

# Parámetros físico-químicos de las aguas del río Vinalopó afectadas por el tránsito en lecho natural o artificial.



Trabajo de Fin de Grado 2016-2017  
Grado en Ciencias Ambientales – 2016-2017  
Facultad de Ciencias Experimentales

**Autor:**

**Emilio Clemares Martínez**

**Tutores:**

Jose Navarro Pedreño

Ignacio Meléndez Pastor

Departamento de

Agroquímica y Medio

Ambiente

Agradecimientos:

A mi familia, por su apoyo,

A mis amigos, por toda la ayuda recibida,

A mis tutores, por su paciencia infinita,

Y a todos los que me apoyaron a seguir con esta carrera.

Índice:

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUCCION .....	6
1.1. CARACTERISTICAS DEL RÍO VINALOPÒ .....	6
1.2. MARCO GEOGRÁFICO RÍO VINALOPÓ .....	7
1.3. AGUA COMO RECURSO .....	9
1.4. AUTODEPURACIÓN DE AGUAS EN SISTEMAS ACUÁTICOS NATURALES .....	12
2.OBJETIVOS.....	14
3.MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. ZONA DE ESTUDIO (RÍO VINALOPÓ) .....	15
3.2. PUNTOS DE MUESTREO Y TOMA DE MUESTRAS.....	16
3.3 MATERIAL UTILIZADO .....	19
3.4. PARÁMETROS Y MÉTODOS ANALÍTICOS .....	19
3.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	21
4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
4.1. Temperatura .....	22
4.2. pH.....	23
4.3. Conductividad Eléctrica (CE) .....	24
4.4. Demanda química de oxígeno (DQO).....	25
4.5. TSS .....	26
4.6. Amonio.....	27
4.7. Nitritos.....	28
4.8. Sulfatos.....	28
4.10. Fosfatos.....	29
5. CONCLUSIONES.....	31
6. BIBLIOGRAFÍA.....	32
6.1. Referencias Bibliográficas .....	32
6.2. Consultas en internet. ....	33

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado un estudio sobre la calidad de las aguas del río Vinalopó antes de su entrada en Elche y en la Acequia Mayor del pantano (AMP), con relación al análisis de parámetros físico-químicos

El análisis se ha realizado sobre los siguientes parámetros físico-químicos: temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales en suspensión (TSS), demanda química de oxígeno (DQO), amonio, nitritos, fosfatos y sulfatos.

Estos datos han sido recogidos en tres puntos de muestro diferentes: el Azud de “Les Taules”, punto de bifurcación del río y de la acequia, y en cada uno de los cauces que siguen a partir de este a la entrada a la ciudad. Las conclusiones más relevantes han sido en primer lugar, no se han observado evidencias que demuestren un cambio en la calidad de aguas dependiendo del cauce, pero si la existencia de valores diferentes para ciertos parámetros según el punto de muestreo (como es el caso del pH en la Acequia Mayor, donde se reflejaba un valor mayor); Por otra parte, se ha observado una clara influencia de las precipitaciones en la obtención de dichos parámetros, así, para el mes de Noviembre, las precipitaciones afectaron a los parámetros medidos incrementando los valores obtenidos.

**Palabras clave:** Agua, Vinalopó, Calidad, Cauce.

## ABSTRACT

In the present work, a study has been carried out on the quality of the waters of the Vinalopó river before entering the Elche and the Acequia Mayor del Pantano (AMP), with the analysis of physical and chemical parameters.

The analysis was performed on the following physical-chemical parameters: temperature, pH, electrical conductivity (EC), total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), ammonium nitrite, phosphates and sulfates.

These data have been collected in three different sampling points: the "Les Taules" dam, point of bifurcation of the river and the ditch, and in each of the channels that follow from this to the entrance to the city. The most relevant conclusions have been, firstly, no evidence has been found that shows a change in water quality depending on the bed, but whether the existence of different values for certain parameters according to the sampling point (as in the case of pH in the Acequia, where it was reflected a

greater value); On the other hand, a clear influence of the precipitations in the obtaining of parameters, thus, for the month of November, precipitations affected the measured parameters increasing the values obtained.

**Keyword:** Water Vinalopó, Quality, Channel.

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. CARACTERISTICAS DEL RÍO VINALOPÒ

El Valle del río Vinalopó ha estado ligado a numerosas modificaciones y aprovechamientos antrópicos a lo largo de los tiempos. Es un río deficitario en caudales, con características de río-rambla mediterráneo de caudal intermitente. En la actualidad, la permanencia de aguas en su cauce al paso por la ciudad de Elche tiene que ver especialmente con los aportes de aguas depuradas de las poblaciones situadas en el Medio Vinalopó.

La carencia de aguas ha promovido diversas soluciones a lo largo del tiempo, como lo fue en su día la construcción de embalses y, últimamente, destaca la transferencia de recursos hídricos procedentes del río Júcar hasta la cuenca del río Vinalopó para solucionar el problema del déficit hídrico, debido en gran parte a la fuerte demanda para abastecimiento que supone el aumento de población, la actividad industrial en la zona, pero, sobre todo, para la agricultura. La normativa del Plan Hidrológico del Júcar (BOE, 1999) cuantifica en 80 hm<sup>3</sup> anuales el volumen máximo a importar desde la cuenca del Júcar.

Este déficit se ha mitigado en parte por la utilización de agua externa procedente de la cuenca del Segura a las comarcas del Bajo Vinalopó, Campo de Alicante y en menor medida en el Medio Vinalopó (por ejemplo, las procedentes de la Mancomunidad de Canales del Taibilla), así como un incremento en la reutilización de aguas residuales urbanas depuradas y de las nuevas desaladoras de aguas marinas.

El río Vinalopó nace en el Racó de Bodí, en la sierra de Mariola, término municipal de Bocairent y transcurre en dirección sudoeste casi inmediatamente por tierras alicantinas, en Banyeres de Mariola, y seguidamente a través de zonas dedicadas a cultivos en el sur de las localidades de Beneixama, Camp de Mirra y Canyada.

Es un río de escaso caudal, debido a la utilización de sus aguas para el regadío en el curso alto sumado a factores climáticos (falta de lluvias y elevada evaporación y evapotranspiración). Alcanza su máximo caudal en invierno, llegando hasta los 0,85 m<sup>3</sup>/s en ciertos puntos.

Al entrar en el término municipal de Elche y atravesar la ciudad, presenta un caudal muy reducido. Tanto es así, que desaparece con las escorrentías de los saladares próximos al mar. Sin embargo, su desembocadura natural estaba en la antigua

albufera de Elche, a la altura de las Salinas de Santa Pola, tras un recorrido desde su nacimiento de 94km, hoy en día sobre los 100km si contamos el discurrir de las aguas por los azarbes de drenaje que las dirigen hacia la gola de Santa Pola.

## 1.2. MARCO GEOGRÁFICO RÍO VINALOPÓ

El Valle del Vinalopó constituye una depresión de dirección noroeste-sudeste, que corta casi perpendicularmente una sucesión de alineaciones montañosas y depresiones transversales a dicho eje. Por una de esas depresiones circula el río Vinalopó en su tramo alto, hasta las proximidades de la ciudad de Villena, donde toma la dirección del eje principal mencionado.

Las comarcas incluidas en el Valle del Vinalopó se hallan ubicadas geológicamente en el sector nororiental de la Cordillera Bética, abarcando áreas pertenecientes a las zonas en que tradicionalmente se divide esta Cordillera: Zonas Externas (comprendiendo Prebético y Subbético) y Zonas Internas o Bético s.s. Mientras en la Zona Prebética las estructuras geológicas están poco deformadas, en el Subbético la deformación es mayor, con abundancia de zonas plegadas y falladas. Por último, en la Zona Bética, próxima a la costa, la deformación y estructuración de los materiales es máxima (Castaño et al., 2009).

Las precipitaciones son escasas e irregulares a lo largo de todo el Valle, pero más abundantes en el norte que en el sur. Hacia el sur, las precipitaciones disminuyen y la variación térmica se reduce debido a la menor cota y al efecto termorregulador del Mediterráneo. La diferencia de precipitaciones influye directamente en la diferencia de recursos hídricos disponibles.

Por otra parte, el clima ha condicionado el desarrollo de la actividad económica de la zona, la agricultura. En el Medio Vinalopó domina la uva de mesa embolsada, y en el Alto Vinalopó, predominan los cultivos frutícolas (esta diferenciación en la agricultura da lugar a una marcada diferencia en las demandas de agua para riego). En el sur, alternan una diversidad de cultivos hortícolas, cereales y árboles resistentes a la sequía y la salinidad como granados, almendros y olivos. Destaca la presencia de la Palmera, todo un símbolo de la adaptación a las condiciones climáticas cálidas y aguas para el riego de escasa calidad.

Estas diferencias geológicas y climáticas entre los sectores del Vinalopó han dado lugar históricamente a una transferencia de recursos hídricos del Alto Vinalopó, (más abundantes y de más fácil extracción), hacia las zonas más bajas del Valle, donde la demanda era mayor.

Existen referencias (Estevan y Naredo, 2004) de intentos de transporte de recursos hídricos desde el Alto Vinalopó a las zonas de Medio y Bajo Vinalopó, pero, es a partir de los siglos XVIII y principios del XIX, cuando se iniciaron proyectos concretos de trasvases de recursos y drenajes de zonas interiores para dedicarlas al cultivo. Destacan los drenajes del Conde y del Rey, mediante las que se llevan aguas de la Laguna de Villena para desecarla. Por otro lado, la zona de regadío de Elche se incrementa e intensifica (hacia finales del siglo XIX y principios del XX), empleando aguas procedentes de captaciones de pozos del Alto Vinalopó, utilizando para ello el denominado Canal del Cid. Posteriormente, ya en el siglo XX, el agua transportada desde el Alto Vinalopó se dedica también al riego de superficie de cultivo en el Medio y Bajo Vinalopó y la comarca de L'Alacantí.

En las dos últimas décadas del siglo XX, se han producido nuevas iniciativas tendentes a paliar la gravedad derivada de la escasez de recursos, si bien sólo parcialmente. La primera de ellas ha sido la utilización de agua externa al Sistema Hídrico del Valle del Vinalopó, procedente de la vecina cuenca del Segura, destinada a satisfacer abastecimientos urbanos de las áreas del Campo de Alicante y Bajo Vinalopó.

Por otro lado, ha aumentado la reutilización para riegos de las aguas urbanas depuradas de las poblaciones del Medio y Bajo Vinalopó y Campo de Alicante. Las cantidades por ahora reutilizadas son reducidas si se considera el volumen de la demanda agrícola (se cubre escasamente el 10% de esta demanda (Castaño et al., 2009).

Finalmente, ya con el inicio del nuevo siglo, un tercer factor o fuente de recursos hídricos es la producción de agua dulce en las grandes plantas desaladoras, previstas para contribuir de forma sustancial a satisfacer demandas en el Bajo y Medio Vinalopó.

En este complejo panorama, ligado al sistema de explotación de recursos hídricos del Valle del Vinalopó, tiene lugar el planteamiento, por parte de la Planificación

Hidrológica del Organismo de Cuenca del Júcar, de la transferencia de recursos desde dicha cuenca al Valle del Vinalopó (Castaño et al., 2009).

Esta materialización del trasvase Júcar-Vinalopó es la fase final de una larga historia de intentos de importación de recursos hídricos al Valle del Vinalopó procedentes de la cuenca del Júcar, no exenta de polémica por la localización de la toma inicial en el valle del Júcar en la presa de Cortes y su cambio al Azud de la Marquesa próximo a su desembocadura, con los problemas de calidad asociados a dicha toma (Estevan y Naredo, 2004).

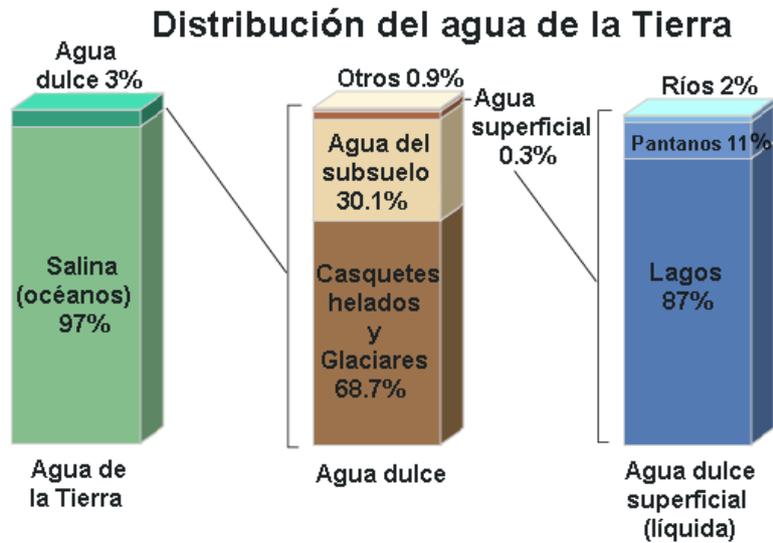
### 1.3. AGUA COMO RECURSO

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. Esta puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación, circulación, de lo contrario, es un recurso no renovable para una localización determinada.

No es usual encontrar el agua pura en forma natural, aunque en el laboratorio puede llegar a obtenerse o separarse en sus elementos constituyentes (hidrógeno y oxígeno). Cada molécula de agua está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, unidos fuertemente en la forma H-O-H.

En nuestro planeta las aguas ocupan una alta proporción en relación con las tierras emergidas, y se presentan en diferentes formas: en mares y océanos (que contienen una alta concentración de sales y que llegan a cubrir un 71% de la superficie terrestre), como aguas superficiales (que comprenden ríos, lagunas y lagos), y como aguas subterráneas (que fluyen por debajo de la superficie terrestre).

Aproximadamente 97% del agua del planeta es agua salina, en mares y océanos; apenas 3% del agua total es agua dulce (no salina) y de esa cantidad un poco más de dos terceras partes se encuentra congelada en los glaciares y casquetes helados en los polos y altas montañas.



*Figura 1: Distribución estimada del agua en la Tierra (Fuente: <https://es.slideshare.net/raulcc1950/el-agua-en-la-repblica-mexicana>)*

Desde los mares, ríos, lagos, e incluso desde los seres vivos, se evapora agua constantemente hacia la atmósfera, hasta que llega un momento en que esa agua precipita de nuevo hacia el suelo. De esta que cae, una parte se evapora, otra se escurre por la superficie del terreno hasta los ríos, lagos, lagunas y océanos, y el resto se infiltra en las capas de la tierra y fluye también subterráneamente hacia ríos, lagos y océanos. Esta agua subterránea y edáfica, es la que utilizan los sistemas vegetales, los cuales la devuelven después de nuevo a la atmósfera.

Como observamos, al volver el agua a la atmósfera se completa un ciclo, que se denomina ciclo hidrológico o del agua. De esta manera la naturaleza garantiza que el agua no se pierda y pueda volver siempre a ser utilizada por los seres vivos.



Figura 2: Representación del ciclo hidrológico del agua (Fuente: <https://www.usgs.gov/>)

El agua constituye más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos, e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos, también desempeña de forma especial un importante papel en la fotosíntesis de las plantas y, además, sirve de hábitat a una gran parte de los organismos.

Dada la importancia del agua para la vida de todos los seres vivos, y debido al aumento de las necesidades de ella por el continuo desarrollo de la humanidad, el hombre está en la obligación de proteger este recurso y evitar toda influencia nociva sobre las fuentes del preciado líquido. El agua dulce es un recurso renovable pero la disponibilidad de agua fresca limpia, no contaminada, está disminuyendo de manera constante. En muchas partes del mundo, la demanda de agua ya excede el abastecimiento; a medida que aumenta la población mundial, así también aumenta la demanda de agua limpia.

Es una habitual ubicar industrias y asentamientos humanos a la orilla de las corrientes de agua, para utilizar dicho líquido y, al mismo tiempo, verter los residuos del proceso industrial y de la actividad humana. Esto trae como consecuencia la contaminación de las fuentes de agua y, por consiguiente, la pérdida de grandes volúmenes útiles de

este recurso. Actualmente, muchos países que se preocupan por la conservación prohíben esta práctica y exigen el tratamiento de los residuos hasta llevarlos a medidas admisibles para la salud humana y de los ecosistemas. Es un deber de todos cuidar nuestros recursos hidrológicos, así como crear la conciencia de que el agua es uno de los recursos más preciados de la naturaleza, por el papel que desempeña en la vida de todos los seres vivos.

#### 1.4. AUTODEPURACIÓN DE AGUAS EN SISTEMAS ACUÁTICOS NATURALES

La calidad de aguas de los ríos está muy influenciada por el uso que se le da a esta, ya que los usos pueden degradarla. Los parámetros de calidad exigibles a cada tipo de agua son variables. Diferentes tipos de agua natural tendrán diferentes tipos de usos y de respuesta a la contaminación, pero por norma general, la naturaleza de los cauces tiende a eliminar o reducir la carga de sustancias contaminantes por sí mismos.

En el caso de los ríos (aguas superficiales), los índices de calidad disminuyen conforme atraviesan los núcleos de población, ya que aumentan los vertidos (industriales, de aguas sin depurar, etc....) o en las zonas más bajas de los tramos de los ríos.

El agua en los tramos altos del río es de buena calidad (debido a la capacidad de autodepuración por sus aguas rápidas y oxigenadas y a la poca existencia de vertidos), en contraposición a los tramos bajos donde es mucho menor la calidad de estas (la capacidad de autodepuración es mucho menor por la lentitud del discurrir de las aguas y la poca oxigenación, así como una mayor cantidad de vertidos de origen urbano e industrial).

La autodepuración de las aguas es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos que se dan en el curso del agua de forma natural y que producen la destrucción de materias extrañas incorporadas al río. En gran parte, las responsables de esto son las bacterias aerobias, que consumen la materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua, además de estas existen plantas acuáticas que asimilan algunos componentes en forma de nutrientes, así como otros procesos fotoquímicos, diluciones, etc....

La capacidad de regenerarse que tiene un río depende de tres factores principales: 1) caudal (permite la dilución del vertido y facilita su degradación), 2) la turbulencia del agua (que aporta oxígeno diluido al medio y esto favorece la actividad microbiana), y 3) la naturaleza y tamaño del vertido.

Dicho esto, cuando se observan altas concentraciones de contaminantes en el agua, se anulará el proceso de autodepuración, rompiendo el equilibrio y quedando así una zona del curso fluvial contaminada difícilmente recuperable si no es de forma lenta o artificial.

Finalmente cabe añadir que a pesar de esta capacidad autorreguladora del agua, los grandes caudales vertidos sobre el río de aguas residuales (urbanas o industriales), hacen necesaria la instalación de sistemas de depuración para poder evitar así la contaminación de cauces.

## 2.OBJETIVOS

Como hemos visto en los apartados anteriores, el río Vinalopó y más concretamente la zona del Bajo Vinalopó está caracterizada por tener déficit de recursos hídricos, y sus aguas a su paso por Elche son utilizadas fundamentalmente para regar el Palmeral y campos situados al sur de la ciudad.

La calidad físico-química de las aguas para el riego depende en buena medida del contenido en sales. En este sentido, la autodepuración que pueden ejercer los cauces puede ser diferente según se trate de naturales o artificiales. Por ello, lo que se pretende con este estudio, la finalidad es *evaluar si se producen cambios en la calidad de las aguas del río si estas transcurren por el cauce natural del río Vinalopó o si discurren por el cauce artificial configurado por la Acequia Mayor del Pantano de Elche (AMP).*

Para ello, se realizan muestreos de aguas (de Noviembre 2015 a Febrero 2016) en el punto donde se bifurcan las aguas, el azud de “Les Taules”, y transcurridos aproximadamente tres kilómetros de permanencia de las aguas en los dos cauces (natural y artificial).

Así, los objetivos específicos que se persiguen son:

- Recopilación de referencias y bibliografía sobre el tema.
- Realizar muestreos de las aguas mensuales para determinar la calidad de las mismas.
- Analizar los parámetros físico-químicos propuestos en este estudio.
- Comparar las calidades de las aguas tras su paso por los cauces.
- Elaborar este trabajo fin de grado y obtener las conclusiones del mismo.

### 3.MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO (RÍO VINALOPÓ)

El Valle del río Vinalopó ha quedado descrito en la introducción y las acciones a lo largo de todo su cauce serán las que determinan la calidad de las aguas a la entrada al municipio de Elche, que se realiza en el Pantano de Elche (fotografía 1).



*Fotografía 1: Pantano de Elche (fuente: Prof. J. Navarro Pedreño).*

Tras esta obra, se encuentra el azud de “Les Taules” (pequeño represamiento en el cauce del río, denominado así por la casa de madera cubría la compuerta que regulaba el desvío de aguas), desde el que se produce la desviación de parte de las aguas a la Acequia Mayor del pantano, mientras que el resto discurre por el cauce natural (fotografía 2). Ambos circulan casi paralelos hasta la entrada a la ciudad de Elche.



*Fotografía 2: Azud de la “casa de Les Taules” o de “Les Taules” (fuente: Prof. J. Navarro Pedreño).*

### 3.2. PUNTOS DE MUESTREO Y TOMA DE MUESTRAS

La selección de los puntos de muestreo a lo largo del cauce del río Vinalopó y la acequia mayor, fueron tres. Uno previo a la bifurcación del río Vinalopó (primer punto de muestreo), en la presa pequeña o azud desde la que se separa en dos tramos el caudal. Tras la pequeña cascada de aproximadamente tres metros, sigue el cauce natural del río por un lado y el canal por otro (tras la compuerta). El segundo punto de muestreo se toma en el río, bajo el puente del “Bimil·lenari”, justo antes de la entrada a la ciudad y previo al cauce artificial del río. El tercer punto se muestrea en el canal principal de la Acequia Mayor del Pantano, paralelamente al río en la margen izquierda, antes de la llegada a los principales elementos de reparto de agua, los ramales secundarios alimentados por los partidores de agua.

Los puntos de muestreo 2 y 3 se encuentran a una distancia aproximada de 3 km, siguiendo el curso de las aguas, desde la presa del Azud de “Les Taules”.



**1º PUNTO DE MUESTREO: AZUD DE LES TAULES**

-Coordenadas Geográficas:

38º18'3.5"N 0º43'13.4"W

- Punto ubicado en el Azud de Les Taules aguas abajo del pantáno. En este punto se bifurca el agua del río en dos cauces, uno el curso natural y otro el de la Acequia Mayor.



**2º PUNTO DE MUESTREO: BAJO EL PUENTE DEL BIMILENARIO DE ELCHE**

-Coordenadas Geográficas:

38º16'45.1"N 0º42'07.2"W

- Punto ubicado debajo del puente del Bimilenario de Elche, cuyo acceso es reducido por una larga bajada junto a unos campos antes de la rotonda de entrada a dicho puente.



**3º PUNTO DE MUESTREO: ACEQUIA MAYOR DEL PANTÁNO**

-Coordenadas Geográficas:

38º16'40.5"N 0º42'00.9"W

- Punto ubicado en el Camino Fábrica Ferrández el cual tiene su entrada a la derecha del Camí del Pantá en dirección al centro de la ciudad.

*Figura 3: Localización de los puntos de muestreo. (fuente: Joan Risueño Cabanes)*

A la hora de realizar los muestreos se utilizó una pértiga toma-muestras con cazoleta de acero, botellas con tapa y rosca de cierre hermético de 2 litros de volumen, guantes de látex, y neveras para aislar y guardar refrigeradas las botellas durante el trayecto desde los puntos de muestreo hasta el laboratorio.

El procedimiento de muestreo consistió en extraer agua de una zona con un flujo más o menos constante, situada en el centro de la corriente y a una profundidad intermedia.

Se deben tener una serie de precauciones entre ellas la más importante es la de homogeneizar tanto el cazo como la botella (dos veces) antes de recoger la muestra definitiva.

Por último, es idóneo que se llene del todo la botella antes de poner la tapa hermética ya que, de este modo, evitamos que queden burbujas de aire que puedan alterar la calidad de la muestra.

Las muestras, una vez tomadas, se llevaron directamente al laboratorio para su análisis inmediato. Mientras se realizan análisis en las alícuotas correspondientes, el resto de muestra se mantienen en cámara fría a 4°C hasta su posterior análisis.

Los muestreos se desarrollaron mensualmente desde Noviembre de 2015 a Febrero de 2016, una vez por mes. Cabe destacar que estos cuatro muestreos se llevaron a cabo en la época de otoño-invierno en la que debido a estas condiciones climáticas hay más precipitaciones y, por tanto, una mayor cantidad de escorrentía.

A continuación, se muestra una tabla con la precipitación media para los 15 días previos al muestreo de cada mes (SIAR 2017).

*Tabla 1: Precipitación media previa a los días de muestreo.*

<b>Mes de Muestreo</b>	<b>Precipitación media (mm)</b>
<b>Noviembre</b>	41,6
<b>Diciembre</b>	0,4
<b>Enero</b>	0
<b>Febrero</b>	0

### 3.3 MATERIAL UTILIZADO

- Material de campo:

A la hora de realizar los muestreos se utilizó una pértiga con cazoleta de acero para la toma de muestras, botellas con tapa y rosca de cierre hermético de 2 litros de volumen, guantes de látex, termómetro, rotulador y neveras para aislar y guardar refrigeradas las botellas durante el trayecto desde los puntos de muestreo hasta el laboratorio

- Material preparativo de laboratorio:

A la hora de analizar las muestras recogidas en campo se utilizó el siguiente material: vidrios de reloj, filtros, guantes de látex, micropipetas, vasos de precipitados de 250 y 100 mL estufa, sistema de filtración formado por kitasato, bomba de vacío, y goma de filtración, agua destilada y rotuladores permanentes.

### 3.4. PARÁMETROS Y MÉTODOS ANALÍTICOS

Una consideración que queremos indicar es que se ha optado por utilizar como símbolo del litro la letra “L”, por la tipografía empleada y para evitar confusión con el uso de “l”, aunque entendemos que al no derivar de nombre propio como en el caso de Siemens (S), no es la forma habitual de nomenclatura para estas unidades, aunque se puede constatar una cierta generalización de este símbolo en las publicaciones científicas actuales.

Los parámetros analizados en este trabajo han sido los siguientes:

1. Temperatura: Este parámetro se midió directamente en el momento de la toma de muestras, usando un termómetro.
2. pH: Este parámetro se midió según el método estándar de análisis de aguas 4500-H+ (APHA-AWWA-WEF, 2005) con un pH-metro CRISON modelo GLP 21 a 20°C siguiendo el método electrométrico establecido habitualmente.

3. Conductividad eléctrica (CE): Este parámetro se analizó según el método estándar de análisis de aguas 2510 mediante el uso del conductivímetro CRISON GLP 31 a 25°C (APHA-AWWA-WEF, 2005).
4. Demanda química de oxígeno (DQO): Este parámetro se analizó utilizando una técnica espectrofotométrica. Para ello se utilizó un fotómetro Thermo Scientific Orion AQUAfast AQ3700 y el kit correspondiente para la DQO que consiste en el empleo de dicromato potásico y ácido sulfúrico, midiendo a una longitud de onda de 430 nm y en un rango de 0 – 150 mg/L de O<sub>2</sub>, correspondiendo con la metodología de análisis número 130 de la guía de uso facilitada por Orion®.
5. Sólidos totales en suspensión (TSS): La medición de estos se llevó a cabo mediante filtración (cuyo modelo de filtro fue Glass Microfiber Circles, grado GF3, con un diámetro de 47 mm) y gravimetría, empleando un kitasato, bomba de vacío, estufa de secado a 105 °C y balanza de precisión.
6. Amonio: Para este parámetro, se utilizó un fotómetro Thermo Scientific Orion AQUAfast AQ3700 y el kit correspondiente al amonio que consiste en el empleo de salicilato, produciendo una reacción colorimétrica que permite medir a una longitud de onda de 660 nm y con un rango entre 0,02-2,5 mg/L de N, correspondiendo con la metodología de análisis número 65 de la guía de uso facilitada por Orion®.
7. Nitritos: En el análisis de este parámetro se usó un fotómetro Thermo Scientific Orion AQUAfast AQ3700 y el kit correspondiente a los nitritos que consiste en el uso de N-(1-Naftil)-etilendiamina, usando una longitud de onda de 560 nm y en un rango de 0,01-0,5 mg/L de N, correspondiendo con la metodología de análisis número 270 de la guía de uso facilitada por Orion®.
8. Sulfatos: Para la medición de este parámetro, se usó un fotómetro Thermo Scientific Orion AQUAfast AQ3700 y el kit correspondiente a los sulfatos que consiste en el uso de cloruro de bario formando un precipitado de sulfato de bario. Posteriormente por nefelometría, se mide a una longitud de onda de 610 nm en un rango de 5-100 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, correspondiendo con la metodología de análisis número 355 de la guía de uso facilitada por Orion®.

9. Fosfatos: en el análisis de este parámetro, también se usó un fotómetro Thermo Scientific Orion AQUAfast AQ3700 y el kit correspondiente a los fosfatos que consiste en la utilización de ácido ascórbico, determinando colorimétricamente a una longitud de onda de 660 en un rango de 0,06-5 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$ , usando su correspondiente método de análisis número 324 de la guía de uso facilitada por Orion®.

### 3.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Una vez que se obtuvieron los datos de muestreo, se procedió al tratamiento estadístico para observar si existen o no diferencias significativas entre los puntos de muestreo analizados, con especial interés entre el segundo y tercer punto de muestreo ya que nos pueden dar información sobre la capacidad de autodepuración de las aguas en los cauces natural y artificial. Esto nos permitirá constatar si alguno de los parámetros estudiados presenta variaciones importantes.

Para ello, se ha llevado a cabo el cálculo de datos de estadística descriptiva como la media, la desviación estándar reflejados en las gráficas representadas en el punto 5, así como la realización del test ANOVA mediante el programa IBM SPSS Statistics v.23.

## 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describen los resultados obtenidos de los parámetros analizados en las aguas, considerando los valores en los tres puntos de muestreo, el inicial que es común y los otros dos, tras el paso por los cauces natural y artificial.

Cabe destacar que de todos los parámetros analizados existen algunos de los que no se han obtenido resultados significativos (ns). Dicho esto, los resultados obtenidos han sido los siguientes.

### 4.1. Temperatura

En el caso de la temperatura, puede observarse una disminución de esta con el paso de los meses, con una temperatura máxima de 15,5°C y una temperatura mínima de 12,0°C. Los datos recogidos para este parámetro muestran ciertas diferencias, especialmente en el mes de noviembre. Es posible que la diferente exposición al sol del canal frente al río, que recibe más insolación, pueda influir en este parámetro.

*Tabla 2: Datos obtenidos de Temperatura*

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (°C)			
<b>1º Punto de muestreo</b>	15,1	12,2	12,5	12,2
<b>2º Punto de muestreo</b>	15,5	12,1	11,6	12,2
<b>3º Punto de muestreo</b>	13,5	12,0	12,0	12,3
<b>ANOVA</b>	271,7	1,3	26,3	2,4
<b>P-Valor</b>	<0,001***	0,343ns	<0,001***	0,171ns

## 4.2. pH

En el caso de pH, se ha observado una regularidad en los datos de este parámetro con un ligero incremento en los datos de la Acequia Mayor. Algunos estudios demuestran que esto se podría deber a la disolución de los carbonatos en el agua (Faradiella et al., 2004), al estar construida la Acequia Mayor con mortero calizo. Esta razón justificaría el ligero incremento en la basicidad mostrado por nuestros datos. Sin embargo, no parecen resultados significativos.

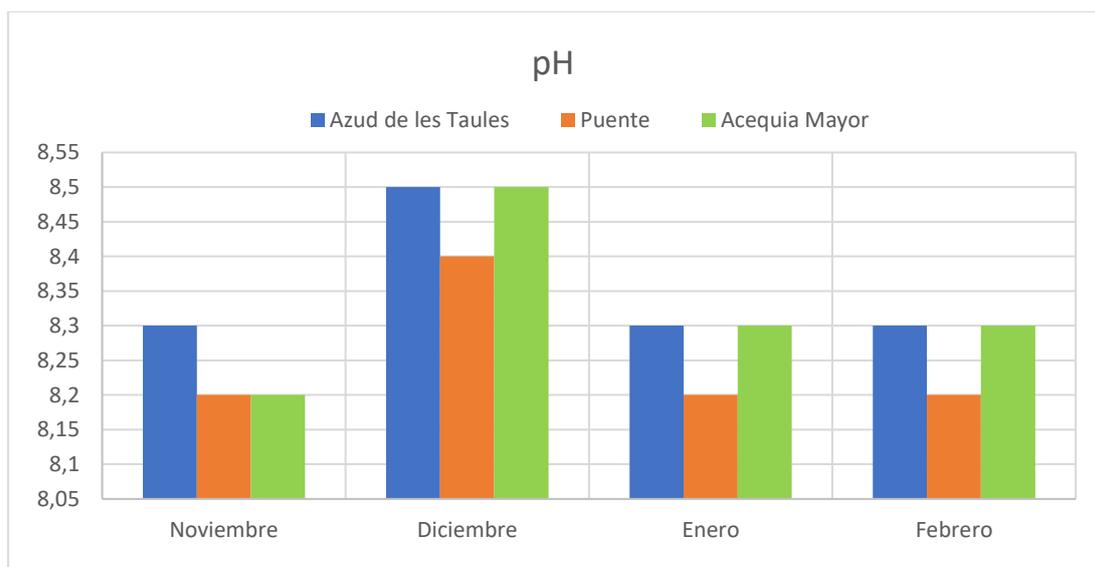


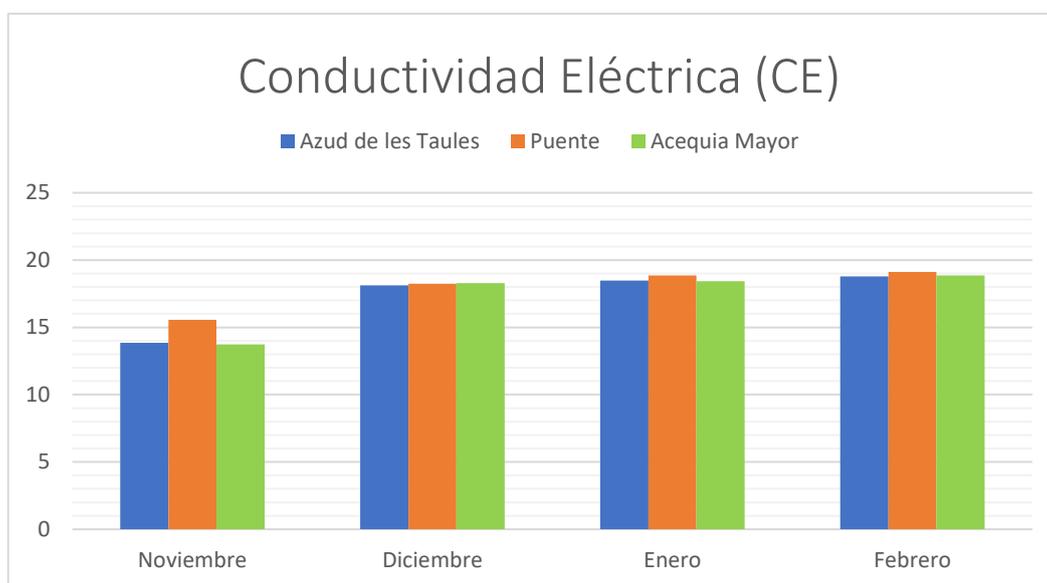
Figura 4: Valores de pH obtenido en los puntos de muestreo.

Tabla 3: Datos obtenidos de pH

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (uds. de pH)			
1º Punto de muestreo	8,3	8,5	8,3	8,3
2º Punto de muestreo	8,2	8,4	8,2	8,2
3º Punto de muestreo	8,2	8,5	8,3	8,3
<b>ANOVA</b>	3,3	5,3	3	1,4
<b>P-Valor</b>	0,106ns	0,048*	0,125ns	0,317ns

### 4.3. Conductividad Eléctrica (CE)

En el caso de este parámetro, se ha observado un aumento en los datos recogidos en el segundo punto de muestreo, por encima del primer y tercer punto. Aunque estadísticamente no se concluye que todos los meses suceda este hecho, es posible que en la Acequia Mayor se puedan dar reacciones de precipitación con carbonatos y por ello, la CE disminuye a su paso por la Acequia, fenómeno que se ha demostrado en otros ejemplos (Boyd, 2015). Por tanto, según las condiciones, podría por un lado producirse una descalcificación de la argamasa del canal y por otro, esta presencia de carbonatos puede favorecer la precipitación de otros elementos. Este hecho sucede de forma notable en el primer muestreo, tras las intensas lluvias. En este mismo, las escorrentías que llegan al río tras el azud, pueden justificar el aumento de la CE.



*Figura 5: Valores de CE obtenidos en los puntos de muestreo*

Tabla 4: Datos obtenidos de CE

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (mS/cm)			
1º Punto de muestreo	13,86	18,13	18,47	18,78
2º Punto de muestreo	15,56	18,23	18,86	19,12
3º Punto de muestreo	13,74	18,28	18,43	18,85
ANOVA	114,296	0,295	4,307	9,806
P-Valor	<0,001***	0,755ns	0,069ns	0,013*

#### 4.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

En el caso de este parámetro, se han observado una cierta regularidad en los datos obtenidos para la DQO a lo largo de los meses. Los datos obtenidos para este parámetro no han resultado significativos.

Tabla 5: Datos obtenidos de DQO

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (mg/L de O <sub>2</sub> )			
1º Punto de muestreo	36,7	35,2	88,2	41,3
2º Punto de muestreo	40,7	32,9	82,1	35,9
3º Punto de muestreo	36,5	75,1	26,0	38,7
ANOVA	3,013	1,923	2,794	0,111
P-Valor	0,124ns	0,226ns	0,174ns	0,897ns

#### 4.5. TSS

Para este parámetro, los datos han presentado una cierta uniformidad, exceptuando, sin embargo, un mayor valor en el primer mes de muestreo (tras las copiosas lluvias). Las precipitaciones previas al día de toma de muestras se indican en la Tabla 1 (SIAR, 2017). Estas pudieron alterar el caudal del río generando un incremento del material arrastrado hacia este.

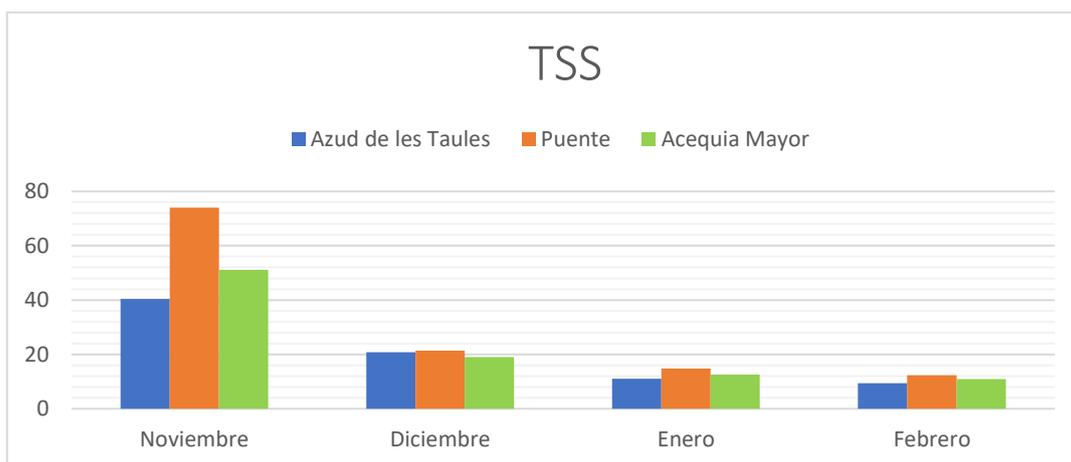


Figura 6: Valores de TSS obtenidos en los puntos de muestreo.

Tabla 6: Datos obtenidos de TSS

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (g/L)			
<b>1º Punto de muestreo</b>	40,4	20,8	11,0	9,4
<b>2º Punto de muestreo</b>	74,0	21,4	14,8	12,3
<b>3º Punto de muestreo</b>	51,1	19,0	12,6	10,9
<b>ANOVA</b>	7,498	1,129	1,984	1,109
<b>P-Valor</b>	0,023*	0,384ns	0,218ns	0,389ns

Análogamente a lo que sucede con la CE, el tramo del río situado entre el azud y el punto de muestreo, muestra mayor contenido de TSS, lo que indica que durante ese recorrido recibe aportes que hacen variar ambos parámetros.

#### 4.6. Amonio

En el caso de este parámetro, se observó un marcado aumento de los registros obtenidos en el primer mes de muestreo, este incremento puede estar ligado, al aporte fluvial de nitrógeno, pudiendo provenir de diversos orígenes (aguas fecales y fertilizantes agrícolas), como indican otros autores (Boyd, 2015).

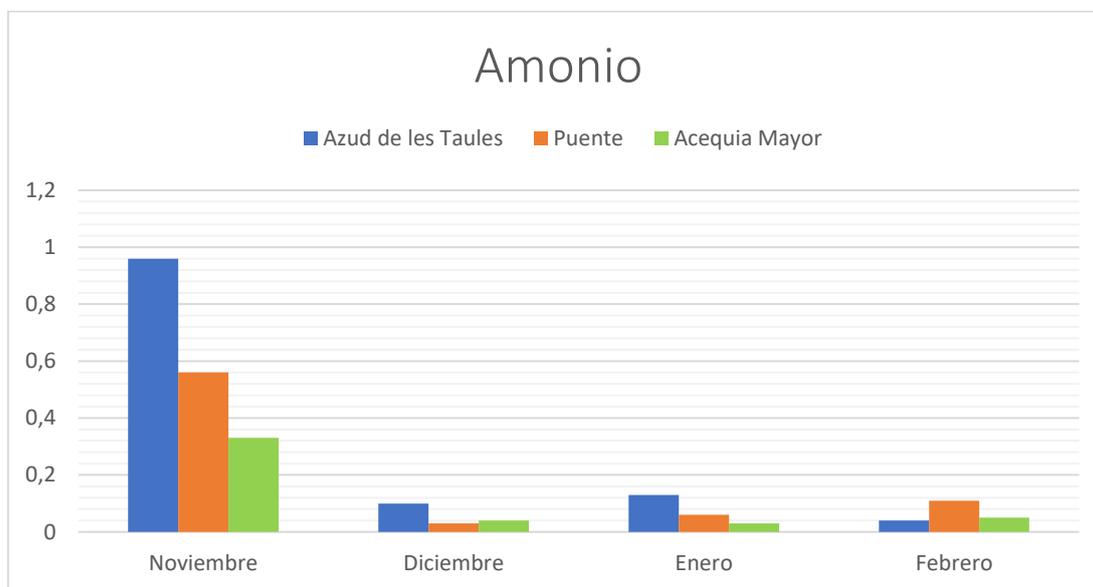


Figura 7: Valores de amonio en los puntos de muestreo.

Tabla 7: Datos obtenidos de Amonio

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (mg/L de N)			
1º Punto de muestreo	0,96	0,10	0,13	0,04
2º Punto de muestreo	0,56	0,03	0,06	0,11
3º Punto de muestreo	0,33	0,04	0,03	0,05
<b>ANOVA</b>	17,541	15,5	24,639	4,012
<b>P-Valor</b>	0,003**	0,004**	0,001**	0,078ns

#### 4.7. Nitritos

Para este parámetro, se ha observado una uniformidad en los datos recogidos, sin significancia estadística, variando entre 0,35 y 0,11 mg/L de N. Los valores obtenidos no han resultado ser significativos.

*Tabla 8: Datos obtenidos de Nitritos*

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (mg/L de N)			
<b>1º Punto de muestreo</b>	0,35	0,18	0,22	0,23
<b>2º Punto de muestreo</b>	0,14	0,08	0,10	0,11
<b>3º Punto de muestreo</b>	0,07	0,07	0,08	0,11
<b>ANOVA</b>	49,4	45,5	29,4	60,5
<b>P-Valor</b>	0,076ns	0,487ns	0,414ns	0,347ns

#### 4.8. Sulfatos

En el caso de este parámetro, se observa una mayor presencia de estos a lo largo del cauce fluvial del río (formado por los puntos 1 y 2), frente a la Acequia Mayor (punto 3). Esta situación podría ser debida a los aportes de sulfatos provenientes de materiales triásicos presentes a lo largo del cauce del Vinalopó con más facilidad que en el caso del agua que discurre encajonada en la acequia. Muchos de estos materiales presentan yesos, que debido a su baja solubilidad pueden ser lavados hacia el cauce.

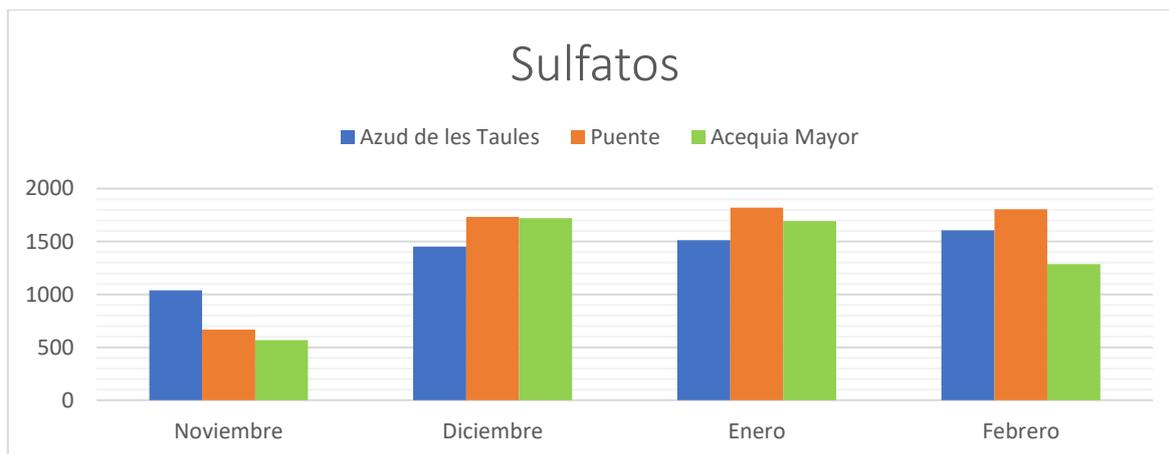


Figura 8: Contenido de sulfatos en las aguas en los puntos muestreados.

Tabla 9: Datos obtenidos de Sulfatos

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (mg/L de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )			
1º Punto de muestreo	1040,0	1453,3	1513,3	1606,7
2º Punto de muestreo	666,7	1733,3	1820,0	1806,7
3º Punto de muestreo	566,7	1720,0	1693,3	1286,7
ANOVA	2,17	3,91	2,09	17,01
P-Valor	0,152ns	0,082ns	0,205ns	0,003*

#### 4.10. Fosfatos

En el análisis de este parámetro, se observa un incremento en los valores del primer mes. Esto, como en casos anteriores puede estar en relación al aporte fluvial asociado a las precipitaciones, al ser noviembre el mes en el que se encuentran en mayor proporción.

En este caso, no se ha encontrado significancia estadística.

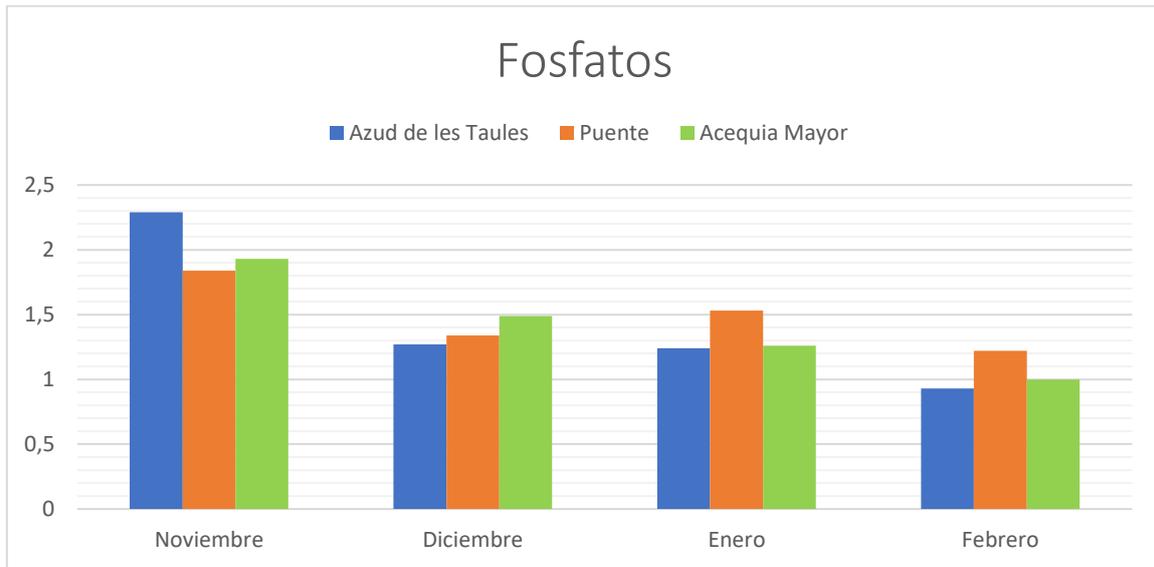


Figura 9: Contenido de fosfatos libres en el agua en los tres puntos de muestreo.

Tabla 10: Datos obtenidos de Fosfatos

Punto de muestreo	Meses de muestreo			
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	Media (mg/L de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )			
1º Punto de muestreo	2,29	1,27	1,24	0,93
2º Punto de muestreo	1,84	1,34	1,53	1,22
3º Punto de muestreo	1,93	1,49	1,26	1,00
ANOVA	0,473	0,124	0,558	0,618
P-Valor	0,6ns	0,9ns	0,6ns	0,6ns

## 5. CONCLUSIONES

Sobre la base de los objetivos indicados anteriormente en este trabajo, podemos concluir que no se pueden indicar claras diferencias en cuanto a la calidad de las aguas en los puntos de muestreo, aunque para determinados parámetros se han encontrado diferencias con significancia estadística.

Cabe destacar que estos parámetros fisicoquímicos se han visto afectados claramente por la presencia de precipitaciones los días previos a la toma de muestras. Así, los valores recogidos para el primer mes de muestreo, noviembre, fueron más altos en general, respecto al resto de meses de muestreo, e influyeron en parámetros como TSS, amonio y fosfatos.

Para finalizar, en relación con la calidad de aguas tras su paso por diferentes cauces, podemos indicar que no se han encontrados patrones a corto plazo en cuanto al comportamiento relacionado con la depuración o cambio en las calidades de las aguas. Pero se han encontrado diferencias como en el caso del pH en la Acequia Mayor, mientras que en los restantes (conductividad eléctrica (CE), sólidos en suspensión (TSS), amonio, sulfatos y fosfatos), se ha observado un incremento de estos en el punto de muestreo situado en el río Vinalopó.

Sin duda, para obtener conclusiones más relevantes, sería necesario realizar un seguimiento exhaustivo con mayor número de muestreos y prolongado en el tiempo. Este nos permitiría determinar con claridad cuáles son los parámetros en los que influyen los dos tipos de cauces, el natural y el artificial.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

### 6.1. Referencias Bibliográficas

- APHA-AWWA-WEF (2005). “Standars Methods for examination of water and wastewater 21st Edition”. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). Washington DC.
- Boyd, C.F. (2015). “Water Quality. And Introduction”. London: Springer International Publishing Switzerland.
- Calvo, R.M. (1980). “Efectos de la vegetación sobre las propiedades del suelo: ciclo del agua y elementos.” Universidad de Santiago de Compostela.
- Castaño, S., Sánchez, J. y Murillo, J.M. (2009). “Antecedentes y Metodología”. En Diputación Provincial de Alicante (DPA) e Instituto Geológico y Minero de España (IGME); (Dirs); *Alternativas de Gestión en el Sistema de Explotación Vinalopó-L’Alcantí* (pp. 11-15). Alicante: Tábula/5ª Impresión.
- Consejo de Europa (1968). “Carta europea del agua”. Estrasburgo.
- Dugo, M., González, M.A. y Cabezal L.M. (1995). “Hidrología. El agua atmosférica: evaporación e infiltración”. Lugo: Unicopia, D.L.
- Estevan, A. y Naredo, J.M. (2004). “Ideas y Propuestas para un Nueva Política del Agua en España”. Bakeaz / Fundación Nueva Cultura de Agua, Bilbao.
- Faradiella, K., Siti, M. and Mohd, M.Z. (2014). LIMESTONE-BASED CLOSED REACTOR FOR PASSIVE TREATMENT OF HIGHLY ACIDIC RAW WATER. *International Journal od Research In Earth & Environmental Sciences*, 2(1), 13-23.
- García, S. (1964). “Evolución agraria de Villena hasta fines del s. XIX. Seminario de Geografía 1964”. Universidad de Valencia.
- MINAM (2000). “Libro blanco del agua en España”. Ed. Ministerio de Medio Ambiente (MINAM). Madrid.
- Polo, S., Navarro-Pedreño, J., Meléndez, I., Gómez, I., Mataix, J. (2014). “El canal del desvío del Pantano de Elche”. Ed. Comunidad de Propietarios de la AMP y de Marchena, Elche.
- Sogorb, M.A., Vilanova, E. (2004). “Técnicas analíticas de contaminantes químicos”. Editorial Díaz de Santos.

- Vandas S.J., Winter T.C., Battaglin W.A. (2002). *“Water and the environment”*. Ed. American Geological Institute, Alexandria, EEUU.
- Chiu, P., (2009). *“Thermo Scientific Orion. AQUAfast AQ3700 Colorimetry Meter. User Guide”*. Beverly, MA: Thermo Scientific Orion.

## 6.2. Consultas en internet.

- BOE núm. 205, de 27 de agosto de 1999, páginas 31838 a 31860 (23 págs.). III. Otras disposiciones. Ministerio de Medio Ambiente. BOE-A-1999-18186 de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1999-18186>.
- Burge, L.M. (2004). Testing links between river patterns and in-channel characteristics using MRPP and ANOVA. Recuperado en 4 de julio de 2017 de [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Castañeda. R., (2014). El Agua en la República Mexicana. Recuperado en 25 de mayo de 2017 de <https://es.slideshare.net/raulcc1950/el-agua-en-la-repblica-mexicana>.
- CHJ (2010). Adecuación Hidráulica y Medioambiental en el río Vinalopó. Recuperado el 28 de julio de 2017 de [www.chj.es](http://www.chj.es) .
- SIAR (2017) Sistema de Información Agroclimática para el Regadío, Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado el 31 de Julio de 2017 de <http://portal.mapama.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>
- USGS (2013) The Water Cycle. Recuperado el 29 de mayo de 2017 de <https://www.usgs.gov/>
- Revista Ambientum (2002). Autodepuración de Aguas. Recuperado el 17 de junio de 2017 de [www.ambientum.com/revista/2002](http://www.ambientum.com/revista/2002).