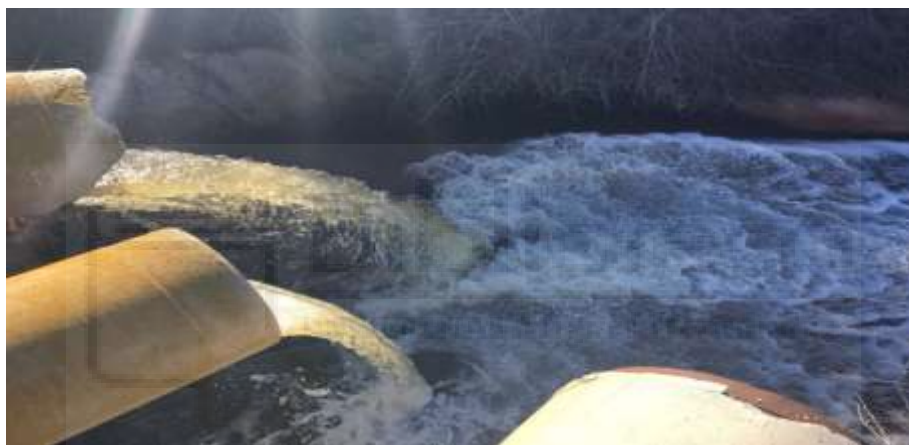


CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO VINALOPÓ AGUAS ABAJO DEL VERTIDO DE LA EDAR VALLE DEL VINALOPÓ (NOVELDA – MONFORTE DEL CID)



José Rubén Coves Maciá

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

DEPARTAMENTO DE AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE

ÁREA DE GEODINÁMICA EXTERNA

JULIO, 2018

Tutores académicos

Victoria Arcenegui Baldo y Ernesto García Sánchez.

Agradecimientos

A mi novia, por haberme ayudado en los momentos más difíciles y por haber sido mi sustento emocional durante los últimos meses. Te quiero.

A mi familia, por saber escucharme y ser mi guía durante estos cuatro años. Todo lo que soy ahora mismo es gracias a vosotros.

A mi mejor amigo Álex, al que le agradezco todo el apoyo que me ha dado y los grandes momentos que hemos pasado juntos.

A Andrea y María, porque ya habéis pasado a ser parte de mi familia y por haberme ayudado tanto estos años de carrera.

A mis profesoras Belén y Ana, por ayudarme tantas veces en el laboratorio y por compartir sus conocimientos conmigo.



Resumen

En el presente trabajo se aborda el estudio inicial de la composición de las aguas del río Vinalopó a su paso por la EDAR Valle del Vinalopó. Debido a que los registros de las composiciones de las aguas en esta zona son muy escasos, se busca obtener una serie de datos asociados a la calidad de las aguas que permitan establecer una base comparativa para futuros proyectos en la zona. Esto se llevó a cabo mediante el análisis de varios parámetros físico-químicos y microbiológicos. Se realizaron un total de tres muestreos trimestrales a lo largo de ocho puntos situados en las zonas del cauce que presentan características diferenciadoras las cuales permitieron describir mediante el análisis en el laboratorio la evolución espacio-temporal de la composición de las aguas. Los resultados obtenidos confirman que, al igual que en la mayor parte del cauce del río Vinalopó, en la zona estudiada las aguas presentan una calidad deficiente. Con el fin de establecer las causas que han ocasionado el deterioro de la calidad, se ha establecido una relación entre los resultados obtenidos y las posibles fuentes de contaminación asociadas.

Palabras clave: Vinalopó, calidad aguas, parámetros físico-químicos, evolución espacio-temporal, fuentes de contaminación.

Abstract

The current research tackles the initial study of Vinalopó's riverine water composition as it passed throughout the WWTP "Valle del Vinalopó". Due to a lack of water composition records, this study is based on data collection related to water quality in order to establish a comparative base to future projects in the studied zone. To do it, physico-chemical and microbiological parameters have been studied. In total, three measurements have been measured on a quarterly basis through a pathway of eight points situated in specific places of the riverbed which presented different characteristics which in turn, through laboratory analysis, have been used to describe the spatial and temporal variation of the water composition. The obtained results confirm poor water quality in the studied zone, as expected when comparing it with the majority of the water present in the riverbed. In order to find the causes of water degradation, a relation has been established between the obtained results and the associated sources of pollution.

Key words: Vinalopó, water quality, physico-chemical parameters, time-spatial variation, sources of pollution.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Agua como recurso básico.....	6
1.2 Problemática actual de la cuenca del Medio Vinalopó	7
1.3 El sistema hídrico del medio Vinalopó	8
1.4 Demandas del sistema	8
1.5 Localización	10
1.6 Antecedentes	11
2. OBJETIVOS	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Zona de estudio	13
3.1.1 Caracterización del clima.....	13
3.1.2 Hidrología	14
3.1.3 Geomorfología	14
3.1.4 Vegetación	15
3.1.5 Fauna.....	15
3.2 Campaña de muestreo	16
3.3 Puntos de estudio.....	17
3.4 Metodología.....	21
3.4.1 Métodos de muestreo	21
3.4.2 Parámetros analizados.....	22
3.4.3 Análisis estadístico	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Temperatura.....	24
4.2 Conductividad Eléctrica (CE)	25
4.3 Potencial de hidrógeno (pH).....	26
4.4 Sólidos en suspensión totales (SST).....	27
4.5 Nitratos	28
4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	30
5. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA	31
5.1 Conclusiones	31
5.2 Proyección futura	31
6. BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXO I. Métodos analíticos.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PRESIONES ANTRÓPICAS A LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	7
FIGURA 2. DEMANDAS EN EL MEDIO VINALOPÓ.....	9
FIGURA 3. ORTOFOTOGRAFÍA EN LA QUE SE MUESTRA LA LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	11
FIGURA 4. ESTADO DE LAS AGUAS DEL RÍO VINALOPÓ EN DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	12
FIGURA 5. DIAGRAMA OMBROTÉRMICO MONFORTE DEL CID.....	13
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO.....	17
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL ZONA 1, PUNTOS 1-4.....	18
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL ZONA 2, PUNTOS 5,6 Y 7.....	19
FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL ZONA 2, PUNTO 8.....	20
FIGURA 10. PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO DEL CAUCE DEL RÍO VINALOPÓ ESTUDIADO.....	21
FIGURA 11. VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA TEMPERATURA.....	24
FIGURA 12. VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	25
FIGURA 13. VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DEL PH.....	26
FIGURA 14. VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	27
FIGURA 15. MEDIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SST DURANTE LOS TRES MUESTREOS.....	28
FIGURA 16. VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL EN LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS.....	29
FIGURA 17. VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.....	30
FIGURA 18. CURVA CALIBRACIÓN DE LAS MUESTRAS PATRÓN.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRINCIPALES UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL VINALOPÓ.....	8
TABLA 2. FUENTES DE SUMINISTRO DE LA DEMANDA DEL SISTEMA MEDIO VINALOPÓ (HM ³).....	9
TABLA 3. FECHAS MUESTREOS.....	16
TABLA 4. LOCALIZACIÓN, ALTITUD Y DISTANCIA DE LOS PUNTOS MUESTREADOS.....	20

ABREVIATURAS

OMM: Organización Meteorológica Mundial.

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.

UTM: Universal Transverse Mercator.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno.

m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar.

PNOA: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea.

ISO: International Organization for Standardization

1. INTRODUCCIÓN

El agua ha sido y será una de las sustancias más importantes y posee un gran valor ecosistémico, condicionando en muchos de los casos al normal desarrollo de los ecosistemas presentes en una determinada zona. Los ecosistemas mediterráneos siempre estarán afectados de forma directa por la abundancia de este recurso, por lo que disponer de una buena calidad de dicho elemento en los periodos con más escasez será primordial en cuanto al correcto desarrollo del ecosistema.

En términos de calidad, el agua es una sustancia esencial para mantener la vida, impregna nuestras vivencias diarias y está profundamente arraigada en nuestra cultura. Las necesidades básicas humanas de abastecimiento seguro de alimentos e inmunidad frente a las enfermedades dependen de ella (Annan, 2007).

1.1 Agua como recurso básico

La disponibilidad de agua dulce es uno de los grandes problemas que se plantean en la actualidad, ya que la escasez de dicho recurso afecta de forma negativa a la vida de millones de personas (OMM, 1997). El agua es esencial para la vida y el desarrollo de las sociedades. Tanto es así que está implicada en los procesos metabólicos, en la nutrición y en la eliminación de desechos de las células de los seres vivos (Longhi, 1995).

Este recurso tan preciado cubre más del 70% de la superficie del planeta Tierra, de la cual, un 97,5% es poco apta para el consumo humano ya que se trata de aguas saladas que contienen un porcentaje elevado de sales disueltas que determinan su calidad en relación con otros compartimentos ambientales. Por lo tanto, se dispone únicamente de un 2,5% de agua dulce, casi toda ella congelada en las profundidades de la Antártida y Groenlandia (Cirelli, 2012). Estas tres cuartas partes de agua están ocupadas en la superficie terrestre, en los océanos, lagos, ríos, humedales, glaciares y en los polos. También puede estar presente en forma de vapor de agua en la atmósfera en concentraciones variables dependiendo de la zona terrestre (Arroyo, 2007).

El agua no se distribuye de forma homogénea por la superficie terrestre, tampoco es igual la cantidad y el estado en el que se encuentra (calidad del agua atendiendo a factores físicos, químicos y biológicos). Es por ello que existe la actual desigualdad en los recursos del agua en los diferentes países del mundo.

Las actividades humanas modifican en mayor o menor medida el ciclo hidrogeológico y pueden llegar a contaminar de forma drástica el agua disponible (Figura 1). Ejemplos de eliminación de la vegetación, los usos del suelo, las actividades antrópicas en medios naturales (grandes construcciones, industrias, agricultura intensiva, etc.) y muchas otras de ellas pueden llegar a modificar el balance hidrológico (OMM, 1997). Se define como ciclo hidrológico por tanto, el proceso mediante el cual se realiza el suministro de agua para las plantas, los animales y el ser humano mediante un recorrido cíclico cerrado (Maderey, 2005).



Figura 1. Presiones antrópicas a los recursos hídricos. Fuente: OMM (1997).

1.2 Problemática actual de la cuenca del Medio Vinalopó

La comarca del Vinalopó ha estado sujeta tradicionalmente a un sistema hídrico basado en numerosas actuaciones, trabajos y estudios. Históricamente, el Valle del Vinalopó ha sufrido un intenso déficit hídrico fruto del desarrollo de los nuevos regadíos a mitad del siglo XX. Una de las opciones para acabar con este déficit fue el aprovechamiento de los recursos subterráneos, que provocó un aumento de las demandas agrícolas junto a una mayor presión sobre los acuíferos, que empezaron a sufrir procesos de sobreexplotación y deterioro de la calidad de sus aguas (IGME, 2001). A este hecho se suma la creciente demanda de tipo urbana e industrial debido al aumento de la población en el territorio (Montesinos, 2010).

Una parte de la problemática se ha aportado por la Mancomunidad de Canales del Taibilla para abastecimiento urbano de algunos municipios del Bajo Vinalopó, Campo de Alicante y Medio Vinalopó. También se ha incrementado la reutilización de las aguas residuales urbanas depuradas para regadío (Melgajero et al, 2017).

Se ha de tener en cuenta que las situaciones planteadas no han conseguido satisfacer todo el conjunto de demandas del sistema hasta el momento, hecho que supone una continuidad en cuanto a la explotación de los sistemas acuíferos del Alto y Medio Vinalopó, como principal fuente de recursos hídricos disponible. Como posible medida para satisfacer casi la totalidad del conjunto de demandas del sistema, la Diputación de Alicante (2010) ha planteado como solución la importación de agua excedentaria del sistema de explotación Júcar, con el fin de minimizar los bombeos actuales.

1.3 El sistema hídrico del medio Vinalopó

Los acuíferos asociados a la zona del medio Vinalopó son las principales fuentes de suministros hídricos. En términos de cuantía, son relativamente inferiores los aprovechamientos de aguas residuales depuradas y del Canal del Taibilla en los municipios de Aspe y Hondón de las Nieves (Tabla 1).

Tabla 1. Principales unidades hidrogeológicas en la cuenca del Vinalopó. Fuente: Diputación Alicante (2010).

Unidades Hidogeológicas			
08.35	Jumilla-Villena	08.43	Argueña-Maigmo
08.36	Yecla-Villena-Benejama	08.49	Agost-Monnegre
08.40	Sierra Mariola	08.50	Sierra del Cid
08.41	Peñarrubia	08.51	Quibas
08.42	Carche-Salinas	08.52	Sierra de Crevillente

Las aguas que llegan al tramo final del río presentan una muy baja calidad a su paso por el Medio Vinalopó. Esto se debe a los altos contenidos en sales disueltas procedentes de la formación arcilloso-evaporítica del Keuper sobre la que discurren, así como los vertidos industriales y urbanos que aumentan su mala calidad. Algunas comunidades de regantes en la actualidad cubren el 30% de sus demandas de agua con los aportes de aguas superficiales procedentes de la Mancomunidad de Canales del Taibilla.

Otro factor que cada vez está adquiriendo más importancia es la reutilización de las aguas por parte de las depuradoras de aguas residuales (EDARs). En la zona de estudio, la práctica totalidad del cauce del río Vinalopó en el sector inicial se corresponde con los vertidos de agua tratada por parte de la EDAR Valle del Vinalopó. La localización de la planta en coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30) son X: 691802; Y: 4258235; Z: 328, situada en la comarca del Medio Vinalopó y que sirve a los municipios de Elda, Monóvar, Petrer y Sax. La línea de agua está compuesta por un tratamiento biológico en el que se produce una eliminación de fangos activados y fósforo, un sistema convencional y un tratamiento físico-químico. El tratamiento de la línea de fangos se lleva a cabo mediante la estabilización con cal, una deshidratación con centrífugas y un espesador que actúa por gravedad y flotación. Tiene un caudal de proyecto de 24.000 m³/d, con una población servida (he) de 10.7612 y rendimientos de 94% para Sólidos en Suspensión, 96% para DBO5 y 93% para DQO.

1.4 Demandas del sistema

El Sistema del Medio Vinalopó se caracteriza por presentar unas actividades económicas de gran importancia no solo para la comarca en sí, sino también para la provincia de Alicante. Entre ellas destacan las actividades agrarias, particularmente el cultivo de la uva y hortofrutícolas, siendo también importantes las industrias de mármol presentes en la zona de estudio (Rico et al, 1990). Este sistema complejo satisface las demandas hídricas de la

provincia, adquiriendo gran importancia no solamente por el volumen anual de demanda consuntiva satisfecho (66,31%) sino porque también satisface las actividades económicas comentadas anteriormente.

Las principales demandas internas registradas en el sistema Medio Vinalopó (Figura 2) se corresponden con el regadío en las zonas agrícolas (68,26 hm³/año, según datos de la Comunidad General de Usuarios del Medio Vinalopó), que constituyen el 80% del total, y la demanda de tipo urbano-industrial (16,59 hm³/año), que supone el restante 20% del total. (Diputación Alicante, 2010).

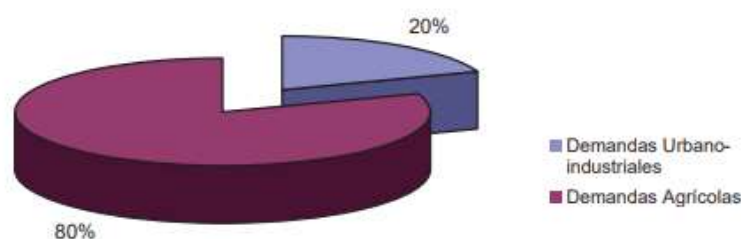


Figura 2. Demandas en el medio Vinalopó. Fuente: Diputación Alicante (2010).

En términos de satisfacción de las demandas, se utilizan principalmente las captaciones de aguas subterráneas de los acuíferos del Medio y Alto Vinalopó, los cuales aportan el 90% de los recursos utilizados. Las mayores extracciones de acuíferos se obtienen de Serral-Salinas con 18,75 hm³/año, Jumilla-Villena con 12,23 hm³/año, y Solana con 9,36 hm³ /año. Un caudal aproximado de unos 4,73 hm³/año son aportados por Aguas Municipales de Alicante, mientras que alrededor de 1 hm³/año es aportado por la Mancomunidad de Canales del Taibilla para consumo humano de los municipios de Hondón de las Nieves y Aspe (Melgajero et al, 2017).

Tabla 2. Fuentes de suministro de la demanda del Sistema Medio Vinalopó (hm³).

Fuente: Diputación Alicante (2010).

Demandas Consuntivas	Fuentes de suministro (hm ³)			
	Acuíferos	Reutilización	Taibilla	Totales
Urbano-Industriales	15	0	1	16
Agrícolas	45	5,4	0	50
Totales	60	5,4	1	66
Porcentual	90,9	8,2	0,9	100

Del total de las demandas satisfechas, únicamente el 8% del total y casi el 11% del consumo agrícola provienen de recursos reutilizados procedentes de aguas residuales depuradas en algunas EDAR existentes en la comarca, alcanzando un valor total de 5,4 hm³(Tabla 2). Se estima que este consumo para regadío proveniente de aguas residuales depuradas aumente todavía más en los próximos años debido al gran potencial de esta tecnología.

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, la calidad del agua del río Vinalopó a su paso por la zona de estudio presenta una calidad muy deficiente debida a factores antrópicos y geológicos. Esto supone que se deban asumir acciones tales como la sobreexplotación de las aguas subterráneas, la canalización de aguas proveniente de otros sistemas y la utilización de tecnologías depuradoras de aguas residuales con el fin de satisfacer la creciente demanda de recursos hídricos de buena calidad.

1.5 Localización

El río Vinalopó se encuentra al oeste de la Provincia de Alicante, con nacimiento al oeste del monte Moncabrer en la Sierra de Mariola. Presenta una longitud aproximada de unos 81 km en los que atraviesa los municipios de Bañeres, Benejama, Campo de Mirra, Cañada, Villena, Sax, Elda, Monóvar, Novelda, Aspe, Monforte del Cid, Elche y Santa Pola. Es un río caracterizado por presentar un escaso caudal, que cuenta con su máximo invernal de 0,85 m³/s en Santa Eulalia (Alicante). Estas cifras hacen suponer que la capacidad de asimilación de la carga contaminante será relativamente escasa en comparación con otros ríos de mayor caudal y longitud.

Parte de las aguas residuales depuradas en Villena se vierten a un cauce hipersalino (acequia del Rey) que se unirá al Vinalopó para posteriormente llegar a los municipios de Elda y Petrer de las que recibe sus aguas residuales. Estas aguas, en su práctica totalidad, se tratan en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) Valle del Vinalopó, que verterá las aguas tratadas de nuevo al cauce del río. A continuación, el cauce discurre por los municipios de Monóvar y Novelda. En este corto tramo el cauce del río recibe los aportes de la rambla del Bateig y de varias industrias marmoleras, que contribuyen al empeoramiento de la calidad de las aguas. Posteriormente el cauce del río converge con aguas provenientes de unos manantiales sulfurosos, caracterizadas por presentar una hipersalinidad que provoca que la conductividad eléctrica del agua ascienda a valores superiores a los 9000µS/cm a partir de esta zona.

Como se puede comprobar, el río Vinalopó sufre muchas modificaciones de origen antrópico que causan un descenso en la ya acusada calidad de las aguas del río Vinalopó (Bru, 1992). En la Figura 3 se puede observar la localización exacta de la zona de estudio.



Figura 3. Ortofotografía en la que se muestra la localización de la zona de estudio (escala 1:25000). Fuente: PNOA máxima actualidad, ETRS89. Elaboración propia.

1.6 Antecedentes

El tramo del río Vinalopó en el que se basa el estudio pasa por una zona altamente antropizada antes de continuar hacia el municipio de Elche y posteriormente terminar en su desembocadura. Esto se traduce en que las aguas que discurren por este pequeño tramo tienen una alta probabilidad de sufrir cambios en su calidad, lo que puede repercutir de forma negativa en los ecosistemas y más concretamente, a la biodiversidad asociada a la zona por la que transcurre el cauce de agua y sus alrededores.

Desde su nacimiento hasta su desembocadura, se va incrementando el número de puntos de emisión de contaminantes directos al cauce del río, ya sea bien por parte de los núcleos

urbanos de pequeño tamaño, de los municipios, el sector industrial o el sector agrícola. (Bru, 1992). Un ejemplo de ello es la noticia publicada en el diario Información que informa sobre el reciente vertido industrial por parte de la depuradora Valle del Vinalopó con altos contenidos en metales, que ha supuesto una disminución de la calidad de las aguas a su paso por la estación depuradora (Pardo, 2017).

A esto se suma que la zona seleccionada para caracterizar las aguas presenta de forma continuada una coloración oscura (Figura 4) y, en ciertos puntos, un olor desagradable.



Figura 4. Estado de las aguas del río Vinalopó en diferentes puntos de muestreo de la zona de estudio. Fuente: propia.

2. OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo es caracterizar físicoquímicamente el agua del río Vinalopó y su evolución temporal en su tramo comprendido entre la EDAR Valle del Vinalopó y Salinetes. Además, se estudiará cómo influye en los resultados analíticos la zona en la que se han tomado las muestras.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Zona de estudio

3.1.1 Caracterización del clima

El clima en la zona de estudio y prácticamente en la totalidad de su cuenca es típicamente mediterráneo, con algunos rasgos continentales debido a la altitud por encima de los 400 metros. Se caracteriza por ser principalmente seco, con fuertes estiajes y temperaturas elevadas que provocan déficits hídricos durante prácticamente todo el año. Las precipitaciones no sufren variaciones bruscas en la zona de estudio, obteniéndose unos valores de precipitación que no superan los 100 mm anuales. Sumado a esto se produce el fenómeno de la gota fría al inicio del otoño, donde registran fuertes lluvias torrenciales que en la mayoría de las ocasiones provoca daños significativos, tanto materiales como ecológicos en las inmediaciones del cauce.

En relación con la bioclimatología, un factor del que dependen en gran medida las plantas es la continentalidad. En la zona de estudio, ésta se caracteriza por amplitudes térmicas estacionales elevadas, inviernos rigurosos y veranos calurosos, con oscilación térmica diurna/nocturna elevada. Tomando como factor de referencia el Índice de continentalidad simple (Ic), se reconoce a la zona de estudio como subcontinental, con un ombrotipo semiárido superior.

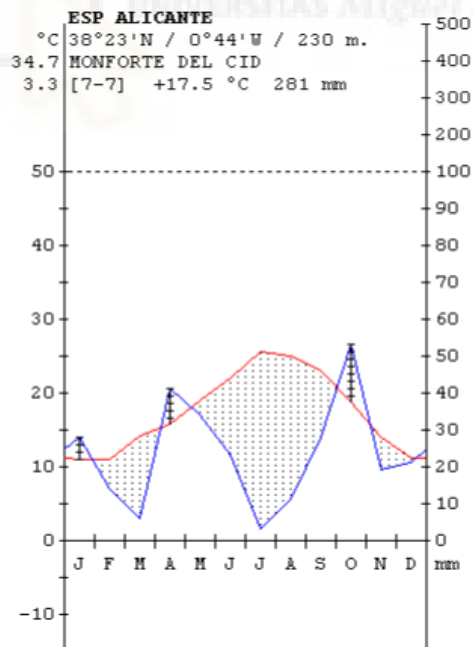


Figura 5. Diagrama ombrotérmico Monforte del Cid. Fuente: Centro de Investigaciones Fitosociológicas.

Con la finalidad de observar gráficamente las características climáticas de la zona de estudio, se utilizará el Diagrama ombrotérmico de Bagnouls y Gausson, representando en un mismo diagrama las precipitaciones (mm) y las temperaturas (°C), siendo la escala de precipitaciones el doble que la de temperaturas (Serra, 2008).

El diagrama obtenido pertenece a la estación meteorológica de Monforte del Cid, población más próxima a la zona de estudio (Figura 5). La pluviosidad no supera los 281 mm anuales y la temperatura media alcanza valores de 17.5°C. La vegetación presente en la zona de estudio estará directamente relacionada con estos dos factores.

3.1.2 Hidrología

El río Vinalopó presenta una cuenca hidrográfica total de unos 1692 km², presentando un caudal medio anual de 0,85 m³/s. En la zona de estudio, la práctica totalidad del caudal se debe a los aportes de la estación depuradora, convirtiéndose este vertido en el caudal principal del río. A partir de los 1500 m desde el punto de vertido es cuando el cauce del río se vuelve más irregular, presentando desniveles más acusados y una vegetación mucho más abundante y frondosa en comparación con el primer sector (CHJ, 2018).

3.1.3 Geomorfología

La cuenca media del Vinalopó forma parte del gran accidente tectónico de origen alpino que se extiende entre Caudete y Elche que, con dirección NNO-SSE, ha seccionado transversalmente las alineaciones del Prebético (externo e interno) generando un corredor que divide el conjunto de valles y sierras prebéticas de orientación SO-NE. Este sector constituye el área más meridional del Prebético interno, ya en contacto con el Subbético (Ponce et al, 1995).

Los primeros 1000 m desde el inicio de la zona estudiada (zona 1) se caracterizan por presentar el cauce del río sobre unas gravas, de origen antrópico, con el fin de adecuar el cauce del río. La zona 1 presenta una pendiente poco pronunciada donde no se observan factores de tipo erosivos por el flujo normal del agua, pero sí que se puede observar una erosión pronunciada a las laderas del río fruto de la torrencialidad de las lluvias comentadas en los apartados anteriores. La litología del substrato está constituida por limos arcillosos, conglomerados, areniscas, calizas y margas lacustres, pertenecientes al Mioceno (IGME, 2001).

El segundo sector, zona 2, confluye desde los 1000 m hasta el final de la zona de estudio, donde se puede observar que el cauce del río ya no fluye sobre gravas de origen antrópico, sino que fluye a través de materiales de origen natural. En este sector, la litología predominante está formada principalmente por arcillas y yesos del triásico superior (IGME, 2001).

3.1.4 Vegetación

Las modificaciones antrópicas en la cuenca del río suponen que la vegetación potencial que debería estar presente en la zona, en muchas ocasiones no lo está, fruto en la mayoría de la actividad agrícola, industrial, grandes infraestructuras, núcleos urbanos, etc., y en menor medida debido a factores de tipo natural (avenidas fluviales, incendios).

Atendiendo a los criterios de Rivas-Martínez (1987), en este apartado se analizarán las formaciones arbustivas más características de la zona de estudio, siendo éstas las englobadas dentro del termotipo termomediterráneo con ombrotipo semiárido. La serie de vegetación que se observa en la zona de estudio y zonas adyacentes es la siguiente:

Serie termomediterránea valenciano-terraconense seca de la coscoja y del lentisco (*Quercococciferae* – *Pistacieto lentisci-sigmatum*): La vegetación potencial son las poblaciones cerradas de coscoja que se desarrollan como etapas de sustitución del carrascal. En esta serie es muy característica la presencia de especies tales como el palmito (*Chamaerops humilis*), romero (*Rosmarinus officinalis*), *Ephedra fragilis*, *Erica multiflora* y algunas especies más presentes en los romerales, tomillares y espartales (MAPAMA, 2017).

La vegetación de cauce depende principalmente de las aguas superficiales, por lo que están perfectamente adaptadas a los regímenes de inundaciones y avenidas. En el cauce principal a partir de la estación depuradora, se desarrollan tarayales (*Tamarix canariensis*, *T. boveana*), junto a carrizos (*Phragmites australis*), cañas (*Arundo donax*), salados (*Atriplex halimus*), y adelfas (*Nerium oleander*), en zonas pedregosas (MAPAMA, 2017).

Un ejemplo de especie amenazada en la zona de estudio y zonas cercanas es la denominada *Vella lucentina*, taxón endémico del subsector alicantino, presente en la comarca de l'Alacantí, que penetra puntualmente en el Vinalopó Mitjà por Monfort del Cid y Novelda, donde existen pequeñas poblaciones, pero con numerosos efectivos, aunque amenazados por infraestructuras viarias, urbanizaciones y zonas industriales. Característico de matorrales de tipo *tenacissimae-Sideritetum leucanthae*, bajo termotipo termomediterráneo y ombrotipo semiárido (Serra, 2015).

3.1.5 Fauna

En la cuenca del río Vinalopó existe una abundante diversidad de especies, pero centrándose en nuestra zona de estudio, esta biodiversidad se ve reducida debido a factores tales como la vegetación presente, la geomorfología de la zona y la elevada presencia humana. Las especies más representativas que se encuentran en las inmediaciones de la zona de estudio son las siguientes:

- En el grupo de los anfibios, encontramos algunas especies de algunos sapos, como son el sapo corredor (*Epidalea calamita*) y el sapo común (*Bufo bufo*), el sapillo moteado (*Pelodytes punctatus*) y la rana común (*Pelophylax perezi*) (GVA, 2018).

- Los individuos que conforman la herpetofauna habitan en las inmediaciones del cauce principal del río, en pequeñas laderas, zonas pedregosas y campos de cultivos abandonados. Las especies más representativas son la culebrilla ciega (*Blanuscinereus sp.*), la culebra de herradura (*Coluber hippocrepis*), la salamanesca rosada (*Hemidactylus turcicus*), la salamanesca común (*Tarentola mauritanica*) la culebra escalera (*Rhinechis scalaris*), la lagartija cenicienta (*Psammodromus hispanicus*), la lagartija colilarga (*Psammodromus algirus*), la lagartija colirroja (*Acanthodactylus erythrurus*) y el lagarto ocelado (*Timon lepidus*) (GVA, 2018).
- En cuanto a las aves, en la mayoría de los casos se distinguirá la presencia o ausencia de éstas dependiendo de la existencia y tipo de vegetación. En la zona de estudio la mayoría de la vegetación se corresponde con la vegetación típica de matorrales y vegetación arbórea y arbustiva típica en los cauces de ríos con poco caudal. Se pueden encontrar especies como la paloma torcaz (*Columba palumbus*) en las zonas más antropizadas, el verderón común (*Carduelis chloris*), la abubilla (*Upupa epops*), el aguilucho cenizo (*Circus pygargus*), el cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*) o el mochuelo europeo (*Athene noctua*). Tal y como se ha comentado con anterioridad, todas ellas son especies ligadas a entornos agrícolas con fuerte presencia antrópica (GVA, 2018).
- Los pequeños mamíferos más característicos presentes en las inmediaciones de la zona de estudio son el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), el ratón moruno (*Mus spretus*), la Rata de agua (*Arvicola sapidus*), el erizo europeo (*Erinaceus europaeus*), la musaraña gris (*Crocidura russula*), el conejo común (*Oryctolagus cuniculus*) o la liebre ibérica (*Lepus granatensis*) (GVA, 2018).
- Según los criterios de la Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (I.U.C.N), las especies encontradas en la zona de estudio no están amenazadas (NA) (IUCN, 2017).

3.2 Campaña de muestreo

La campaña de muestreo empezó casi al principio del año hidrológico, concretamente en noviembre y finalizó en el mes de mayo, realizándose un total de tres muestreos en la zona (Tabla 3).

Tabla 3. Muestreos y fechas de realización del estudio.

Fecha	Muestreo		
	1	2	3
15/11/2017	22/02/2018	03/05/2018	

3.3 Puntos de estudio

En el tramo de río que se ha elegido para llevar a cabo el estudio se han establecido un total de 8 puntos repartidos desde el inicio hasta el fin de la zona de estudio, situándose en zonas de especial interés (Figura 6). Los aportes casi constantes de la estación depuradora al cauce del río permiten establecer un caudal prácticamente idéntico durante los tres periodos de muestreo.

La zona de estudio presenta una altura media sobre el nivel del mar de aproximadamente 300 metros. El primer punto de muestreo, correspondiente con la zona donde vierte la estación depuradora al cauce al río se encuentra a unos 327 m.s.n.m., mientras que el último punto se encuentra a unos 286 m.s.n.m.

El criterio seguido para la elección de los puntos se relaciona directamente con la distancia al primer punto (zona de vertido de la EDAR), con la vegetación presente en el tramo del río y con la presencia de algunos elementos y zonas susceptibles de provocar alteraciones en los parámetros estudiados.



Figura 6. Distribución espacial de los diferentes puntos de muestreo (1:25000). Fuente: PNOA máxima actualidad, ETRS89.

A continuación, se detallarán las características más representativas de cada uno de los puntos estudiados. Estos puntos se agruparon en dos zonas atendiendo a la similitud que presentan entre sí:

Zona 1 (Punto 1-4)

Tanto las características geomorfológicas como la vegetación presente en esta zona se han explicado detalladamente en los apartados 3.1.3 y 3.1.4 respectivamente.

Punto 1: Es el punto más próximo a la EDAR Valle del Vinalopó. Aguas arriba de este punto no se aprecia ningún caudal, por lo que se puede concluir que la práctica totalidad del agua que circula por el río a partir del primer punto se debe a los aportes de la estación depuradora. En este punto se tomarán las muestras directamente del cauce vertido por la EDAR.

- **Punto 2:** Situado a una distancia aproximada de 55 metros del punto 1, donde la pendiente se mantiene prácticamente constante y la vegetación y geomorfología no varían con respecto al inicio.
- **Punto 3:** Situado a algo más de 250 metros del punto 1. Se ha decidido tomar muestras a esta distancia con el fin de caracterizar la evolución espacial de los parámetros analizados. La vegetación y la geomorfología son prácticamente idénticas desde el inicio y no se han localizado focos de contaminación susceptibles de modificar la composición del agua.
- **Punto 4:** Punto situado a casi 600 m del inicio del tramo de cauce estudiado, presenta las mismas características que los puntos anteriores a excepción de que en las zonas próximas al cauce del río existen diversas hectáreas de cultivos hortofrutícolas, varios núcleos poblacionales de tipo rural y un pequeño polígono industrial. Estas zonas son un foco potencial de contaminación.

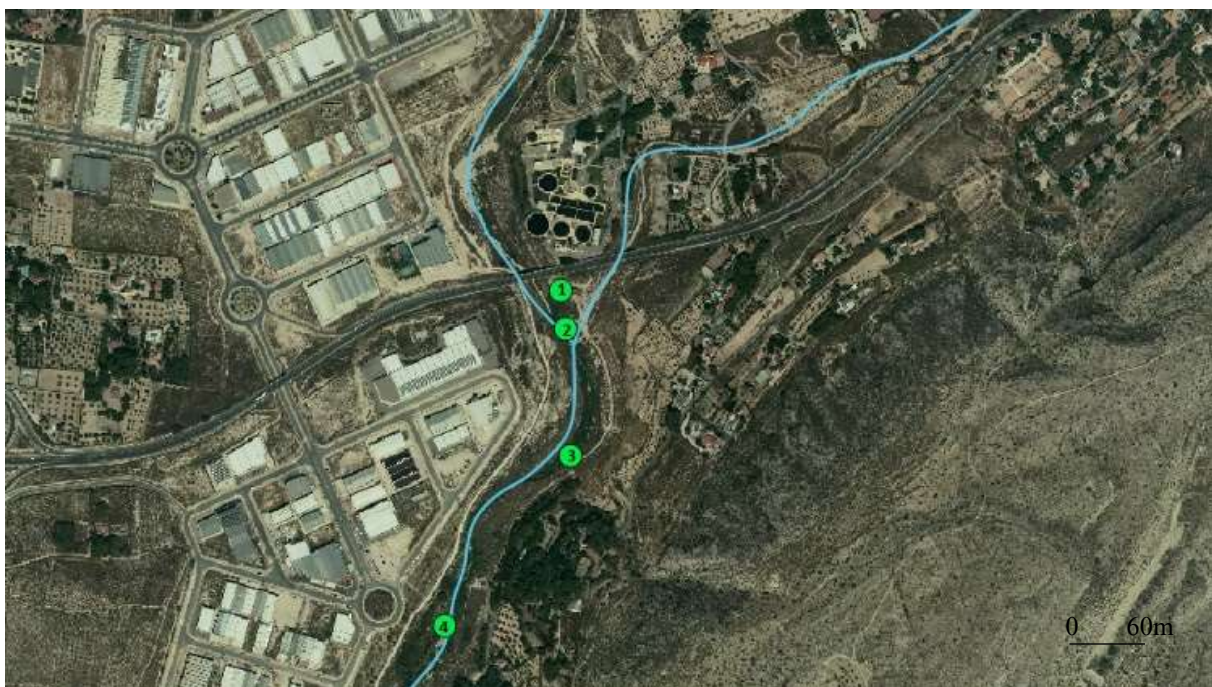


Figura 7. Distribución espacial Zona 1, puntos 1-4. Fuente: PNOA máxima actualidad, ETRS89. Elaboración propia. Escala 1:600.

Zona 2 (Punto 5-8)

Tanto las características geomorfológicas como la vegetación presente en esta zona se han explicado detalladamente en los apartados 3.1.3 y 3.1.4 respectivamente.

- **Punto 5:** Situado a casi 1700 m del punto inicial. Se trata de un punto característico ya que las aguas muestreadas en este punto provienen de un cauce canalizado. Debido a la frondosa vegetación comentada en apartado 3.1.4 “Vegetación”, no se puede determinar la procedencia exacta de las aguas canalizadas. Cabe destacar que cerca se encuentra una industria de mármol.
- **Punto 6:** En este punto se muestrean las aguas provenientes del cauce principal a su paso por una zona de vegetación frondosa de iguales características que el punto 5 y con una geomorfología diferente a la de la primera zona. El cauce se encuentra separado unos cinco metros del punto anterior.

Punto 7: Punto de toma de muestras donde confluyen los caudales provenientes de los dos puntos anteriores y situado a unos 20 metros aguas abajo del punto 6.

- **Punto 8:** Último punto de muestreo. Aguas abajo de este punto el cauce del río Vinalopó pase por la zona de Salinetas, caracterizada por presentar aguas con conductividades próximas a los $20000\mu\text{S}/\text{cm}$ (Pérez, 2016). En este punto la vegetación empieza a dispersarse y aparecen especies adaptadas a ambientes salinos como por ejemplo, *Sarcocornia fruticosa* (Gallardo et al, 2003).

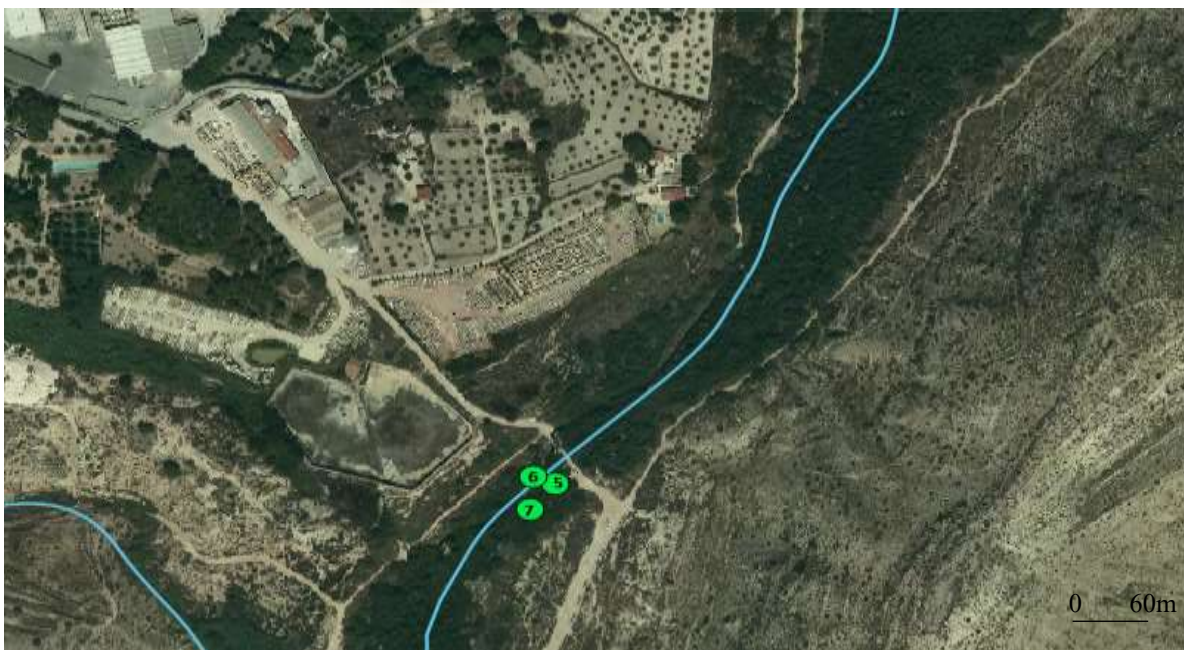


Figura 8. Distribución espacial Zona 2, puntos 5,6 y 7. (Escala 1:600). Fuente: PNOA máxima actualidad, ETRS89.



Figura 9. Distribución espacial Zona 2, punto 8. (Escala 1:600). Fuente: PNOA máxima actualidad, ETRS89.

A continuación, en la Tabla 4 se detalla la localización exacta de cada uno de los puntos, así como el desnivel en el tramo de río estudiado, pudiendo trazar el perfil topográfico de la zona de estudio (Figura 10).

Tabla 4. Localización, altitud y distancia de los puntos muestreados.

Punto	Coordenadas UTM			Altitud (msnm)	Distancia (m)
	Huso	X	Y		
1	30N	691769.6	4258100.9	335	0
2	30N	691777.4	4258049.9	333	55
3	30N	691783.0	4257870.8	331	250
4	30N	691605.4	4257631.8	329	587
5	30N	691013.0	4256640.8	318	1700
6	30N	690999.6	4256647.4	318	1705
7	30N	690997.9	4256620.2	317	1720
8	30N	691651.4	4254764.3	289	3800

Los datos representados en la tabla se han obtenido mediante el visor cartográfico QGIS, versión 2.18.14, con el sistema de referencias de coordenadas ETRS89. Los datos cartográficos utilizados se han obtenido del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (CNIG, 2018)

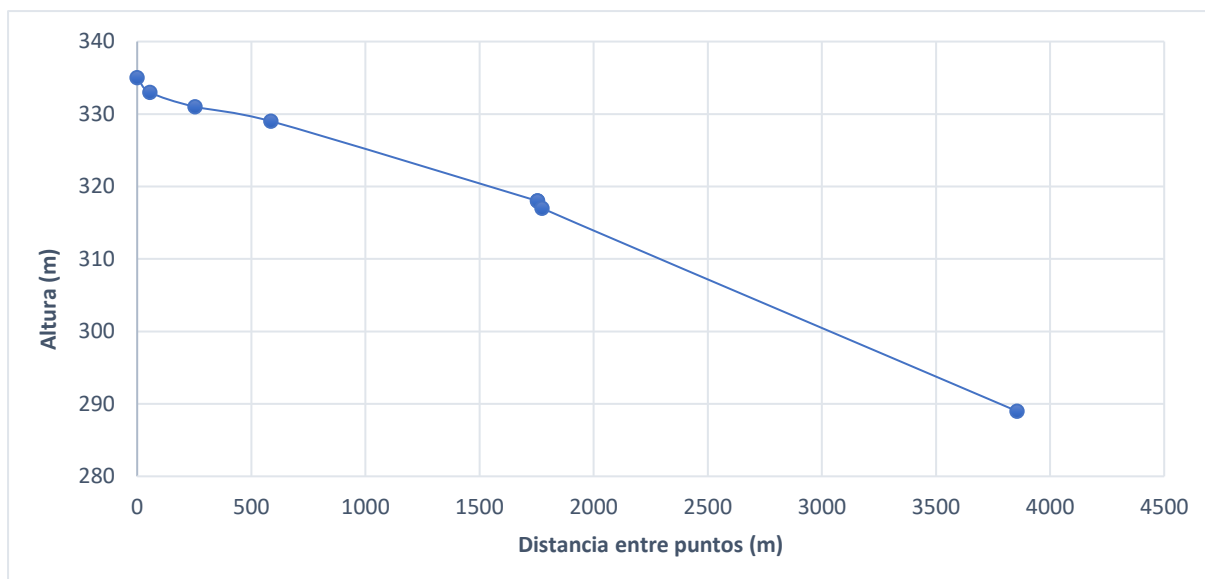


Figura 10. Perfil longitudinal del tramo del cauce del río Vinalopó estudiado. Fuente propia.

3.4 Metodología

3.4.1 Métodos de muestreo

La toma de muestras se llevó a cabo mediante el uso de una pértiga con cazoleta de acero y recipientes de polietileno de alta densidad de 250 ml, tal y como establece la normativa UNE-EN ISO 5667-3:2013 referida a la manipulación y conservación de las muestras de agua. (AENOR, 2013) En algunos casos y debido a la falta de material, estos recipientes se han sustituido por otros de igual composición pero con una mayor capacidad.

Por cada punto se tomaron tres muestras de agua con sus respectivas réplicas con la finalidad de obtener una mayor variabilidad en los datos que se obtendrán tras el análisis en el laboratorio.

Las muestras se guardaron en cámara frigorífica con una temperatura entre 2 y 4°C, con el fin de mantener las condiciones óptimas para su posterior análisis en laboratorio (AENOR, 2013).

El muestreo se realizó evitando cualquier tipo de remanso y/o estancamiento de agua. Durante la toma de muestras se evitó que los recipientes con los que se realizaban tocasen el fondo del cauce, ya que estaría arrastrándose una gran cantidad de sedimentos, residuos y partículas y esto provocaría errores a la hora de analizar los diferentes parámetros en el laboratorio.

3.4.2 Parámetros analizados

Tras un reconocimiento preliminar en campo se propusieron una serie de parámetros físico-químicos a determinar.

Los métodos analíticos que se describen a continuación han seguido las propuestas derivadas del *Standard Methods* (APHA, 2005) y el “manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes”. (MVOTMA, 1996) Los parámetros analizados son los siguientes:

Temperatura (T^a)

Se decidió analizar este parámetro ya que una variación anómala de la temperatura en el cauce del río puede afectar directamente a las comunidades biológicas asociadas. Un aumento de la temperatura del agua del río se puede deber a vertidos de tipo industrial, aguas de escorrentía urbanas o zonas con incidencia directa del sol por falta de vegetación (Marín, 2003).

La temperatura se midió directamente en campo, justo después de obtener las muestras de agua y depositarlas en los recipientes pertinentes, con el fin de determinar el valor real de la temperatura en cada uno de los puntos de muestreo. Se siguió la metodología establecida en los *Standard Methods* (APHA, 2005).

Conductividad eléctrica (CE)

Determinando la CE se puede evaluar de forma indirecta la cantidad de iones en solución en cada uno de los puntos muestreados. Un posible vertido de aguas residuales suele aumentar la conductividad de la zona de descarga debido al aumento de la concentración de los iones Cl, NO₃⁻ y SO₄²⁻ entre otros. Hay que tener en cuenta el tipo de geología asociada al área de estudio ya que algunos tipos de litologías pueden favorecer al aumento de la conductividad (IGME, 2001).

Se determinó la CE en campo mediante un conductímetro portátil, limpiando con agua destilada las células de conductividad previa y posteriormente a cada medición (APHA, 2005).

Potencial de hidrógeno (pH)

En las aguas de ríos no contaminados, los valores de pH que se obtienen varían entre 6,0-8,5 y su determinación es de especial interés, ya que tiene una gran influencia en muchos sistemas biológicos. Si se obtienen valores superiores o inferiores al rango mencionado, se pueden producir limitaciones en el desarrollo y fisiología de los organismos acuáticos presentes en la zona.

Las prácticas agrícolas que conducen a la lixiviación de aniones hacia el subsuelo que pueden hacer variar el pH natural de las aguas. Los más característicos de la actividad agrícola son los nitratos, aunque también los bicarbonatos, cloruros, sulfatos y aniones orgánicos que forman parte de los lixiviados en asociación con cationes (calcio, magnesio y potasio). El

exceso de iones H^+ que queda en la superficie del suelo es posteriormente transportado por escorrentía al flujo de agua más cercano. (Wilson et al. 2010)

Se determinó el pH en el laboratorio mediante la utilización de un pH-metro siguiendo la metodología establecida en los *Standard Methods* (APHA, 2005).

Sólidos en suspensión totales (SST)

Parámetro de especial importancia en la zona de estudio debido a la gran cantidad de partículas presentes durante toda la toma de muestras. Una vez que se hayan obtenido los resultados se establecerá una comparativa con los valores límites fijados por legislación.

La determinación de este parámetro se ha realizado en el laboratorio, filtrando un volumen de 200 ml (100 ml en los casos donde se observan muchos sólidos suspendidos en el recipiente) con un kitasato y una bomba de vacío. Se han utilizado filtros de fibra de vidrio de 110 mm de diámetro (APHA, 2005).

Nitratos

Una de las principales causas de la contaminación de las aguas superficiales se puede relacionar directamente con la actividad agraria (Ruda de Schenquer et al., 2004) presente en las inmediaciones de dicha zona. Debido a que el tramo de estudio se encuentra próxima a campos agrarios hortofrutícolas, este parámetro se deberá de tener en consideración en el estudio.

La determinación de este parámetro en el laboratorio se ha realizado en el rango de 24h pasadas desde la toma de las muestras, utilizando un espectrofotómetro con lámpara UV a longitud de onda entre 220 nm y 275 nm (APHA, 2005).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO en aguas contaminadas se corresponde con la cantidad de oxígeno en mg/L consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en el agua. Esta medida se utiliza principalmente para valorar la concentración de materia orgánica, aunque sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas.

La metodología empleada en el análisis se expresa de forma detallada en el ANEXO I. Métodos analíticos.

3.4.3 Análisis estadístico

Los valores siguen una distribución normal para todos los parámetros analizados, por lo que se ha utilizado el test Kolmogorov-Sminrov de $p < 0,05$.

Para establecer la variabilidad espacio temporal para los valores obtenidos en cada uno de los muestreos se ha realizado una ANOVA para cada uno de los parámetros analizados. Los grupos de variabilidad se han establecido mediante el test post-hoc Tukey ($p < 0,05$), asumiendo la misma varianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los parámetros estudiados en los 8 puntos seleccionados para los tres muestreos realizados en este estudio. Los puntos del 1 al 4 corresponden a la zona 1 y los puntos del 5 al 8 corresponden con la zona 2. Esta metodología será empleada para todos los parámetros analizados.

4.1 Temperatura

En la Figura 10 se muestran los valores de temperatura obtenidos en este estudio. En relación con los cambios espaciales, se observan diferencias significativas ($p < 0.05$, letras minúsculas) de los valores en dos agrupaciones de puntos, los cuales coinciden con las divisiones por zonas ya definidas. También se observan diferencias significativas en la evolución temporal en los puntos estudiados ($p < 0.05$, letras mayúsculas), a excepción del punto 8 donde la temperatura aumenta significativamente en el muestreo 3. La zona 1 es en la que se encontraron los valores más altos de temperatura en cada uno de los muestreos en comparación con la zona 2.

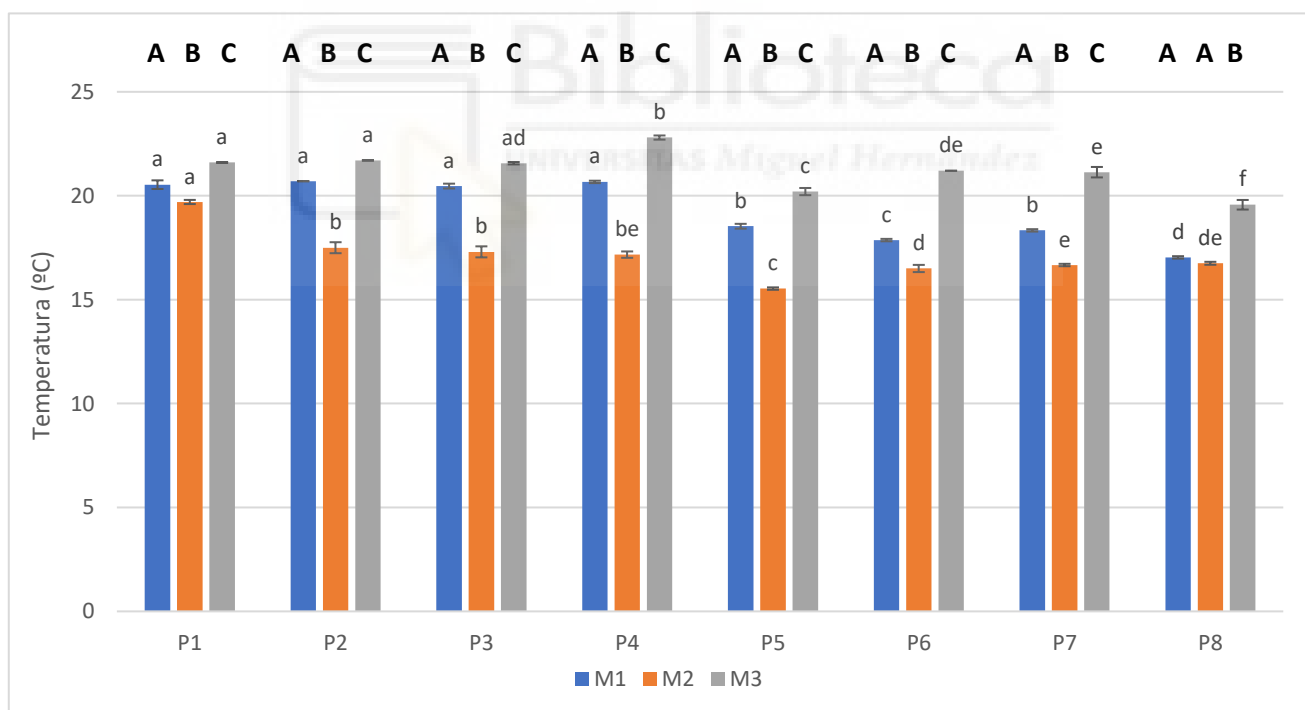


Figura 10. Variación espacio temporal de la Temperatura. Periodo del estudio 6 meses. Las diferentes letras indican diferencias significativas, las minúsculas para la variación espacial entre puntos (para cada muestreo) y mayúsculas para la variación temporal por puntos.

La menor temperatura observada en la zona 2, puede estar causada por la vegetación presente en la zona (de tipo arbustivo y arbóreo), que impide la incidencia de la radiación directa de la luz solar sobre el cauce del río, presentando así temperaturas más suaves.

El hecho de que el segundo muestreo presente temperaturas significativamente inferiores a los demás es debido, fundamentalmente, a que fue realizado durante el mes de febrero, uno de los meses más fríos del año AEMET (2010). La diferencia con respecto a los otros muestreos se sitúa en torno a los 2°C. Si se tiene en cuenta que la distancia que separa los dos primeros puntos no supera los 100 metros, el único factor capaz de provocar esta diferencia de temperatura es la temperatura a la que vierte la EDAR al cauce del río. Debido a los diferentes procesos que se llevan a cabo en la estación depuradora, el agua adquiere una cierta temperatura al inicio del cauce y ésta disminuye a medida que se equilibra con la temperatura ambiente durante el transcurso del río.

4.2 Conductividad Eléctrica (CE)

Para la CE se observan diferencias significativas entre los puntos estudiados diferenciándose las dos zonas claramente en los tres muestreos realizados (Figura 11). Los valores obtenidos en la zona 1 se encuentran en un rango entre 2,8 y 3,4 mS/cm. Estos valores vienen dados por la CE que presentan las aguas vertidas por la EDAR, ya que la práctica totalidad del caudal en esta zona lo aporta dicho vertido. Además, aquí el agua del cauce circula por materiales que no aportan excesiva salinidad a las aguas que fluyen sobre ellos. Para la zona 2 se observaron valores comprendidos entre 5,9 y 7,4 mS/cm.

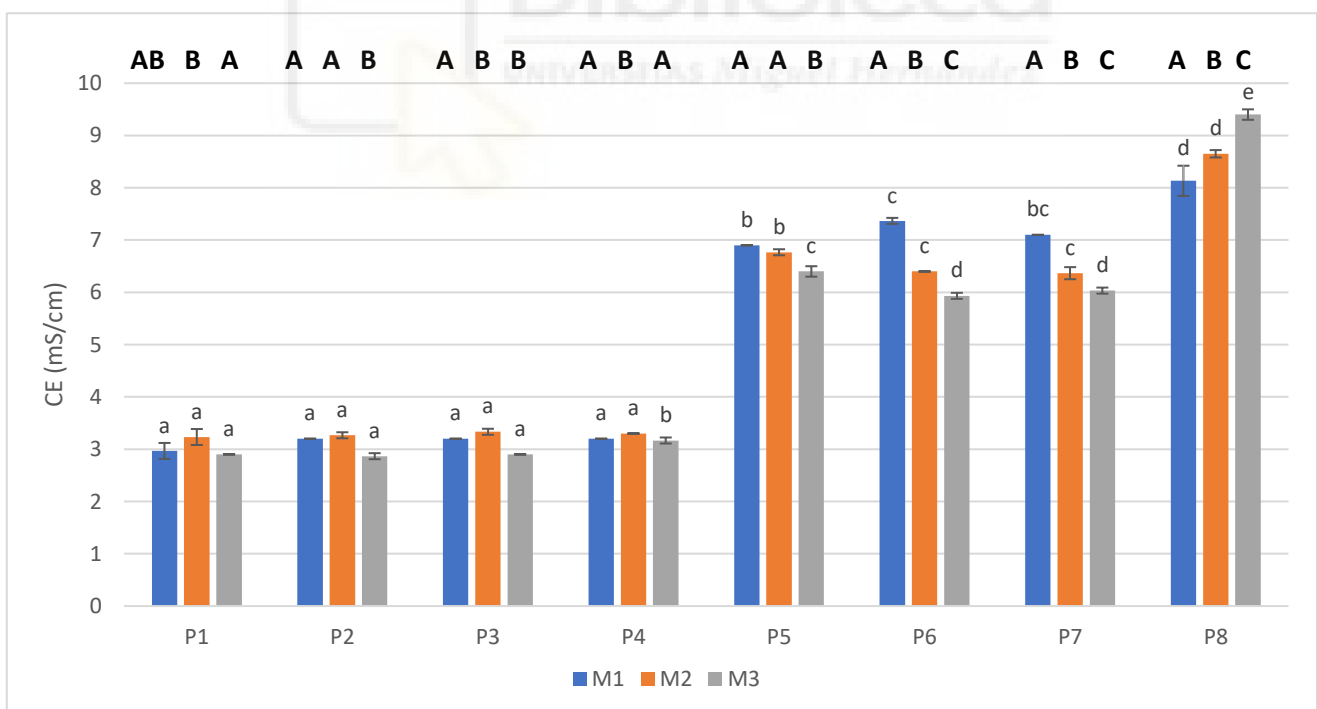


Figura 11. Variación espacio temporal de la Conductividad Eléctrica. Periodo del estudio 6 meses. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre muestreos (1-8), las minúsculas para la variación espacial entre puntos (para cada muestreo) y mayúsculas para la variación temporal por puntos.

Se observa una disminución de la CE con el tiempo en la zona 2, excepto en el punto 8 donde se observa un aumento significativo. Es a partir del cambio de litología característico al pasar de la primera zona hacia la segunda cuando el valor de la CE alcanza valores por encima de 5,9 mS/cm. Estas sales provienen de los materiales evaporíticos del Keuper (Triásico). Como se indicó anteriormente, el punto 5 se corresponde con un curso fluvial secundario procedente de una canalización de tipo antrópica. Los valores se asemejan en gran medida con los obtenidos en el punto 6 (cauce principal) por lo que se puede concluir que las aguas proceden de una zona con características geológicas muy parecidas a las de la zona de estudio.

4.3 Potencial de hidrógeno (pH)

Atendiendo a la variación espacial del pH, como se observa en la Figura 12, los valores obtenidos tras el análisis en el laboratorio presentan diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$). Los valores del pH oscilan entre 7,35 y 7,87, siendo el valor medio de toda la zona de estudio de 7,66 por lo que se puede afirmar que las aguas de la zona de estudio son de carácter ligeramente básico, con una elevada concentración de minerales disueltos. Si se tiene en cuenta la variación temporal, para los cinco primeros puntos sí que existen variaciones significativas entre los tres muestreos, mientras que, para los tres últimos puntos, no se observan diferencias significativas entre ellos (Figura 13).

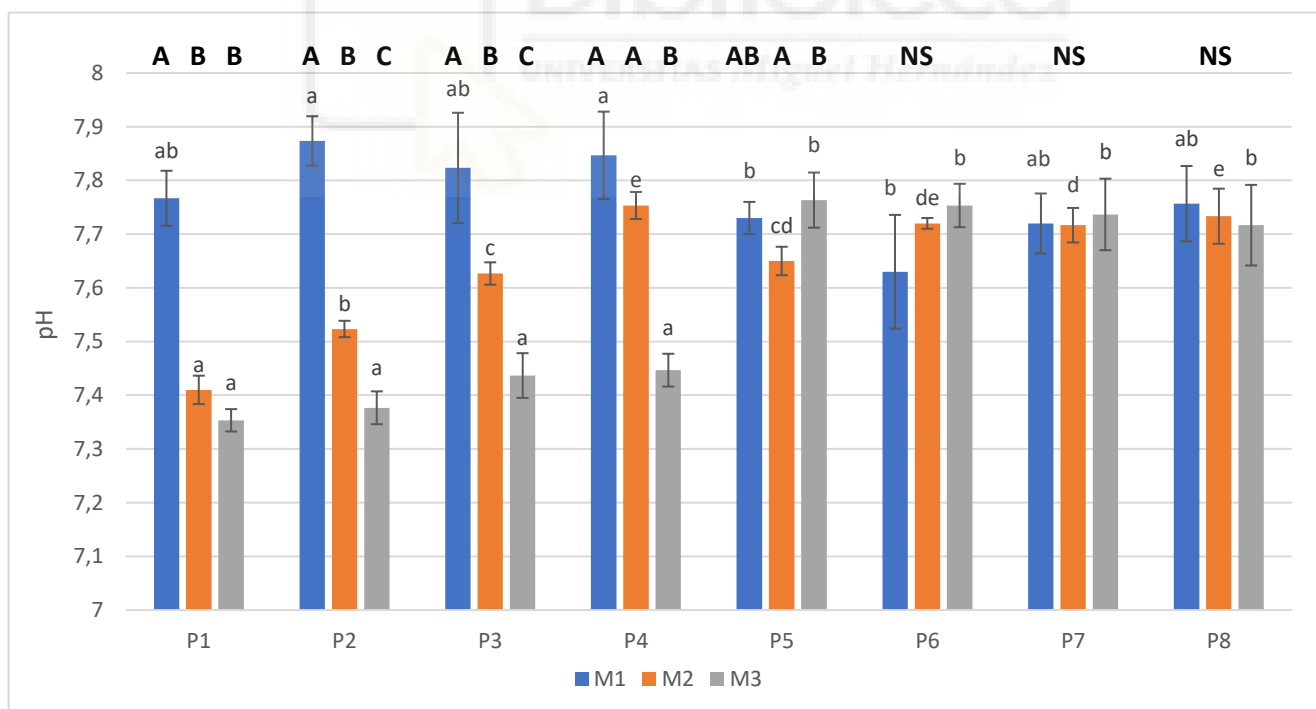


Figura 12. Variación espacio temporal del pH. Periodo del estudio 6 meses. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre muestreos (1-8), las minúsculas para la variación espacial entre puntos (para cada muestreo) y mayúsculas para la variación temporal por puntos.

La variación de este parámetro tanto a nivel espacial como a nivel temporal no presenta unas diferencias realmente importantes. La comparativa entre los puntos de estudio permite comprobar cómo en la zona 1 los cambios en el pH son más significativos que en la zona 2, donde los valores se mantienen prácticamente constantes para los tres muestreos. Esto se puede deber a que las aguas vertidas por la EDAR han presentado valores diferentes de pH para cada uno de los muestreos. Una vez transcurridos los primeros kilómetros donde el pH se homogeneiza, la variación ya no es apreciable.

Los valores establecidos por la FAO en relación con la calidad de las aguas de regadío establecen un rango óptimo entre 6,5 y 8,4 por lo que se puede concluir que las aguas analizadas, en relación con el pH, sí que podrían utilizarse para aguas de riego (Ayers et al, 1987).

4.4 Sólidos en suspensión totales (SST)

En la Figura 13, en relación con la variación espacial se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los dos primeros muestreos. En cuanto a la variación temporal, se observa una mayor concentración de sólidos suspendidos durante el segundo muestreo para casi la totalidad de los puntos.

La concentración media medida de sólidos en suspensión totales para el río en la zona de estudio es de 33,7 mg/L, observándose un pico de concentración en el punto 5 durante el segundo muestreo, el cual alcanza los 61,8 mg/L. El valor mínimo se registró en el punto 6 durante el primer muestreo, donde se obtuvo un valor de concentración de 14 mg/L.

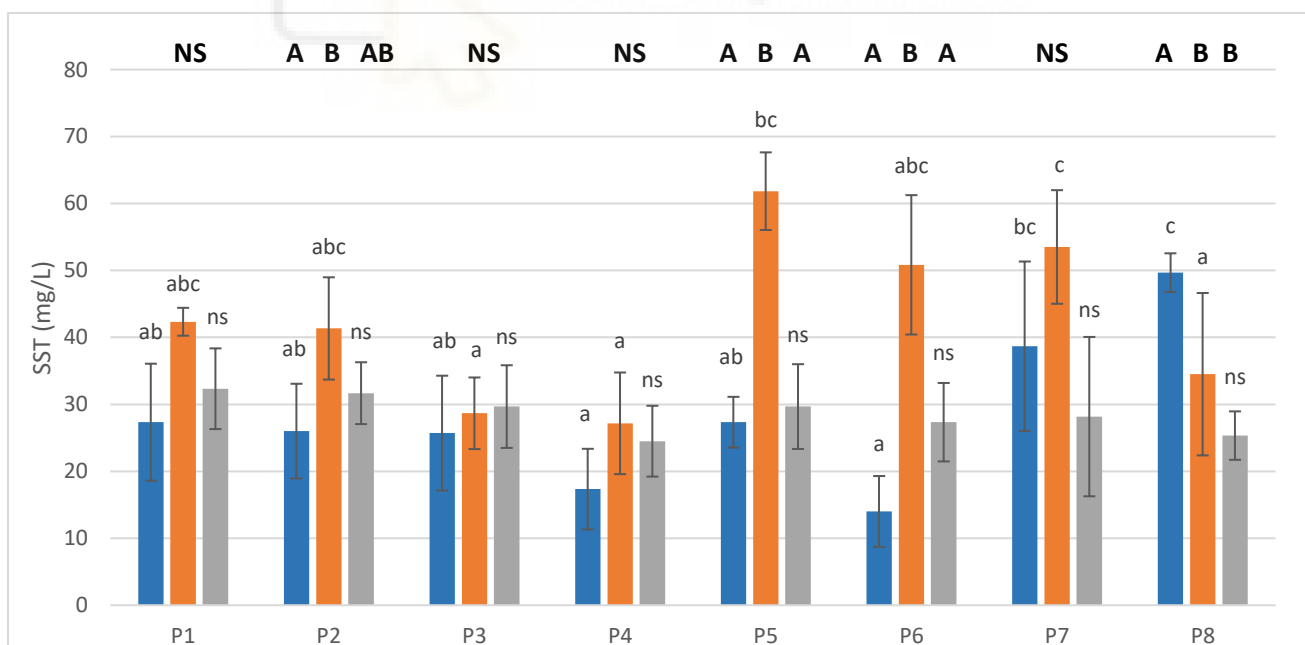


Figura 13. Variación espacio temporal de los Sólidos Suspendidos Totales. Periodo del estudio 6 meses. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre muestreos (1-8), las minúsculas para la variación espacial entre puntos (para cada muestreo) y mayúsculas para la variación temporal por puntos.

A continuación, se representarán los valores medios de concentración de SST obtenidos durante los tres muestreos:

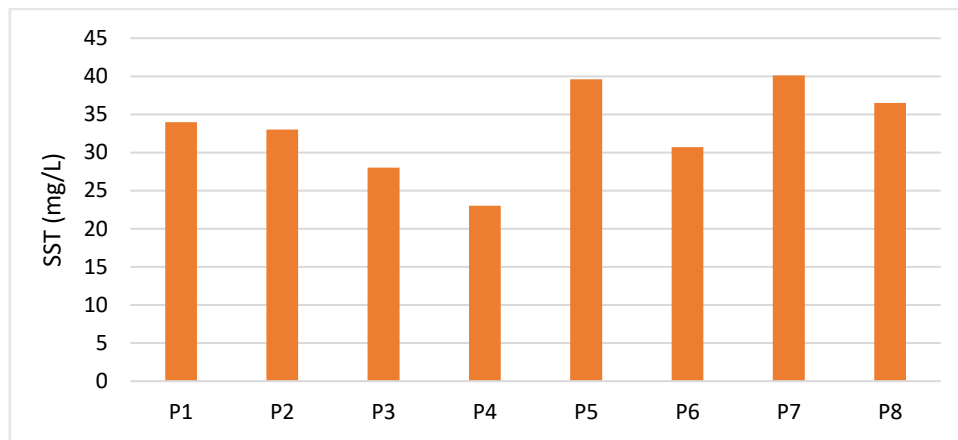


Figura 14. Media de la concentración de SST durante los tres muestreos.

De acuerdo con la Figura 14, los puntos que presentan una mayor concentración de sólidos son el 5 y 7. El punto 5 se corresponde con un cauce secundario que se une posteriormente al cauce principal y el punto 7 se trata del lugar donde confluye este cauce secundario con el cauce principal. La concentración de sólidos que presente el punto 5 influye directamente sobre la concentración que se obtendrá aguas abajo (punto 7).

El punto número 4 se corresponde con la zona de estudio que presenta una menor concentración de sólidos, ya que se trata de un emplazamiento donde el cauce del río ya ha recorrido más de un kilómetro de longitud desde que se produjera el vertido de la EDAR y en el que los sólidos ya han podido sedimentar.

Hay que destacar que los valores obtenidos también van a verse influenciados en mayor o menor medida por la profundidad y zona en la que se han llevado a cabo los muestreos en los diferentes puntos. A una mayor profundidad, la concentración de sólidos aumentará y si se han recogido muestras en zonas con aguas poco turbulentas, la concentración también variará.

4.5 Nitratos

Para este parámetro, el valor medio se sitúa en torno a los 75 mg/L, encontrando los máximos valores durante el segundo muestreo, donde se llegó a registrar una concentración de 180 mg/L. Los valores mínimos se registraron también en el primer muestreo realizado, más concretamente en los primeros puntos, donde la concentración alcanza valores mínimos de 25 mg/L.

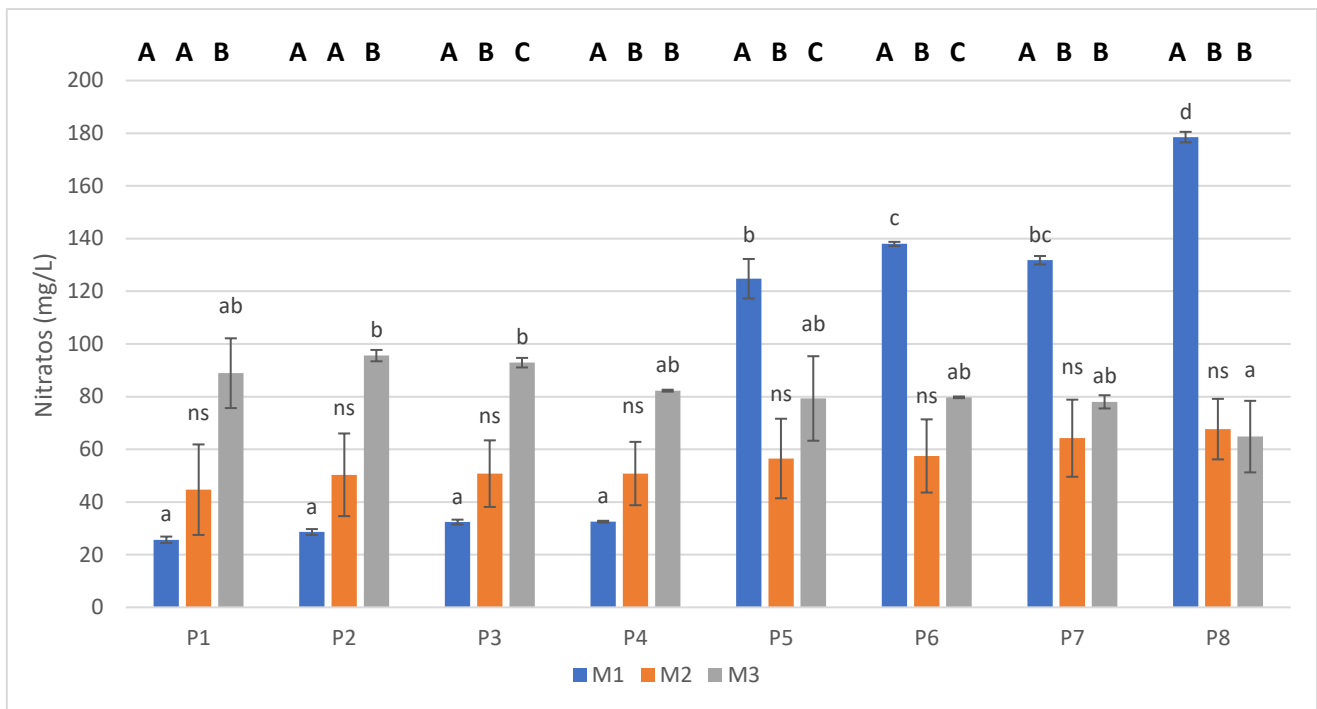


Figura 15. Variación espacio temporal en la concentración de Nitratos. Periodo del estudio 6 meses. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre muestreos (1-8), las minúsculas para la variación espacial entre puntos (para cada muestreo) y mayúsculas para la variación temporal por puntos.

Los resultados obtenidos para el segundo muestreo indican que no hay una diferencia significativa entre ellos a nivel espacial. Por el contrario, tanto para el muestreo uno como para el tres sí que hay diferencias significativas ($p < 0,005$). A nivel temporal se observa una diferencia significativa entre los tres muestreos para cada punto.

En la zona de estudio, y más concretamente en los puntos donde se han obtenido los mayores valores de concentración para este parámetro, las únicas fuentes de contaminación posibles son las de actividad industrial y agrícola. En el primer caso, al no tener constancia de ninguna industria que pueda verter puntualmente aguas con altas concentraciones de nitratos al cauce del río se procedió a descartar esta opción como una potencial fuente de contaminación. En el caso de la actividad agrícola, en las zonas adyacentes a los puntos comentados sí que es evidente el desempeño agrícola, por lo que un posible abonado con elevada concentración de compuestos nitrogenados puede llegar a ser la causante de esta anómala concentración.

4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la Figura 16, teniendo en cuenta la variación espacial, se observa que tanto el muestreo dos como el muestreo tres no presentan diferencias significativas entre sus puntos. A diferencia de éstos, los resultados obtenidos para el primer muestreo presentan diferencias significativas ($p < 0,05$). Los resultados obtenidos para este parámetro sitúan la concentración media de la DQO en $157,6 \text{ mg O}_2/\text{L}$. El valor máximo se ha registrado para el primer punto del primer muestreo, el cual presenta una concentración de $583 \text{ mg O}_2/\text{L}$. El valor mínimo se ha obtenido para los puntos 5 y 6 durante el segundo muestreo, donde se registraron valores de $58,3 \text{ mg O}_2/\text{L}$.

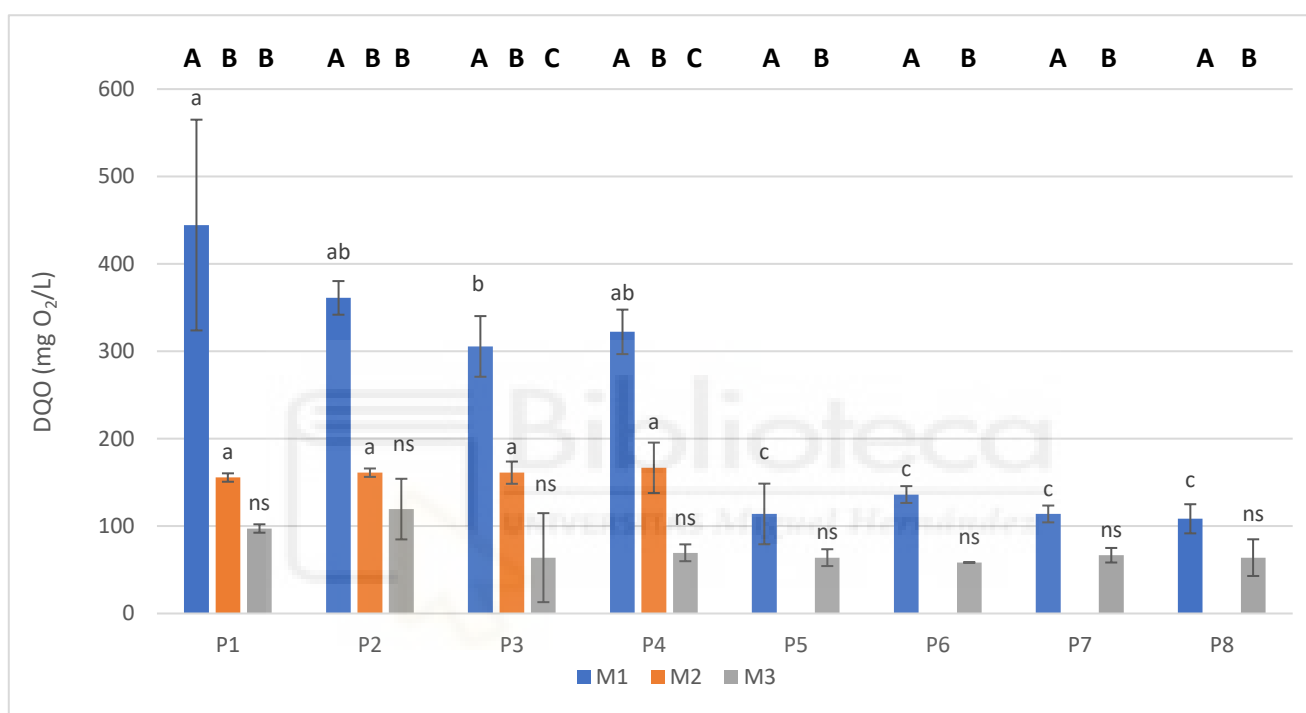


Figura 16. Variación espacio temporal de la Demanda Química de Oxígeno. Periodo del estudio 6 meses. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre muestreos (1-8), las minúsculas para la variación espacial entre puntos (para cada muestreo) y mayúsculas para la variación temporal por puntos.

Cabe destacar que para la elaboración de la siguiente figura no se han tenido en cuenta los datos referidos a los puntos 5,6,7 y 8 del segundo muestreo (M2).

Como se puede apreciar, hay elevadas diferencias significativas entre los valores obtenidos del primer muestreo y los restantes muestreos. En los primeros puntos se observa una elevada DQO, hecho que se puede relacionar con un posible vertido de la EDAR con elevada concentración en materia orgánica. En los siguientes muestreos se observa como la DQO se mantiene prácticamente constante a lo largo de los puntos de muestreo sin observar diferencias significativas en los valores obtenidos.

5. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA

5.1 Conclusiones

Tras la realización de los análisis y la posterior interpretación y discusión de los resultados obtenidos, las conclusiones que se obtienen son:

1. Los parámetros de Temperatura y pH no sufren alteraciones destacables para ninguno de los puntos durante los tres muestreos y se mantienen por tanto dentro del rango apto para la calidad de las aguas fluviales.
2. En cuanto a la CE, los valores aumentan a medida que el cauce del Vinalopó se acerca a la zona de materiales evaporíticos triásicos, donde el cauce recibe aportes de agua muy salina, provocando una alteración significativa en la composición de las aguas.
3. La concentración de Nitratos y SST aumentan en ambos casos a medida que se van viendo influenciados por las actividades antrópicas adyacentes, hecho que provoca un aumento importante de la turbidez del agua a su paso por estas zonas.
4. Se pueden diferenciar dos zonas diferentes (zona 1 y zona 2) debido a las características asociadas con la geomorfología y la vegetación presente en cada una. Además, influyen de forma directa en los valores obtenidos para cada uno de los parámetros estudiados.

5.2 Proyección futura

Los valores obtenidos han permitido establecer una idea inicial de la caracterización de las aguas y cuáles han sido las ubicaciones de los puntos más representativos donde se han registrado una mayor variabilidad de los resultados analizados. Por lo tanto, este trabajo servirá como base a futuras investigaciones y proyectos basados en la descripción de las calidades del agua del río Vinalopó en la zona de estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (2013). *AENOR*. Recuperado el 19 de febrero de 2018, de <http://www.aenor.es>
- ANNAN, K. A. (2007). *El agua, una responsabilidad compartida*. Recuperado el 10 de noviembre de 2017, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001495/149519s.pdf>
- APHA. American Public Health Association (2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21ª Edición, Centennial Edition. APHA, Washington DC
- ARROYO, A. M. (2007). El agua en la atmósfera. *Revista Ciencia*. Recuperado de <http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/>
- AYERS, R.S. y WESTCOT, D.W. (1987). La calidad del agua en la agricultura. Estudios FAO. Serie Riego y Drenaje. N°29. Rev. 1. Ed. FAO Roma.
- BEITA SANDÍ, W. y BARAHONA PALOMO, M. (2010). Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón. *Cuadernos de Investigación*. Península de Osa, Costa Rica. Recuperado de <http://investiga.uned.ac.cr>
- BRU RONDA, C. (1992). *Los caminos del Agua, El Vinalpó*. Confederación Hidrográfica del Júcar. Alicante, España.
- CHJ. (2018). *Confederación Hidrográfica del Júcar*. Recuperado el 23 de abril de 2018, de https://www.chj.es/es-es/medioambiente/Paginas/Medio_ambiente.aspx
- CIF. (2017). *Centro Investigaciones Fitosociológicas. Diagrama climático Monforte del Cid*. Recuperado el 19 de noviembre de 2017, de <http://webs.ucm.es/info/cif/data/index.htm>
- CIRELLI, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Redalyc*. Volumen 11, (3), pp. 140-170. Recuperado de <http://www.redalyc.org/>
- CNIG. (2018). *Centro Nacional de Información Geográfica*. Recuperado el 23 de abril de 2018, de <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- CRESPI ROSELL, M. y HUERTAS LÓPEZ, J. A. (1986). Determinación simplificada de la demanda química de oxígeno por el método del dicromato. *Boletín Intexter*, nº 89, pp. 89-97. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/>
- DIPUTACIÓN ALICANTE. (2010). *Desarrollo sostenible, uso conjunto y gestión integral de recursos hídricos*. Alicante, España.
- ESPAÑA. REAL DECRETO 817/2015, de 11 de septiembre, sobre por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Boletín oficial del Estado, 12 de septiembre de 2015, núm. 219, pp. 80605.
- GALLARDO, A. y CRESPO, B. (2003). *Flora y vegetación de la sierra del Cid (alicante)*. Universidad de Alicante. Ediciones Espagrafic. pp.123.
- GVA. (2018). *Banco de Datos Biodiversidad*. Recuperado el 14 de diciembre de 2017, de <http://www.bdb.gva.es/>

IDEAM. (2007). Nitrógeno total en agua por el método semi-micro kjeldahl. subdirección de hidrología - grupo laboratorio de calidad ambiental. Recuperado el 26 de mayo de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/>

IGME. (2001). *Aspectos geológicos e hidrológicos de las aguas minerales en España*. Recuperado el 26 de noviembre de 2017, de <http://www.igme.es/>

IUCN. (Marzo de 2017). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Recuperado el 14 de diciembre de 2017, de <http://www.iucnredlist.org/>

LONGHI, L. M. (1995). *Organización, función y ecología en los seres vivos*. Editorial: San José, UNED. Costa Rica.

MADEREY RASCÓN, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.igeograf.unam.mx/geoigg/>

MAPAMA. (2017). *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente: Series de vegetación Península y Baleares*. Madrid, España. Recuperado el 14 de diciembre, de <http://www.mapama.gob.es/es/>

MARÍN GALVÍN, RAFAEL. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Editorial: Díaz de Santos. Madrid, España.

MELGAJERO MORENO, J. y MOLINA GIMÉNEZ, A. (2017). *Las mancomunidades de los canales del Taibilla en la provincia de Alicante*. Alicante, España. Recuperado de <https://iuaca.ua.es/>

MONTESINOS AMAT, X. (2010). *Uso y cambios en el territorio del medio Vinalopó (alicante). El diálogo hacia un escenario territorial futuro*. Departamento de Geografía Humana. Universidad de Alicante. Recuperado el 26 de noviembre de 2017

MVOTMA. (1996). *Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes*. Recuperado de <http://www.mvotma.gub.uy/>

OMM. (1997). *Organización Meteorológica Mundial: ¿Hay suficiente agua en el mundo?* Recuperado de <http://www.wmo.int>

PÉREZ MÍNGUEZ, S. (2016). *Caracterización de la salinidad de la cuenca alta y media del río Vinalopó*. Alicante, España.

PARDO, M. (04 de mayo de 2017). La CHJ busca soluciones a los vertidos industriales de la depuradora al río. *INFORMACIÓN*. Recuperado el 14 de noviembre de 2017, de <https://www>

PONCE, G. y PALAZÓN, S. (1995). El Vinalopó Mitjà. En Belando R. et al.: *Geografía de les comarques valencianes, VI. Les comarques meridionals (II)*. pp. 107-137. Valencia. Recuperado de diarioinformacion.com/

RAMÓN-MORTE, A; RICO, A y OLCINA CANTOS, J. "El cultivo de la uva de mesa en el Medio Vinalopó: recursos hídricos y riegos localizados de alta frecuencia". *Investigaciones geográficas*. 1990, nº 8, pp. 59-82

RIVAS MARTINEZ, S, (1987). *Mapa de series de vegetación de España*. Universidad Complutense de Madrid, España: Editorial Icona.

RUDA DE SCHENQUER, E., MONGIELLO, A., Y ACOSTA, A. (2004). *Contaminación y salud del suelo*. Editorial: UNL. Santa Fe, Argentina.

SERRA LALIGA, L. (2008). *Flora vascular de la provincia de Alicante: nomenclatura, biogeografía y conservación*. Consejo superior de investigaciones científicas. Universidad de Alicante. España.

SERRA LALIGA, L. (2015). Nuevas poblaciones de especies protegidas en el sur de la Comunidad Valenciana, Volumen I. *Flora Montiberica*. Recuperado de <http://www.floramontiberica.org/>



ANEXO I. Métodos analíticos.

Métodos analíticos detallados y resultados obtenidos del análisis de los diferentes parámetros agrupados en tablas.

Los métodos analíticos que se describen a continuación han seguido las propuestas derivadas del *Standard Methods* (APHA, 2005) y el “manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes”. (MVOTMA, 1996)

Se ha de tener en cuenta que solamente se relejarán en las tablas los promedios obtenidos de las tres réplicas muestreadas por cada punto junto a sus respectivas desviaciones.

Temperatura (T^a)

La temperatura se ha medido directamente en campo, junto después de obtener las muestras de agua y depositarlas en los recipientes pertinentes, con el fin de determinar el valor real de la temperatura en cada uno de los puntos de muestreo. Se ha realizado la medición mediante un termómetro Termopar tipo K impermeable con microprocesador. La sonda del termómetro se ha limpiado vertiendo agua destilada sobre ella al inicio y al final de cada medición con el fin de evitar posibles errores de tipo instrumental. Se ha seguido la metodología establecida en los *Standard Methods* (APHA, 2005).

Conductividad eléctrica (CE)

Se ha determinado la conductividad eléctrica en campo mediante un conductímetro portátil modelo HI-9033 con sensor interno. La medición se ha realizado para cada una de las réplicas en cada punto de muestreo, justo después de depositar el agua muestreada en cada uno de los recipientes. Se han limpiado con agua destilada las células de conductividad previa y posteriormente a cada medición con el fin de evitar posibles errores de tipo instrumental. (APHA, 2005).

Potencial de hidrógeno (pH)

La medición del pH se ha realizado en el laboratorio mediante un pH-metro CRISON modelo GLP 21 a 20°C, siguiendo el método electrométrico establecido habitualmente (APHA, 2005). Las muestras se han analizado el mismo día en el que se realizó el muestreo obteniendo los siguientes resultados:

Sólidos en suspensión totales (SST)

La determinación de este parámetro se ha realizado en el laboratorio, filtrando un volumen de 200ml (100ml en los casos donde se observa una elevada concentración de sólidos suspendidos en el recipiente) con un Kitasato y una bomba de vacío. Se han utilizado filtros de fibra de vidrio GF 52 100 de 110mm de diámetro (APHA, 2005). Al aplicar el vacío, los sólidos quedarán adheridos a los filtros y posteriormente se retirará colocándolo en un crisol numerado correctamente. Una vez se obtenga el conjunto de crisoles y filtros se secarán en el Horno a

105°C durante una hora y dejándolos enfriar en el desecador alrededor de 20 minutos una vez finalizada la hora. Se procederá en última instancia al pesado del conjunto en una balanza.

Previo al paso de la muestra por los filtros, éstos se han de lavar utilizando agua destilada y haciendo el vacío. A continuación, se depositarán en sus crisoles correspondientes y se secará todo el conjunto (cápsula + filtro) en el Horno a una temperatura de 105°C durante una hora. Finalmente se dejarán enfriar en el desecador durante aproximadamente 20 minutos y se procederá a su pesado con una balanza.

Una vez obtenidos ambos pesos se calcularán los resultados finales atendiendo a la siguiente fórmula:

$$SST = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Donde:

SST: Sólidos suspendidos totales, en mg/L.

A: Peso final del conjunto (crisol + filtro) con el residuo seco, en mg.

B: Peso inicial del conjunto (crisol + filtro), en mg.

V: volumen de muestra filtrada, en mL.

Nitratos

La determinación de este parámetro en el laboratorio se ha realizado en el rango de 24h pasadas desde la recolección de las muestras, utilizando un espectrofotómetro con lámpara UV a longitud de onda entre 220 y 275 nm y una celda de cuarzo de 1 cm de longitud de paso óptico (APHA, 2005).

Se han utilizado soluciones patrón de concentraciones 0, 2, 5, 10, 20, 30, 40 ppm previamente preparadas, con el fin de elaborar una curva de calibración.

Se procederá a la determinación de la concentración de nitratos mediante el uso del programa informático Visión. Se comprobará que todos los datos estén registrados en el programa según los estándares y se preparará la cubeta de cuarzo con el patrón de referencia de 0 ppm.

A continuación, se procederá a pasar las muestras, pasando previamente las soluciones patrón, obteniendo todos los valores asociados a longitudes de onda en los rangos de 220 y 275 nm.

Durante alguno de los muestreos se ha tenido que diluir la muestra a concentración 1:5, para así obtener una concentración que se pueda correlacionar con la curva de calibración (Figura 18). La curva de calibración se acepta ya que presenta un coeficiente de correlación mayor de 0,99.

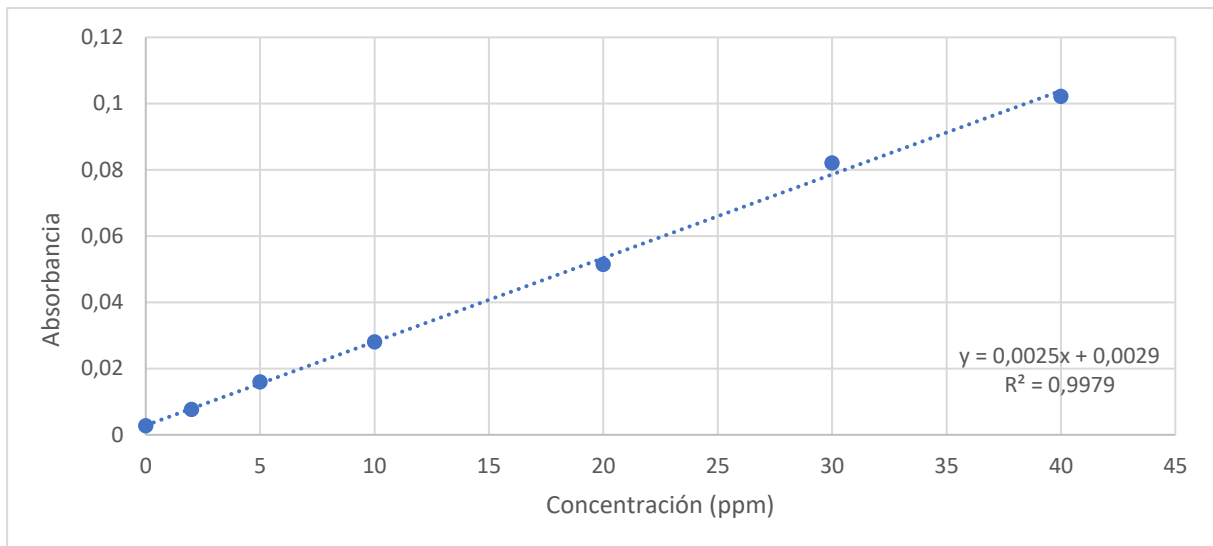


Figura 18. Curva calibración de las muestras patrón. Fuente: propia.

La ecuación obtenida en la recta de calibración permitirá obtener la concentración final para cada una de las muestras sustituyendo el valor obtenido en los resultados del análisis espectrofotométrico por el valor “y”:

$$y = 0,0025x + 0,0029$$

Donde:

Y: pico de absorbancia máximo para cada muestra.

X: Concentración final de nitratos, en mg/L.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El análisis en el laboratorio se ha realizado durante los días posteriores a la realización de cada muestreo, para así evitar la oxidación natural. Para llevar a cabo este análisis se utilizará el método del dicromato (Rosell y Huertas, 1986), por lo que se preparan de las siguientes disoluciones:

Disolución A

Se disuelven 6,6g de Ag_2SO_4 en un litro de ácido sulfúrico concentrado.

Solución $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25N

Se disuelven 12,588g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (seco en desecador) y se enrasan a un litro con H_2O destilada.

Solución B

4g de HgSO_4 + 100mL $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25N + 35mL de solución A.

Disolución de ferroina

Se ha utilizado una disolución de ferroina ya preparada.

La fórmula empleada para obtener la concentración final es la siguiente:

$$mg O_2 = (V_{blanco} - V_{muestra}) * 0,25 * 8000 * Dilución/6$$

