannon-Weaver en función de la zona de muestreo.

Como en el factor fecha, solo han resultado significativas las diferencias en los índices de diversidad, obteniéndose en ambos índices mayor valor en la zona Sur de muestreo.

Comparando los datos de los índices de calidad y diversidad del agua en función de la zona, de este trabajo y del trabajo de 2011 de María Calera se observa un importante descenso en todos los índices. Lo que supone un empeoramiento de la calidad de las aguas.

5.3.2. Parámetros Físico-Químicos.

En cuanto a los parámetros físico-químicos definidos con anterioridad, resultan significativas las diferencias para el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura. Mientras que ni para la profundidad ni para el pH el factor zona resulta significativo. También se ha estudiado la posible interacción entre el factor día y la zona y solo ha resultado significativa para las variables de pH, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y la temperatura. Los valores medios obtenidos en función de cada zona se presentan en la tabla 27.

| Zona | Parámetro | Valor | Unidades |
|-------|--|--------|----------|
| Norte | pH | 7,75 | - |
| Sur | pH | 7,86 | - |
| Norte | Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto | 77,54 | % |
| Sur | Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto | 109,34 | % |
| Norte | Oxígeno disuelto | 12,17 | mg/l |
| Sur | Oxígeno disuelto | 16,63 | mg/l |
| Norte | Temperatura | 9,63 | °C |
| Sur | Temperatura | 12,03 | °C |
| Norte | Conductividad eléctrica | 3,6 | dS/m |
| Sur | Conductividad eléctrica | 2,35 | dS/m |
| Norte | Profundidad | 49,4 | cm |
| Sur | Profundidad | 37,78 | cm |

Tabla 27: Valores medios para los parámetros físico-químicos en función de la zona de muestreo.

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor en la zona Sur respecto a la zona Norte (ANOVA: $F=44.73$; g.l.=1, 14; $P\leq 0.001$). La interacción ha resultado significativa entre el día y la zona, observándose que los primeros días de muestreo las diferencias entre porcentajes se mantienen entre las zonas, pero el último día se produce un descenso en la zona norte y un ascenso en la zona sur (ANOVA: $F=4.42$; g.l.=2, 14; $P=0.036$).

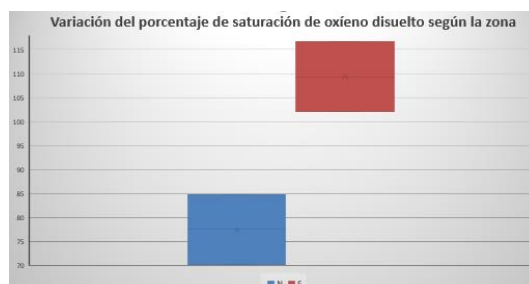


Tabla 28: Variación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en función de la zona de muestreo.

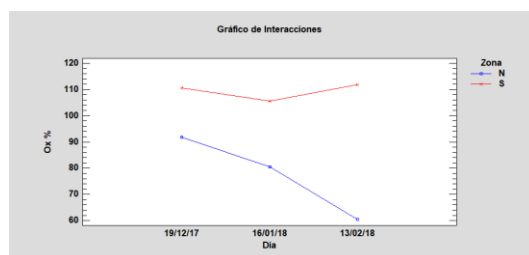


Tabla 29: Variación de la interacción del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en función del día y zona de muestreo.

En cuanto al oxígeno disuelto también se observa que es mayor la cantidad en la zona Sur que en la Norte para todo el periodo de muestreo (ANOVA: $F=11.92$; g.l.=1, 14; $P=0.0048$). Sin embargo, la interacción día y zona de muestreo no ha resultado ser significativa (ANOVA: $F= 0.66$; g.l.=2, 14; $P=0.534$).

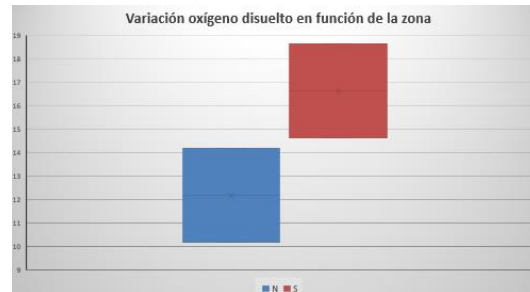


Tabla 30: Variación del oxígeno disuelto en función de la zona de muestreo.

Las diferencias obtenidas en las dos zonas de muestreo para la conductividad eléctrica también resultan significativas, observándose una mayor conductividad en la zona Norte que en la Sur (ANOVA: $F=17.29$; g.l.=1, 14; $P=0.0013$). La interacción en este caso no ha resultado ser significativa (ANOVA: $F=0.21$; g.l.=2, 14; $P=0.813$).

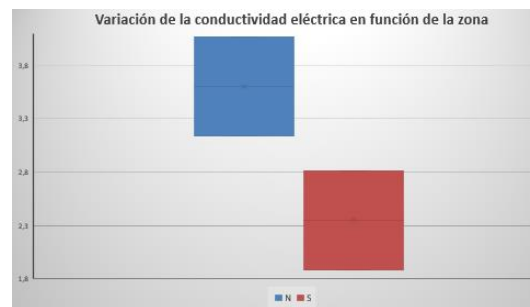


Tabla 31: Variación de la conductividad eléctrica en función de la zona de muestreo.

La temperatura ha resultado ser significativa tanto por la zona como por la interacción del día de muestreo por la zona. En la zona se observa que la diferencia se debe a una menor temperatura en la zona Norte que en la Sur (ANOVA: $F=71.59$; g.l.=1, 14; $P=0.0044$).

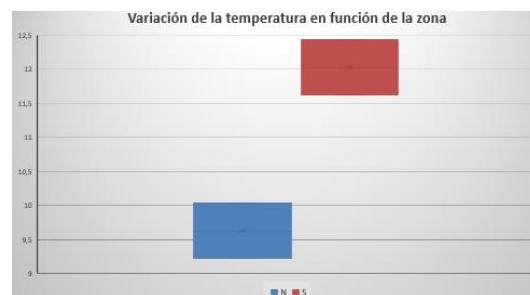


Tabla 32: Variación de la temperatura en función de la zona de muestreo.

Mientras que en la interacción día y zona, se observa un descenso progresivo de la temperatura en ambas zonas, excepto el último día que el descenso en la zona Sur es mucho menor que el de la zona Norte (ANOVA: $F=6.08$; g.l.=2, 14; $P=0.0044$).



Tabla 33: Variación de la interacción de la temperatura en función del día y zona de muestreo.

Para el pH solo ha resultado significativa la interacción del día con la zona (ANOVA: $F=8.54$; g.l.=2, 14; $P=0.0049$), la zona sola como factor no resulta significativa (ANOVA: $F=1.03$; g.l.=1, 14; $P=0.33$). En la interacción se observa que el primer día de muestreo en la zona Sur el pH es menor que en la Norte, sin embargo, los siguientes días aumenta en el Sur mientras que en el Norte es más o menos estable.

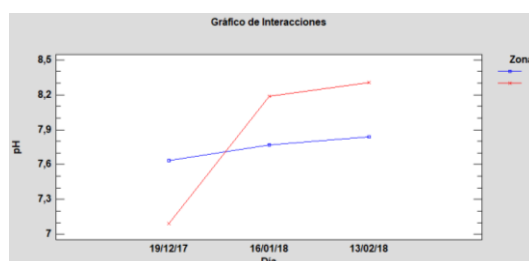


Tabla 34: Variación de la interacción del pH en función del día y la zona de muestreo.

Los valores de profundidad no han resultado significativos para el factor zona (ANOVA: $F=2.92$; g.l.=1, 14; $P=0.11$), ni para la interacción entre día y zona de muestreo (ANOVA: $F=0.74$; g.l.=2, 14; $P=0.5$).

Observando los valores del trabajo previo del 2011, en cuanto a la temperatura se observa un ligero descenso en la media, así como en el pH, sin embargo, se detecta un aumento muy importante en la conductividad eléctrica la cual pasa en el 2011 de 0,8 dS/m a una media en 2018 de 2,97 dS/m.

En los parámetros químicos, también se ha estudiado el factor zona y su interacción el factor día. Han resultado significativas las diferencias tanto de la interacción día-zona como del factor zona solo, para las variables nitritos y nitratos. Mientras, que la variable fosfato solo ha resultado significativa la interacción. Los valores medios para estos parámetros se muestran en la tabla 35.

| Zona | Parámetro | Valor | Unidades |
|-------|-----------|-------|----------|
| Norte | Nitritos | 0,133 | mg/l |
| Sur | Nitritos | 0,077 | mg/l |
| Norte | Nitratos | 15,82 | mg/l |
| Sur | Nitratos | 4,2 | mg/l |
| Norte | Fosfatos | 0,87 | mg/l |
| Sur | Fosfatos | 0,511 | mg/l |

Tabla 35: Valores medios para los parámetros químicos en función de la zona de muestreo.

Para el factor zona en nitritos se observa que hay una mayor cantidad de nitritos en la zona Norte que en la Sur (ANOVA: $F=32.33$; g.l.=1, 18; $P\leq 0.001$).

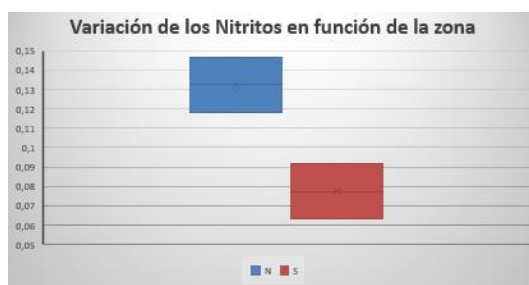


Tabla 36: Variación nitritos en función de la zona.

Mientras que, en la interacción de nitritos entre día y zona, se observa que el primer día de muestras es superior en la zona Sur que, en la Norte, los dos siguientes muestreos se estabiliza y los valores son iguales para ambas zonas, pero el último día los valores se elevan observándose una mayor cantidad de nitritos en la zona Norte que en la Sur (ANOVA: $F=26.85$; g.l.=3, 18; $P\leq 0.001$).

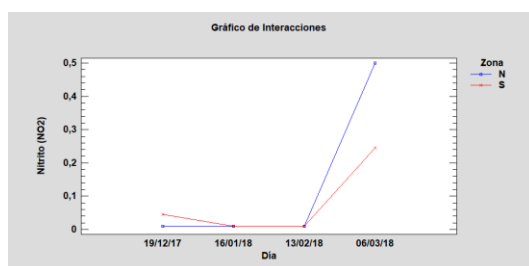


Tabla 37: Variación de la interacción de los nitritos en función del día y la zona de muestreo.

Los nitratos al igual que los nitritos han resultado ser significativos tanto el factor zona como la interacción. En el factor zona se observa que al igual que los nitritos en la zona Norte hay una mayor cantidad que en la Sur (ANOVA: $F=943.9$; g.l.=1, 18; $P\leq 0.001$). Mientras que en la interacción día-zona, se observa que los valores los tres primeros días de muestreo han resultado ser prácticamente nulos e iguales entre el Norte y el Sur, sin embargo, el último día se produce un aumento tanto en el Norte como en el Sur, siendo mayor en el Norte (ANOVA: $F=483.63$; g.l.=3, 18; $P\leq 0.001$).

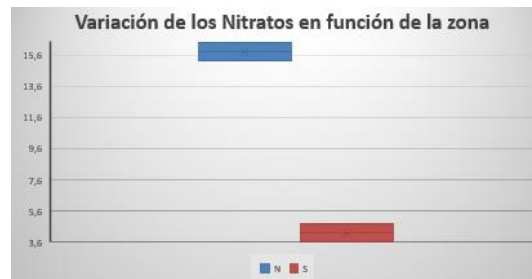


Tabla 38: Variación nitratos en función de la zona de muestreo.

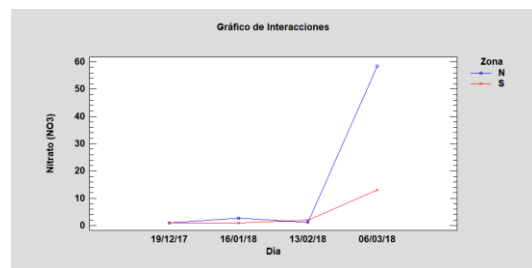


Tabla 39: Variación de la interacción de los nitratos en función del día y la zona.

La variable fosfatos no ha resultado ser significativa para el factor zona (ANOVA: $F=2.39$; g.l.=1, 18; $P=0.1393$), sin embargo, sí que se observan diferencias significativas en la interacción (ANOVA: $F=4.25$; g.l.=3, 18; $P=0.0196$). En la interacción, se obtienen valores elevados en la zona Norte el primer día de muestreo y van descendiendo a lo largo del periodo de muestreo, mientras que en la zona Sur los valores se mantienen más o menos constantes a lo largo del muestreo. A partir del segundo día de muestreo, se observa que los valores de fosfatos tanto en el Norte como en el Sur son muy similares, por lo que las diferencias significativas se observan tan solo en el día “19/12/2017”, con valores muy superiores en la zona Norte.

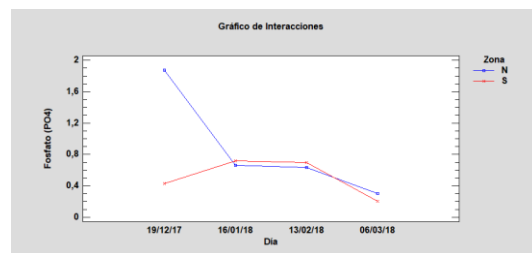


Tabla 40: Variación de la interacción de los fosfatos en función del día y la zona.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, no se han obtenido resultados significativos en ninguno de los casos para la interacción entre día y zona, y el factor zona tampoco ha resultado ser significativo ni en coliformes totales (ANOVA: $F=3.23$; g.l.=1, 18; $P=0.0892$), ni en coliformes intestinales (ANOVA: $F=2.83$; g.l.=1, 18; $P=0.1096$). Pero sí

ha resultado ser significativo el factor zona en enterococos (ANOVA: $F=9.36$; $g.l.=1, 18$; $P=0.0068$). Los valores medios de los parámetros microbiológicos en función de la zona de muestreo se muestran en la siguiente tabla.

| Zona | Parámetro | Valor | Unidades |
|-------|-------------------------|--------|----------|
| Norte | Coliformes totales | 188,64 | mg/l |
| Sur | Coliformes totales | 217,67 | mg/l |
| Norte | Coliformes intestinales | 79,92 | mg/l |
| Sur | Coliformes intestinales | 105,75 | mg/l |
| Norte | Enterococos | 105,73 | mg/l |
| Sur | Enterococos | 201,52 | mg/l |

Tabla 41: Valores medios para los parámetros químicos en función de la zona de muestreo.

En los enterococos se obtiene una mayor cantidad en la zona Sur de la Albufera que en la Norte.

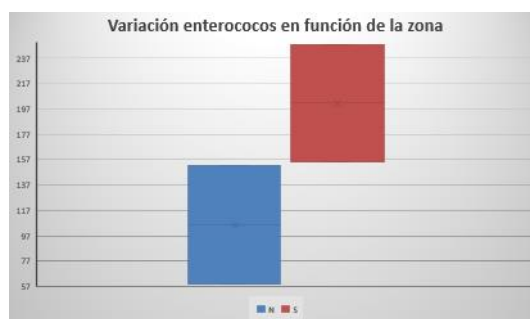


Tabla 42: Variación enterococos en función de la zona de muestreo.

5.4. Influencia de la variación en función del estrato de muestreo e interacción entre los factores día-estrato y zona-estrato.

Se ha estudiado el factor estrato, que se divide en campo y canal, para los parámetros químicos y microbiológicos. De la misma manera que en los anteriores apartados, se ha realizado un análisis estadístico simple y multifactorial para observar las posibles diferencias significativas entre los valores registrados, en este caso se han realizado dos interacciones, una entre el día de muestreo y el estrato y otra en entre la zona de muestreo y el estrato.

Ni para los parámetros químicos ni para los microbiológicos se han encontrado diferencias significativas, ni de manera simple del factor estrato con las variables, ni de ninguna de las dos interacciones de día y zona con el estrato. Lo que se puede deducir que las diferencias que se observan son debidas al azar de muestreo, y que no hay diferencias entre los campos y los canales para las variables estudiadas en los parámetros químicos y microbiológicos. Para el factor estrato con las variables, se han

obtenido los siguientes valores estadísticos (ANOVA Nitritos: $F=3.98$; g.l.=1, 21; $P=0.0576$), (ANOVA Nitratos: $F=3.74$; g.l.=1, 21; $P=0.065$), (ANOVA Fosfatos: $F=0.64$; g.l.=1, 21; $P=0.4322$), (ANOVA Coliformes totales: $F=0.93$; g.l.=1, 21; $P=0.3445$), (ANOVA Coliformes intestinales: $F=0.07$; g.l.=1, 21; $P=0.7893$), (ANOVA Enterococos: $F=2.56$; g.l.=1, 21; $P=0.1226$).

5.5. Factores de influencia en la calidad de las aguas

Tras obtener todos los datos y su análisis estadístico simple y multifactorial, se ha recurrido a un análisis multivariante, con el fin de observar cuáles eran los parámetros de influencia más importantes que afectan a la calidad de las aguas.

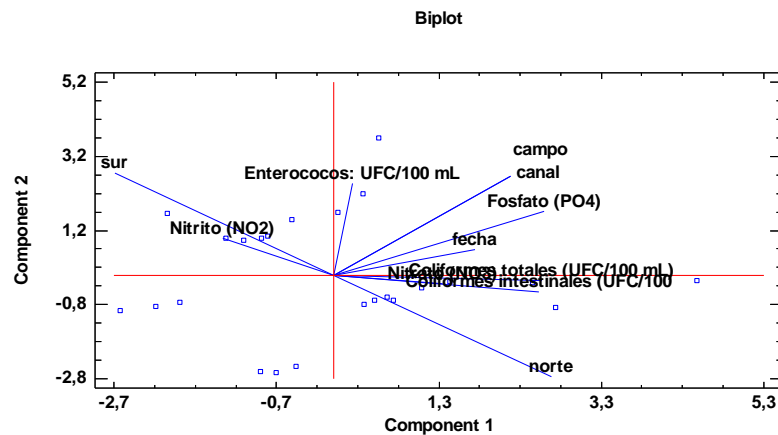


Tabla 43: Gráfica multivariante de los parámetros químicos y microbiológicos en función de los factores zona, estrato y día.

Tras realizar el análisis multivariante de los parámetros químicos y microbiológicos, se observa que el factor zona, (Norte, Sur), es el que mayores diferencias presenta, explicando un 38% de la variabilidad de la componente 1 y un 43% de la componente 2. El nitrito es otra variable que presenta importante diferencias con una variabilidad del 20% de la componente 1 y de un 15% de la componente 2. Sin embargo, el resto de variantes se encuentran en el mismo cuadrante lo que significa que las diferencias no son tan importantes. Para el factor estrato corrobora lo anteriormente observado, no hay diferencias entre ambos.

Mientras que, para los índices de calidad y diversidad y los parámetros físico-químicos, se observa que Norte o Sur explican el 44% de la variabilidad de la componente 1 y el 13% de la componente 2. En cuanto al resto de parámetros, el siguiente que tiene mayor peso sobre la variabilidad es el oxígeno disuelto con un 39% para la componente 1 y de un 1,4% para la componente 2.

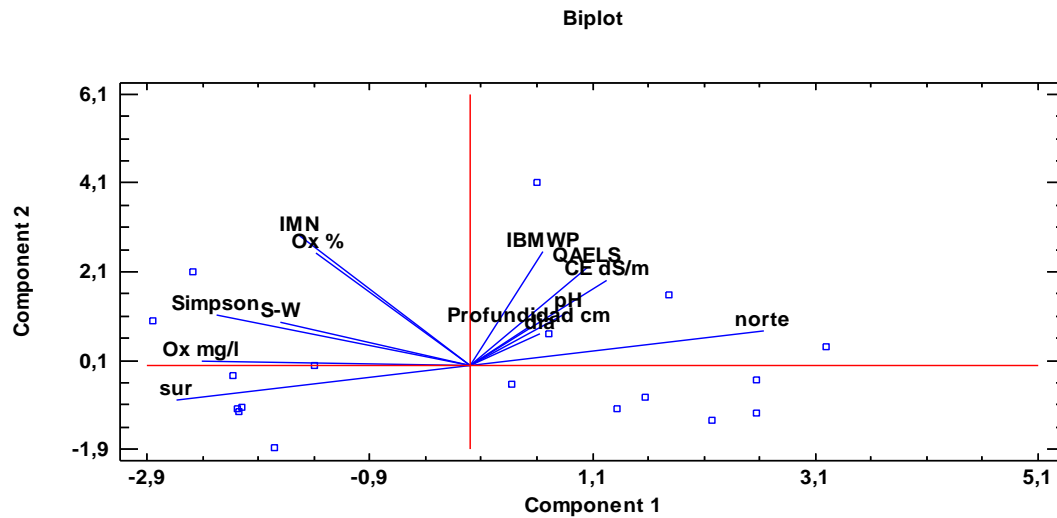


Tabla 44: Gráfica multivariante de los índices de calidad y diversidad de agua y los parámetros físico-químicos en función de los factores zona y día.

5.6. Límites de calidad de agua

Tras observar los valores medios que se han obtenido a lo largo del muestreo se van a proceder a compararlos con los límites ecológicos para la calidad del agua establecido por el Boletín Oficial del Estado (BOE, 2008). En el cual fija valores para los parámetros físico-químicos del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua, el oxígeno disuelto en el agua, el pH, nitratos y fosfatos. Todos los valores medios se encuentran dentro del rango de calidad de aguas, con un pH medio de 7,8, un porcentaje de saturación de oxígeno del 93,44%, oxígeno disuelto de 14,4 mg/l y nitratos de 10 mg/l. Sin embargo, el valor medio de fosfatos ha sido de 0,7 mg/l muy superior al establecido por la normativa que es de 0,4 mg/l como valor máximo.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, superan los valores establecidos por la legislación para agua potable, puesto que no hay una normativa para estos parámetros para aguas de ríos y humedales.

6. PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA DE LA EDAR DE PINEDO

Se han contemplado tres propuestas distintas para la reutilización del agua de la EDAR de Pinedo, puesto que actualmente durante el periodo de inundación invernal de septiembre a mayo se vierte toda el agua depurada al mar, pudiendo reutilizarse este agua para el riego de la huerta o para la Acequia Real del Júcar.

Por este motivo se ha realizado un estudio del coste económico del rebombeo del agua a tres puntos distintos. El primero sería transportar el agua a la EDAR de Quart, puesto que en ella ya tienen un sistema por el cual utilizan el agua de la depuradora para el riego de los campos hortícolas de la acequia de Benager y Faitanar. Otra opción es la de transportar el agua hasta el municipio de Almussafes a la Acequia Real del Júcar (ARJ), y utilizar el agua en esta comunidad de regantes para el riego de campos de cultivos leñosos. La tercera opción sería la del emisario submarino a 20 metros de profundidad y unos 1200 metros de distancia de la costa, que es la que actualmente se está utilizando. En la figura 12 se muestran los trazados que tendrían cada una de las propuestas estudiadas.

Se ha supuesto que el coste de la instalación de la tubería para todas las propuestas ya está realizado, por lo que tan solo se ha calculado el coste económico de la energía que supondría este bombeo, durante el tiempo que no se está utilizando el agua para el riego del arrozal y está siendo desperdiciada. En el anejo 5 se muestran todos los cálculos realizados y los pasos seguidos para obtener los resultados.

Puesto que para el cálculo del coste es necesario fijar un tiempo de bombeo, se ha calculado el coste económico de transportar todo el caudal en 6 horas de trabajo, fijando un precio de luz medio de 0,127 €/kWh y , se ha calculado para los 8 meses en los que el agua no está siendo utilizada para el riego. Con los datos obtenidos se han propuesto distintos supuestos para la utilización del agua, haciendo distintas combinaciones entre las propuestas.

| Propuestas | Coste para 8 meses (€) |
|--------------------------------------|------------------------|
| Quart 6 horas | 220.786,148 |
| Acequia Real del Júcar (ARJ) 6 horas | 271.442,141 |
| Emisario 6 horas | 194.008,711 |
| Quart 3 horas+ Emisario 3 horas | 207.397,429 |
| ARJ 3 horas+ Emisario 3 horas | 232.725,426 |
| ARJ 3 horas + Quart 3 horas | 246.114,145 |
| ARJ 4 horas + Quart 2 horas | 254.556,81 |

Tabla 45: Coste rebombeo en función de las distintas propuestas de utilización.

El mayor coste supondría si se bombea el total del caudal a la Acequia Real del Júcar, debido a que es la que mayor transporte de agua supondría. Pero observando las posibilidades que se han planteado, una buena opción sería la del bombeo de 4 horas a la ARJ y 2 horas a la depuradora de Quart, puesto que de esta manera se estaría suministrando agua a dos puntos distintos y no se desprendería el agua en el mar. La opción que actualmente se está utilizando es la de bombear toda el agua al emisario submarino, es la que menores costes supondría, pero el agua no se estaría reutilizando se. Otras opciones que se han planteado son la de reutilizar una parte del agua, a la EDAR de Quart o a la ARJ, y el resto bombear la al mar, estas tendrían un menor coste, pero habría una parte del agua que no estaría siendo reutilizada.

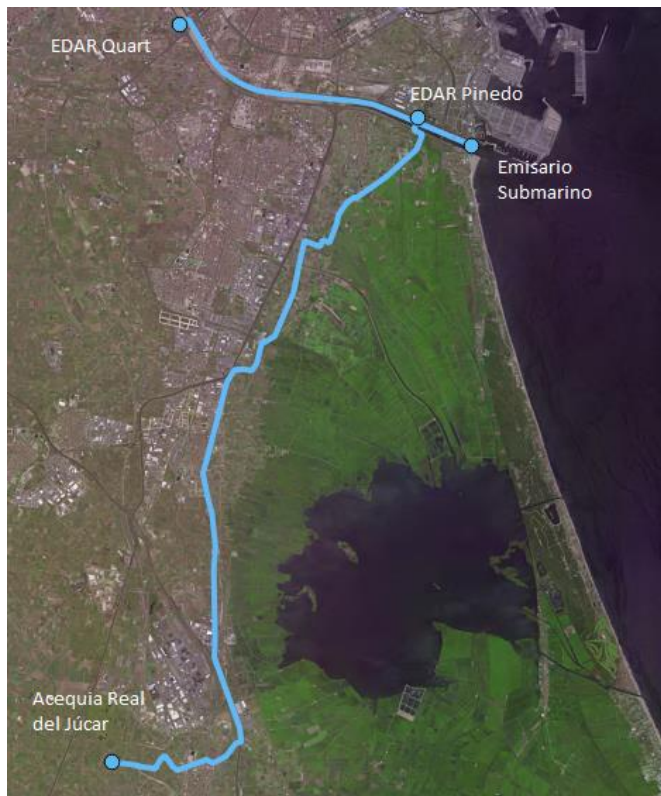


Figura12: Trazado propuestas reutilización agua EDAR Pinedo.

7. CONCLUSIONES

1. Se han identificado 27441 macroinvertebrados, pertenecientes a 19 familias, 16 órdenes, 9 clases y 4 phylum. Las familias más abundantes han sido *Daphniidae* y *Cyclooidae*
2. Los indicadores bióticos de calidad (IMN, IBMWP, QAELS) y diversidad (Simpson, Shannon-Weaver) de las aguas indican en general una baja calidad de aguas, siendo peores en la zona Norte. Estos valores han descendido desde el estudio previo realizado en 2011.
3. En cuanto a los parámetros físico-químicos, se ha analizado su evolución. Lo más destacable es la elevada conductividad eléctrica detectada, casi 4 veces mayor que la obtenida en los estudios del año 2011.
4. Para los parámetros químicos y microbiológicos, se destaca un elevado nivel de nitratos y nitritos al final del muestreo, y una cantidad de fosfatos superior al límite establecido. Así como, una elevada cantidad de enterococos en el último muestreo.
5. Todos los resultados indican que la zona geográfica (Norte o Sur) es el factor más influyente para los parámetros de calidad de agua estudiados.
6. Se proponen tres alternativas a la utilización del agua, a modo de reutilización del agua de la EDAR de Pinedo, debido a que el agua es un factor muy escaso en esta zona y está siendo desperdiciada.

8. BIBLIOGRAFÍA

AENOR. 2001. Metodos para el muestreo biológico. Guía para el muestro manual con red de macroinvertebrados bénticos. UNE-EN 27828:1994. Madrid: AENOR, 2001. <http://www.biada.org/web/materies/microbiologia/aigua/PDFs/UNE-EN27828=1995.pdf>

AGENCIA CATALANA DEL AGUA. 2006. Índices de calidad del agua. <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?nfpb=true&pageLabel=P1230454461208201717426>

AGUAS DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS. 2006. Informe de viabilidad de la actuación 3.2.c ordenación y terminación de la reutilización de aguas residuales de la planta de Pinedo (Valencia). http://www.mapama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/informe_viabilidad_3_2_c_reutilizacion_pinedo_tcm30-82652.pdf

ALBA-TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA)*. ISBN 84-7840-262-4. Vol II pp: 203-213 pp 210-211.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. 2008. ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica.

CEDEX. 2004. 1: "Caracterización de los tipos de ríos y lagos. Versión 1.0.". Ministerio de Fomento. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. 2005. Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos.

CONSELLERÍA DE MEDI AMBIENT, AIGUA, URBANISME I HABITATGE (2010). Estudio Hidrológico e Hidráulico. Plan de acción Territorial de Protección de la Huerta de Valencia. Memoria Informativa. pp 55-62.

DEL BARRIO, P. et al. (2011). A model for describing the eutrophication in a heavily regulated coastal lagoon. Application to the Albufera of Valencia (Spain).

DOCAVO, I., (1979). Dinámica de aguas de la albufera. www.albufera.com

DOÑA, C. et al. (2014). Integrated satellite data fusion and mining for monitoring lake water quality status of the Albufera de Valencia in Spain.

ECOZO, 2006. Protocol d'avaluació de l'estat ecològic de les zones humides. Agencia catalana del agua.

ESTIMACIÓN DE LA DIVERSIDAD ESPECÍFICA. Visto el 19 de diciembre de 2017. <http://www.fcnyu.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3Diversidad.pdf>

HENÁNDEZ, R., RUEDA, J. 2009. Atlas fotográfico de los invertebrados acuáticos de la cuenca del río Júcar en la provincia de Albacete. Instituto de estudios Albacetenses "Don Juan Manuel". Diputación de Albacete.

MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2013. Protocolo de cálculo del índice IBMWP. MAGRAMA.

MONDRÍA GARCÍA, M., Estudio para el desarrollo sostenible de l'Albufera de Valencia. Confederación Hidrográfica del Júcar. 08.803-190/0411.

MOORE, J., HEANEY, N., MILLAR, B., CROWE, M., ELBORN, J., (2002). Incidence of *Pseudomonas aeruginosa* in recreational and hydrotherapy pools. *Commun Dis Public Health*; 5:23-26.

OMS (2006). Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Primer Apéndice a la Tercera Edición. Vol. 1: Recomendaciones.

PARC NATURAL DE L'ALBUFERA (2010). Dinámica de aguas de la Albufera, visto el 19 de enero de 2018. <http://www.albufera.com/parque/content/din%C3%A1mica-de-aguas>

PARC NATURAL DE L'ALBUFERA (2010). Límites, visto el 19 de enero de 2018. <http://www.albufera.com/parque/content/l%C3%ADmites-del-parque-natural>

RUEDA SEVILLA, J. et al. (2005). Evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos a partir del modo de nutrición (IMN) de sus macroinvertebrados. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales* nº19, ISSN 0214-4379. pp: 103-114.

STATGRAPHICS CENTURION, XVI. 2013. Statgraphics centurion XVI software version 16.2. 04. Virginia (USA): StatPoint Technologies Inc, Warrenton. Recuperado de: www.statgraphics.net.

TACHET, H., RICHOUX, P., BOURNAND, M., USSEGLIO-POLATERA, P. 2006. *Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie*. CNRS Éditions, Paris.

VIDAL, O., GARCÍA-BERTHOUS, E., TDESCO, A., GARCÍA-MARÍN, J., (2009). Origin and genetic diversity of mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) introduced to Europe. *Volume 12, Number 4*, pp. 841-851.