

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE  
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES  
GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



*“CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL  
TRAMO FINAL DEL RÍO SECO”  
San Juan - El Campello (Alicante)*

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre 2015

AUTOR: Nuria Cerdán Piqueras

TUTORES: Victoria Arcenegui Baldó

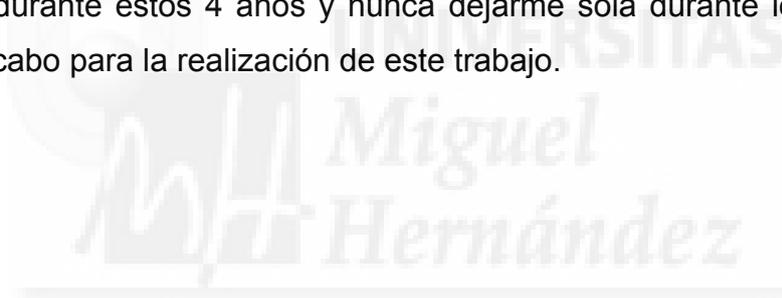
Ernesto García Sánchez

ÁREA: Geodinámica Externa

## AGRADECIMIENTOS.

Dar las gracias al área de Geodinámica Externa, a Victoria Arcenegui Baldó y a Ernesto García Sánchez por guiarme con el proyecto; al Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, especialmente a Ana, Victoria Bas y Alicia por ayudarme en todo momento en el laboratorio y resolver mis dudas, y al profesor José Navarro Pedreño por la ayuda recibida para georreferenciar los puntos de muestreo.

Para finalizar, y no menos importante, dar las gracias a toda mi familia por el apoyo y el sacrificio que todo esto ha supuesto ya que sin ellos no habría sido posible. A mi pareja Hipólito García Cuenca por acompañarme y apoyarme durante estos 4 años y nunca dejarme sola durante los muestreos llevados a cabo para la realización de este trabajo.



**Título:** Caracterización de las aguas del tramo final del río Seco.

**Resumen:** Este trabajo consiste en caracterizar la evolución espacio-temporal de diferentes parámetros de las aguas del tramo final del Río Seco tras el vertido de aguas de la EDAR de Alacantí Norte (Sant Joan d'Alacant). Después del vertido se observa un aumento en la evolución temporal de varios parámetros estudiados como: temperatura, nitratos, DQO, fósforo, y potasio. Otros parámetros como conductividad eléctrica y cloruros disminuyen debido a la dilución que produce el vertido; el pH y macronutrientes como calcio, magnesio y sodio no presentan incrementos significativos. Destacar que se produce un incremento de parámetros que favorecen la eutrofización en las aguas, como son la temperatura, DQO, nitratos y fósforo.

**Palabras clave:** Agua, Vertido, Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), Muestra.

**Title:** Water characterization of Seco's river final stretch.

**Abstract:** The main goal of this work is to know the evolution temporary-space of different parameters of the waters of the final section of the Seco's river after pouring wastewater from Alacantí WWTP (Sant Joan d'Alacant). After pouring an increase was observed in the evolution of several parameters studied as temperature, nitrates, COD, phosphorus and potassium. Other parameters such as electrical conductivity and chlorides decreases due to dilution that occurs dumping; pH and macronutrients such as calcium, magnesium and sodium do not present significant increases. Emphasize that an increase of parameters that favor eutrophication of water occurs, such as temperature, COD, nitrates and phosphorus.

**Keywords:** Water, discharge, Waste Water Treatment Plant (WWTP), Sample.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>13</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1 Zona de estudio y toma de muestras .....	13
3.2 Métodos analíticos .....	15
3.2.1 Análisis en campo .....	15
3.2.2 Análisis en laboratorio .....	16
3.3 Análisis estadístico .....	16
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>17</b>
4.1 Conductividad eléctrica.....	17
4.2 pH .....	18
4.3 Temperatura .....	18
4.4 Nitratos .....	21
4.5 DQO.....	22
4.6 Cloruros .....	23
4.7 Fósforo.....	24
4.8 Macronutrientes .....	25
4.9 Relaciones iónicas.....	27
• $CE/Cl^-$ .....	27
• $Na^+/Cl^-$ .....	28
• $Na^+/K^+$ .....	28
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>29</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>32</b>
<u>Anexo 1:</u> Fotografía satélite del cauce del Río Monnegre.....	32
<u>Anexo 2:</u> Fotografía satélite con los puntos de muestreo.....	33

## 1. INTRODUCCIÓN

La red hidrológica, de la Comunidad Valenciana, comprende una amplia extensión entre ríos y lagos, y se caracteriza por la presencia de ramblas secas la mayor parte del año y, a veces, con corrientes subálveas captadas para regadíos y turismo. La proximidad al mar de las montañas hace que sean de curso rápido. Los rasgos climáticos y escasez de vegetación ocasionan un régimen sumamente irregular, con estiajes acusadísimos que dejan casi secos los ríos.

Destacamos en este caso, en el Área Metropolitana de Alicante, las cuencas cerradas del sector entre el Vinalopó y el Barranco de Las Ovejas-Monnegre, y entre el Monnegre y Amadorio. En estos interfluvios de las cuencas se ubican las redes que caracterizan el tipo de ramblas y barrancos mediterráneos, entre cuyos representantes más importantes geográfica y topográficamente se encuentran: L'Amerador, el del Derramado, el de Maldo, el de las Ovejas, Rambla de los Molinos, Rambla de la Garganta, y el Barranco de San Cayetano.

El río Monnegre o Seco constituye la arteria principal de la cuenca que lleva su nombre, con una extensión total de 534 km<sup>2</sup> (Anexo 1). En su cabecera recibe el nombre de río Verde y tiene hasta su desembocadura una longitud de 36 km. Recoge la escorrentía de las sierras de Onil y Argueña que culminan sobre los 1.200 m, en su comienzo; pero el cauce se formaliza en el valle que delimitan dichas sierras. En dirección Sureste, ya encajado, reúne las aguas del barranco Canyoles y río de Les Caves, que proceden de las sierras de la Argueña, Umbría, Castalla y Maigmó, por el Oeste, mientras que del Este recibe aportaciones de los manantiales del sistema acuífero de Pinar de Camús, siendo la más importante la Fuente de Onil, con un caudal aproximado de 20 l/s, y de las surgencias del sistema de Barrancones-Carrasqueta, que descargan su mayor volumen en los manantiales del Barranco de Ibi, con un caudal de 50 l/s.

Aguas abajo, antes de entrar en el pantano de Tibi, recoge la escorrentía intermitente de los barrancos de Enger, Planets, Pereda, Pradera y Llosar,

recibiendo además a la altura del municipio de Tibi, una parte del agua que abastece al pueblo. El embalse de Tibi, realizado en 1594 y reformado en 1943, tiene una capacidad teórica de  $3,7 \text{ Hm}^3$  y una superficie máxima de inundación de 50 Ha. Junto a esta represa se encuentran las Fuentes de Tibi con un caudal aproximado de 200 l/s. Hasta aquí se le denomina río Verde, con una cuenca de recepción de  $265 \text{ km}^2$ , mientras que aguas abajo del embalse adquiere el curso principal una nueva denominación, la de Monnegre, en relación con una cuenca afluyente muy pequeña, de  $39 \text{ km}^2$  de superficie.

El río con esa nueva denominación pasa por los caseríos Monnegre de Arriba y Monnegre de Abajo, y entre ambos recoge las aguas del Barranco de La Salina, para a los 26 km de la cabecera y a la altura de la Ermita del Chapitel, recibir al río Torremanzanas.

La cuenca alta del Monnegre con una pluviometría superior a la de su cuenca baja, se estructura entre el relieve de tipo alto y con terrenos de permeabilidad media. El rasgo más peculiar lo acapara su grado de antropización, que influye decisivamente en usos agrarios y urbanos, y que alcanza su más claro exponente en la construcción ya remota del Embalse de Tibi.

Ya en el término municipal de Mutxamel, se le denomina río Seco, afluyendo a él una serie de barrancadas, entre las que destacan las del margen izquierdo, Barrancos de Vercheret, Agua Amarga y Cabafrich.

La cuenca baja ocupa un recorrido de 11 km, en los que atraviesa los términos de Mutxamel, Sant Joan y El Campello, los cuales aprovechan sus débitos con un sistema complejo de regadíos, basados en derivaciones mediante presas, azudes, acequias y boqueras cubriendo las vertientes y vegas. Finalmente desemboca en el mar Mediterráneo, en el paraje de cabo Azul, originando un pequeño cono aluvial. La cuenca baja presenta también pequeños desniveles, salvo en los dos últimos kilómetros, pertenecientes a El Campello, a lo que se añade el afloramiento de materiales de baja o nula permeabilidad (glacis encostrados y descubiertos, material arcilloso y aluvial).

Ambos hechos condicionan la potencialidad de la escorrentía con precipitaciones de gran intensidad horaria (GVA, 2000).

En cuanto a la geología de la cuenca del río Monnegre, vamos a destacar donde se ubica geológicamente, pudiendo encontrar rocas arcillosas, margas, yesos y conglomerados.

La edad de los materiales comprende desde el Triásico hasta el Cuaternario (Figura 1).

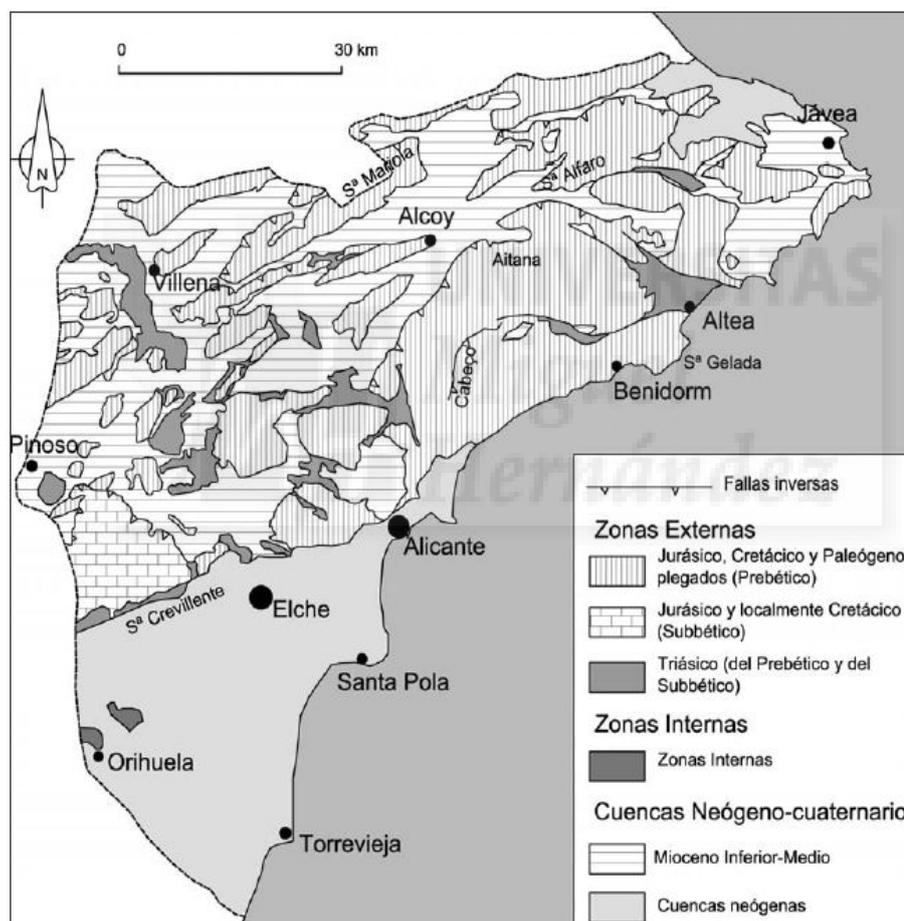


Figura 1. Mapa geológico de la provincia de Alicante (GVA, 2000).

Y en cuanto a la descripción litológica del río Monnegre se indica que en su tramo medio atraviesa materiales blandos, fácilmente erosionables, agrandando su valle y excavando, no solamente los materiales triásicos del

sustrato, sino sus propios aluviones depositados en distintos momentos, y a las distintas alturas que el lecho del río ha tenido (DPA, 2010).

Respecto al valor ambiental que posee toda la zona del río Monnegre, cabe indicar que en su día se propuso que fuera incluida en el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana, pero sólo se aceptó el Pantano de Tibi, que aunque forma parte de este espacio natural, merecería un capítulo aparte.

Desde hace años este río no presentaba apenas agua en su cauce bajo, ya que gran parte de ella se utiliza como agua de riego para cultivos. Con la entrada en funcionamiento de la EDAR Alacantí Norte, esta situación cambió.

El cauce del río Monnegre destacaba por su condición de zona húmeda dentro de un territorio de características semiáridas, su importancia paisajística, el interés como corredor natural, sus valores botánicos y de vegetación (entre los que destacaban la existencia de formaciones vegetales que creaban un corredor verde de gran importancia para la fauna y la presencia de especies vegetales endémicas adaptadas a las particularidades del entorno), sus formaciones geológicas, con estructuras y afloramientos diversos (margas triásicas), la existencia de nacimientos naturales de aguas salobres con sus particulares condiciones (Barranc de les Salines y Barranc Salat), y sus valores etnológicos e históricos, sobre todo los asociados al agua (presa de Tibi, azudes, aljibes, minas de agua), pero también minas de ocre, hornos de cal, etc.

El descubrimiento como nidificante del camachuelo trompetero (*Bucanethes githagineus*), un pájaro en expansión desde el norte de África, consiguió que la zona fuera declarada como de especial protección para las aves (ZEPA), posteriormente modificada.

Además, la zona tras la construcción de la EDAR vuelve a poseer una alta biodiversidad vegetal como la que poseía hace años cuando el cauce llegaba con agua a la desembocadura durante todo el año.

El cauce del Monnegre presenta una formación continua de vegetación de ribera, abundan matorrales de diversas especies como mirtos (*Myrtus communis*), palmitos (*Chamaerops humilis*), lentiscos (*Pistacia lentiscus*), efedras (sp del género *Ephedra*), además de elementos introducidos por el hombre como higueras (*Ficus carica*) y palmeras, y cultivos tradicionales. Además la presencia de carrizales (*Phragmites australis*), cañaverales (sp del género *Arundo*), tarayales (sp del género *Tamarix*), bosquetes de olmos (*Ulmus minor*), adelfares (*Nerium oleander*), manchas de juncos (sp del género *Juncus*) y enneas (sp del género *Typha*), junto a zarzales (sp del género *Rubus*) y otras especies trepadoras como zarzaparrilla (*Smilax aspera*) y madre selvas (*Lonicera caprifolium*), le dan un aspecto realmente selvático. En la complicada orografía de lomas y montes circundantes, encontramos diversas formaciones de matorral adaptadas a las condiciones semiáridas y a las particulares características de terrenos ricos en yesos como son espartales (*Stipa tenacissima*) y genistares (sp del género *Genista*). En las laderas y vaguadas más umbrías, se desarrollan pinares mixtos de pino carrasco con especies como el acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris*), madroño (*Arbustus unedo*), aladierno (*Rhamnus alaternus*), labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), enebro y sabinas (sp del género *Juniperus*).

Hay una gran diversidad de especies herbáceas y semiarbusivas (Figura 2), muchas de ellas de carácter endémico como el rabogato (*Sideritis leucantha*), cantueso (*Thymus moroderi*), o varias especies del género *Limonium*, *Teucrium*, *Helianthemum* (jarillas), etc. Pero entre todas las plantas endémicas destaca una que tiene aquí el principal núcleo de su escasa distribución en la comarca de l'Alacantí, se trata de *Vella lucentina*, representante de un género que tiene sus parientes más cercanos en las cumbres de las montañas más altas de Alicante, y cuya presencia supone un enigma botánico.



Figura 2. Algunos ejemplares de especies características de la zona. A) Cantueso (*Thymus moroderi*) B) Rabogato (*Sideritis leucantha*) C) *Vella lucentina*

En cuanto a la riqueza faunística que presenta la zona, se puede observar desde aves típicamente forestales a otras propias de las zonas esteparias y acuáticas. Además del ya mencionado camachuelo trompetero (*Bucanethes githagineus*), sobresalen las poblaciones nidificantes de golondrina dáurica (*Hirundo daurica*), alzacola (*Cercotrichas galactotes*), alcaraván (*Burhinus oedicephalus*), chotacabras pardo (*Caprimulgus ruficollis*) o críalo (*Clamator glandarius*). También el roquero solitario (*Monticola solitarius*), las collalbas negra, rubia y blanca (*Oenanthe*), currucas carrasqueña (*Sylvia cantillans*) y tomillera (*Sylvia conspicillata*), zarceros (*Hippolais polyglotta*), ruiseñores (*Luscinia megarhynchos*), carriceros (*Acrocephalus scirpaceus*), cogujadas (*Galerida cristata*), terreras (*Calandrella brachydactyla*), chova piquirroja (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*), oropéndola (*Oriolus oriolus*), palomas zurita (*Columba oenas*) y paloma torcaz (*Columba palumbus*), etc. En la época de invernada, se pueden observar especies ligadas a zonas ribereñas como la becada (*Scolopax rusticola*), agachadiza común (*Gallinago gallinago*), andarríos grande (*Tringa ochropus*) o martín pescador (*Alcedo atthis*).

Con respecto a las rapaces, el Monnegre destaca por ser una de las zonas con alta densidad de búho real (*Bubo bubo*), y por la nidificación del águila azor perdicera (*Hieraetus fasciatus*), en parte gracias a la particular orografía a base de cortados rocosos, taludes y paredes con oquedades.

También nidifica el halcón peregrino (*Falco peregrinus*) y el águila culebrera (*Circaetus gallicus*), y se pueden ver ejemplares de águila real (*Aguila chrysaetos*), alcotán (*Falco subbuteo*) o gavilán (*Accipiter nisus*), que

nidifican en zonas cercanas, aunque es muy probable que lo hagan aquí también.

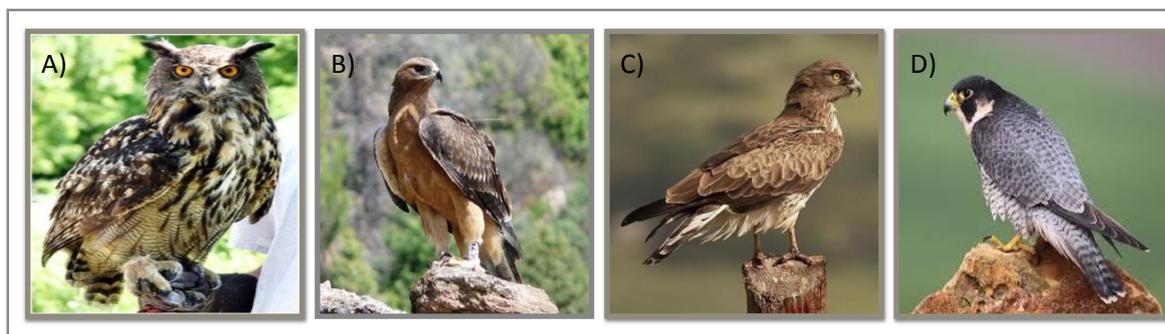


Figura 3. Algunos ejemplos de aves rapaces presentes en la zona. A) Búho Real. B) Águila perdicera. C) Águila culebrera. D) Halcón peregrino.

También hay presencia de peces en algún tramo del río encañonado, donde se mantiene el agua en pozas durante todo el año. Los anfibios y reptiles están bien representados, siendo menos abundantes los anfibios que los reptiles. También con los reptiles existen singularidades, ya que aquí el lagarto ocelado (*Timon lepidus*) tiene una coloración más apagada y grisácea.

En cuanto a los mamíferos, la presencia de sus rastros es abundante en las zonas mejor conservadas y con vegetación más frondosa, excepto el zorro (*Vulpini*) que es común en toda el área. Entre los carnívoros destacan la gineta (*Genetta genetta*), garduña (*Martes foina*) y tejón (*Meles meles*), más escaso, junto a la muy probable presencia de turón (*Mustela putorius*) y gato montés (*Felis silvestris*). Aparte de los carnívoros, hay jabalíes (*Sus scrofa*) y una especie de cabra africana introducida en Alicante y que se ha extendido de manera notable, el arruí (*Ammotragus lervia*). Pero es el grupo de los quirópteros el que aporta la especie más interesante: el murciélago patudo (*Myotis capaccinii*), en peligro de extinción y típico de riberas y zonas húmedas, y presente casi en exclusiva en el levante español (Domingo-López, 2011).

La EDAR (Figura 4), que fue puesta en marcha en el año 2011, está situada en Sant Joan, en su límite con los términos de El Campello y Mutxamel,

colindantes a la autopista AP-7 y al cauce del río Seco prestando servicio a los municipios de Busot, El Campello, Sant Joan d'Alacant y Mutxamel.

Según datos de funcionamiento del año 2014 se produce un caudal medio de 5.504 m<sup>3</sup>/día, aunque su caudal de diseño es de 15.000 m<sup>3</sup>/día. La población servida durante ese año fue de 63.897 habitantes, lo que nos muestra que trabaja por debajo de su capacidad total ya que posee una capacidad para 100.000 habitantes. Los rendimientos obtenidos en tanto por ciento de sólidos en suspensión son de 98, de DBO5 de 99 y de DQO de 96 (EPSAR, 2014).



Figura 4. EDAR Alacantí Norte (Imagen tomada de EPSAR, 2014)

Se encuentra actualmente por debajo de su rendimiento total, y se vierte al río directamente el agua de la salida del tratamiento secundario aunque dicha planta está preparada para realizar tratamiento terciario, el cuál todavía

no se ha puesto en marcha porque supone un gasto económico que actualmente no puede ser soportado.

## **2. OBJETIVO**

El objetivo de este trabajo es estudiar la evolución espacio-temporal de diferentes parámetros físicos y químicos de las aguas que se vierten del tratamiento secundario de la EDAR Alacantí Norte al río Seco en la zona de Sant Joan d'Alacant y El Campello.

## **3. MATERIALY MÉTODOS**

### 3.1. Zona de estudio y toma de muestras.

La zona de estudio tiene una ubicación central y litoral dentro de la provincia de Alicante, en un ámbito claramente mediterráneo situada concretamente entre las ciudades de Sant Joan d'Alacant y El Campello (Figura 5).

Las temperaturas de la zona de estudio se caracterizan por los altos valores medios anuales ( $16,9^{\circ}$  C) y la moderada variación estacional, que conlleva la inexistencia de invierno meteorológico propiamente dicho (todas las medias mensuales superiores a  $10^{\circ}$  C). Estas elevadas temperaturas se traducen en una alta aridez ambiental y en una fuerte radiación estival.

Las precipitaciones de ambos municipios se ubican en una zona que destaca por la escasez de lluvia y la irregularidad de estas precipitaciones. La precipitación total anual media que se registra sobrepasa sensiblemente los 200 mm, por lo que se puede hablar de un clima marcado por una escasez pluviométrica. En la época otoñal destaca la aparición de fuertes lluvias concentradas en un corto espacio de tiempo, con el riesgo asociado que ello conlleva para la crecida del sistema de ramblas y barrancos de la zona.

De los regímenes de viento, destacar que es en invierno cuando se producen las rachas máximas, frecuentemente relacionadas con vientos del

Oeste, que por otro lado generan unas condiciones ambientales favorables de visibilidad.

Según la clasificación de Thornthawite, el tipo climático que corresponde a la zona de estudio sería E1 B'2 d a', lo que supone un clima árido, mesotérmico, poco o nada de superávit en invierno, donde coinciden bajas precipitaciones con elevados índices de ETP (Requena-Galipienso, 2007).

En cuanto a la toma de muestras, comienza en el término municipal de Sant Joan d'Alacant a una altitud sobre el nivel del mar de 36 metros y termina en el término municipal de El Campello (concretamente a una cota de 2 m s.n.m. con la toma del último punto).

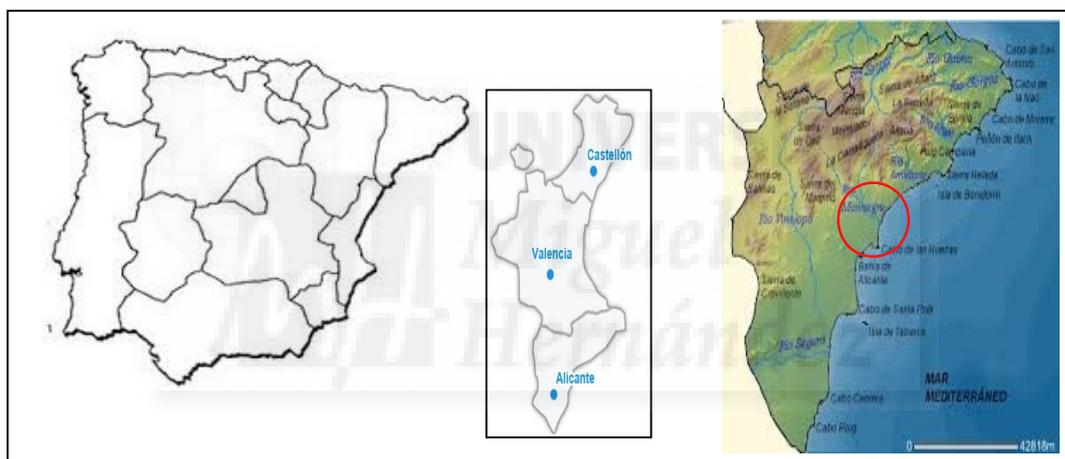


Figura 5. Localización de la zona de estudio.

Son un total de 7 puntos (Anexo 2), distribuidos a lo largo de 3 kilómetros desde el primer muestreo hasta el último. En cada punto se tomaron tres muestras y se realizaron cuatro muestreos, lo que equivale a un total de 84 muestras analizadas, cuyas coordenadas y altitud de cada punto de muestreo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Localización de los puntos de muestreo seleccionados en el estudio.

PUNTO	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
1	36 metros	38°25'39.38"N	0°25'10.05"O
2	35 metros	38°25'38.75"N	0°25'09.11"O
3	34 metros	38°25'37.98"N	0°24'58.49"O
4	23 metros	38°25'16.44"N	0°24'33.20"O
5	13 metros	38°25'06.80"N	0°24'09.57"O
6	4 metros	38°25'04.47"N	0°23'35.98"O
7	2 metros	38°25'04.08"N	0°23'28.37"O

### 3.2. Métodos analíticos.

#### 3.2.1. Análisis en campo

En cada punto de muestreo se midió el pH (HI 9023, HANNA), la conductividad eléctrica (HI 9033 - HI 9034, HANNA) y la temperatura (HI 9063, HANNA) de las muestras de agua y ambiental (Figura 6).



Figura 6. Fotos durante el muestreo. 1) Toma de muestra. 2) Preparación para medida de CE, pH y temperatura de la muestra. 3) Envasado para determinación en laboratorio.

### 3.2.2. Análisis en laboratorio

De todas las muestras de agua tomadas, se llevaron a cabo los siguientes análisis (Standard Methods, 1989): Conductividad eléctrica (CE),  $\text{NO}_3^-$ , DQO, P,  $\text{Cl}^-$  y Macronutrientes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ). En la Figura 7 se muestran la realización de diferentes análisis llevados a cabo en el laboratorio.



Figura 7. Secuencia de imágenes en el laboratorio. A) Determinación Nitratos B) Determinación CE. C) Determinación Macronutrientes.

### 3.3. Análisis estadístico.

Mediante el test Kolmogorov-Smirnov se verificó el ajuste de los datos a una distribución normal para todos los parámetros analizados. Para conocer la evolución temporal de los diferentes parámetros analizados se realizó un test Anova, la separación de las medias se realiza mediante el test Post Hoc de Tukey ( $P < 0.05$ ) y asumiendo varianzas iguales. También se realizaron correlaciones de Pearson entre algunos de los parámetros estudiados. Para ello se utilizó el software estadístico *IBM SPSS Statistics* (Statistical Program for the Social Sciences 18.0).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Conductividad Eléctrica

Este parámetro mide la capacidad del agua de conducir una corriente eléctrica, es sensible a las variaciones de sólidos disueltos, principalmente de sales minerales.

Se observa (Figura 8 y 9) que, tanto en las medidas de campo como en el laboratorio, la cantidad de sales disueltas en el primer punto no presenta diferencias significativas entre los muestreos, con valores alrededor de 3,5-3,7 mS/cm. El punto 2, que corresponde al vertido de la EDAR, presenta los valores más bajos de todos los registrados (2,1-2,4 mS/cm) ya que se trata de aguas residuales urbanas, cuyo origen mayoritario son las aguas de consumo de las poblaciones de Busot, El Campello, Sant Joan d'Alacant y Mutxamel, presentando una evolución temporal muy similar en todos los muestreos con una ligera disminución en el M3, debido a que durante esa semana se produjeron lluvias en la zona.

La conductividad de todos los puntos es relativamente alta, debido a que el cauce atraviesa terrenos evaporíticos en su parte media-alta, donde el agua incorpora sales de forma importante.

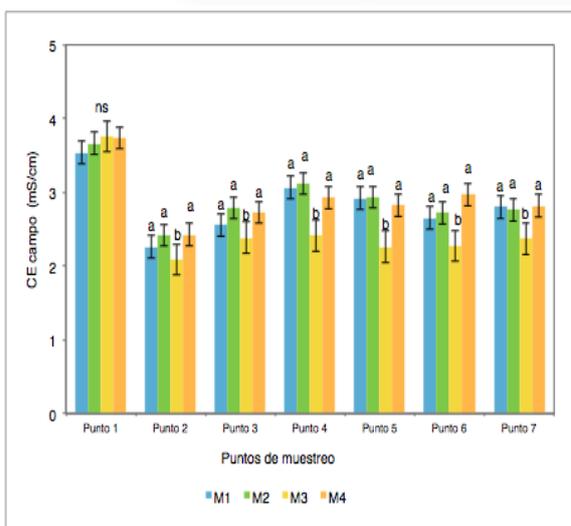


Figura 8. Evolución temporal de la CE (mS/cm) en campo de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los horizontes ( $P < 0,005$ ).

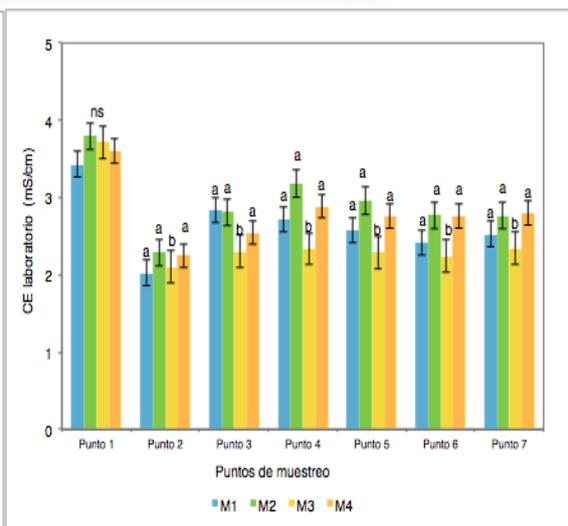


Figura 9. Evolución temporal de la CE (mS/cm) en laboratorio de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los horizontes ( $P < 0,005$ ).

## 4.2. pH

Los resultados obtenidos para el pH (Figura 10) muestran valores entre 8 y 9, observándose una evolución temporal muy similar en todos los puntos a excepción de los puntos 6 y 7 del M1 cuyos valores son más altos debido a que se encuentran muy próximos a la desembocadura y pudo producirse entrada de agua de mar, este hecho es acorde con el incremento de  $K^+$  en este muestreo, lo que justificaría este incremento de pH ya que la salinidad influye en este parámetro.

Destacamos, además, la disminución en los valores del punto 2 respecto al punto 1, debido a que la temperatura del vertido de la EDAR es más alta (Figura 11) lo que hace que el pH disminuya al estar compuesto por agua residual doméstica.

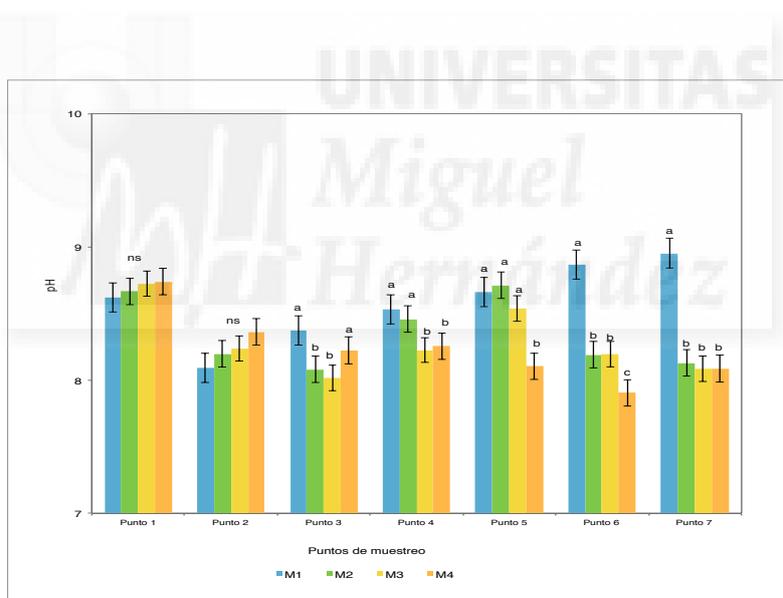


Figura 10. Evolución temporal de pH de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

## 4.3. Temperatura

En la Figura 11 se observa que la temperatura de las muestras tiene diferencias significativas entre los muestreos de los diferentes puntos, en el M1

observamos que la temperatura es la más baja con valores entre a 9 y 15° C debido a que se realizó a finales del mes de febrero. En M2 y M3 las temperaturas son similares, ya que se realizaron en el mes de marzo, con valores entre a los 14-18° C, mientras que M4 presenta un incremento de las temperaturas, con valores entorno a los 20 y 24° C, debido a que se llevó a cabo en el mes de mayo. Por tanto, la temperatura de las muestras refleja de forma global la evolución estacional de este parámetro ambiental.

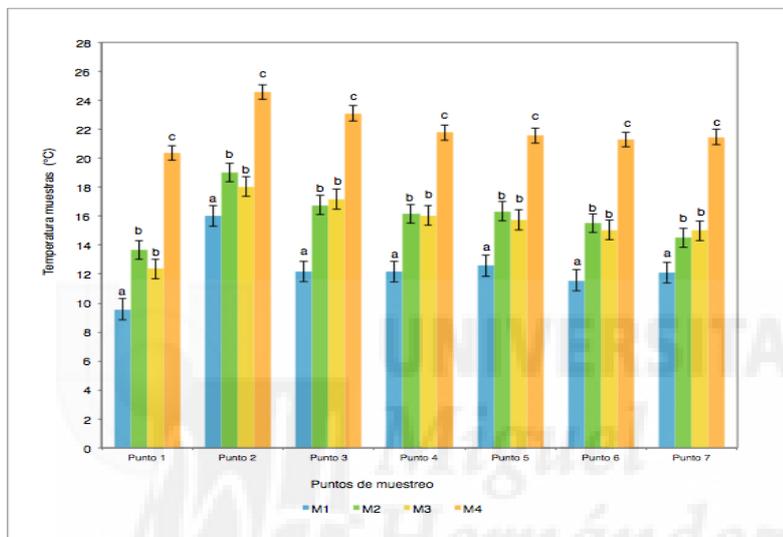


Figura 11. Evolución temporal de la Temperatura (° C) de las muestras en los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

La Figura 12 muestra la temperatura ambiente en cada muestreo encontrando importantes diferencias significativas entre M2 (calor unos días puntuales) y M4 que fueron los más calurosos, mientras que en M1 y M3 se realizaron con temperaturas ambiente más suaves. Destacar que durante el M3, que se realizó a finales del mes de abril, se produjeron lluvias (figuras 13 y 14) durante los días anteriores y el día 25, día de muestreo, de ahí los 11° C de temperatura ambiente.

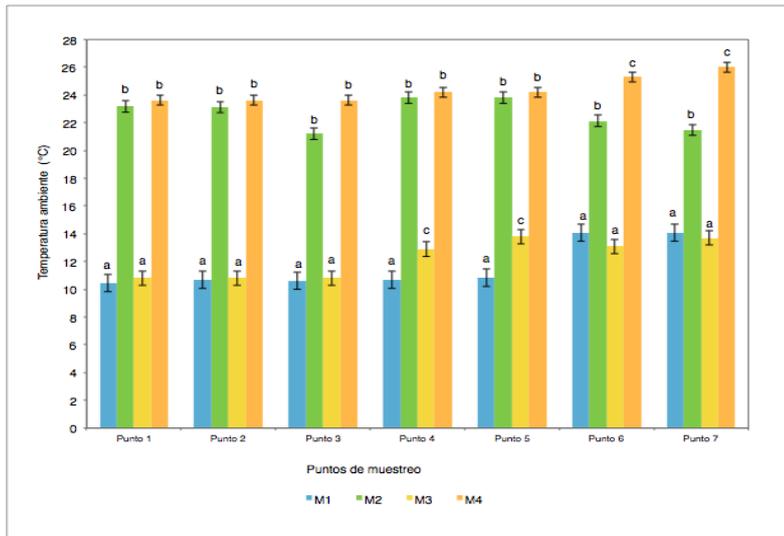


Figura 12. Evolución temporal de la Temperatura (° C) ambiente de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

Las Figuras 13 y 14 muestran la cantidad de lluvia recogida durante el día de muestreo y días anteriores, y pese a no ser lluvias importantes, la recurrencia de pequeñas lluvias durante aproximadamente dos semanas ha favorecido el llenado de la capacidad de campo, y por tanto la aparición de escorrentías superficiales y/o subsuperficiales que tuvieron como destino el cauce del río Seco. De esta forma se justifica el descenso detectado en la salinidad de las aguas de dicho río (CE) durante M3.

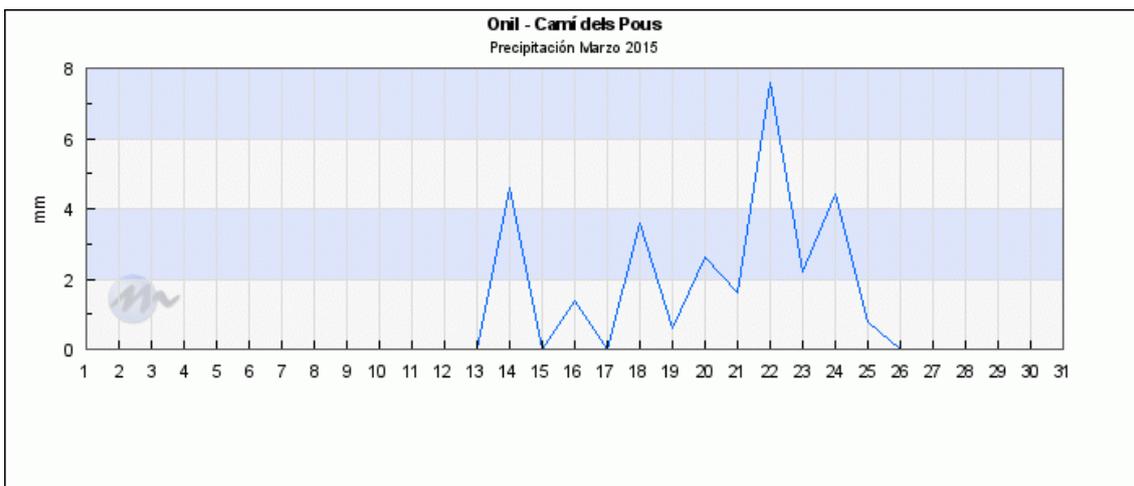


Figura 13. Precipitaciones recogidas en la estación meteorológica de Onil METEOCLIMATIC.

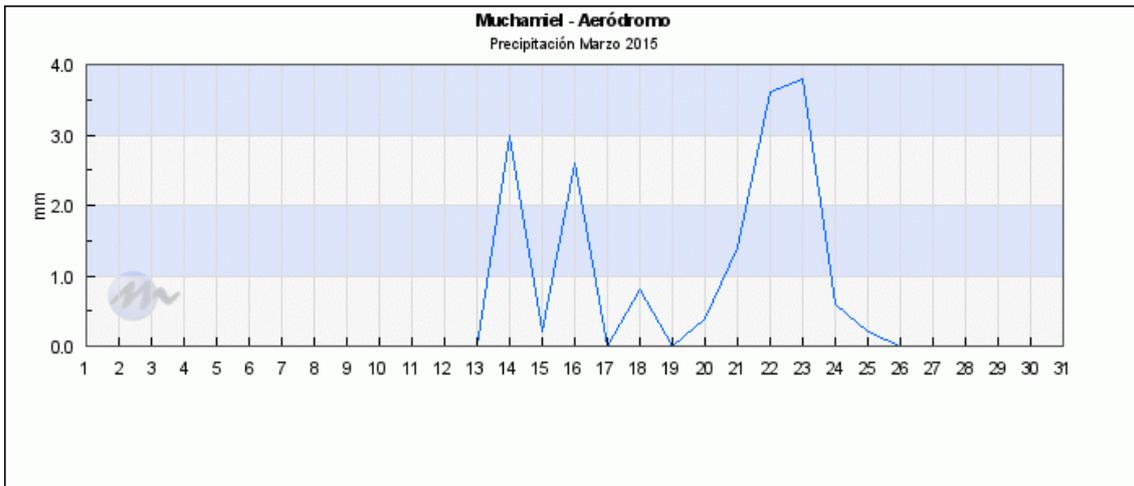


Figura 14. Precipitaciones recogidas en la estación meteorológica de Mutxamel METEOCLIMATIC.

#### 4.4. Nitratos

En la Figura 15 se observa un aumento del contenido de nitratos a lo largo del periodo de estudio a partir del punto 2 (vertido EDAR) donde se aprecian concentraciones de nitratos entorno a 6-7,4 mg/L, mientras que en la muestra control se presentan valores entorno a 2,3-4 mg/L. Este incremento se interpreta como consecuencia de la elevada concentración de MO de las aguas residuales urbanas vertidas al cauce por la EDAR y a la presencia de abonos nitrogenados en el suelo, ya que hay zonas de cultivo colindantes.

Dado que la velocidad con la que se aportan estas sustancias es mayor que la velocidad con la que se degradan, se produce una contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Blancas, y Hervás, 2001).

Por último, destacar que es probable que las precipitaciones hayan producido un efecto de dilución en las aguas del cauce, lo que justificaría el descenso en los valores de nitratos durante el M3. Hay que tener en cuenta que el valor más bajo observado es en el punto 2 (EDAR) lo cuál es lógico, ya que los colectores pluviales recogen la lluvia y diluyen rápidamente el vertido residual, hasta el punto que la depuradora pudiera dejar de tratar el agua si no tuviera capacidad.

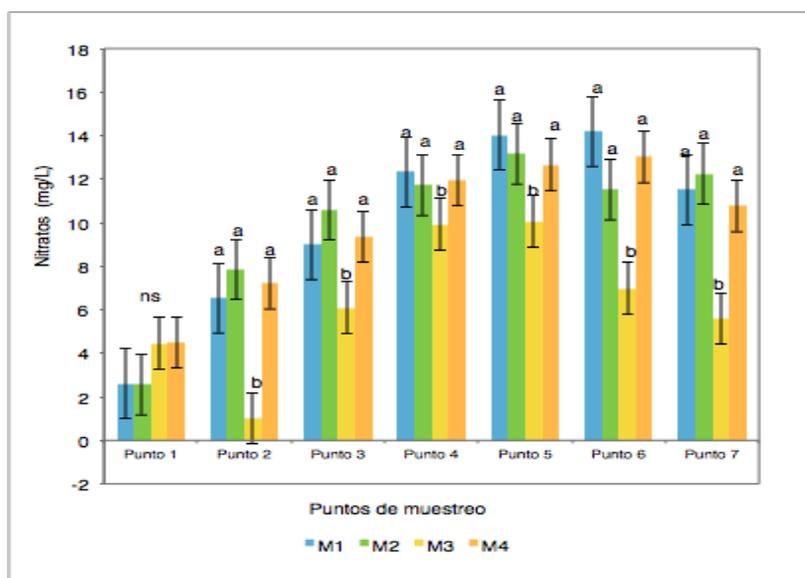


Figura 15. Evolución temporal de los nitratos (mg/L) de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

#### 4.5. DQO

En la figura 16 se observa que durante el M2 en los dos primeros puntos hay un incremento debido a una mayor presencia de materia orgánica y posteriormente se observa que se produce una disminución de la concentración a partir del punto 4 debido a la existencia de una mayor oxidación de la materia orgánica por parte de los microorganismos.

Es destacable decir que entre el punto 3, con valores entorno a 180-200 mg  $O_2/L$ , y el punto 4, con valores entorno a 110-160 mg  $O_2/L$ , hay casi 1 kilómetro de diferencia de ahí que se vea esa disminución respecto a los puntos anteriores que son tomados con apenas 100 metros de diferencia (Hidritec, 2014).

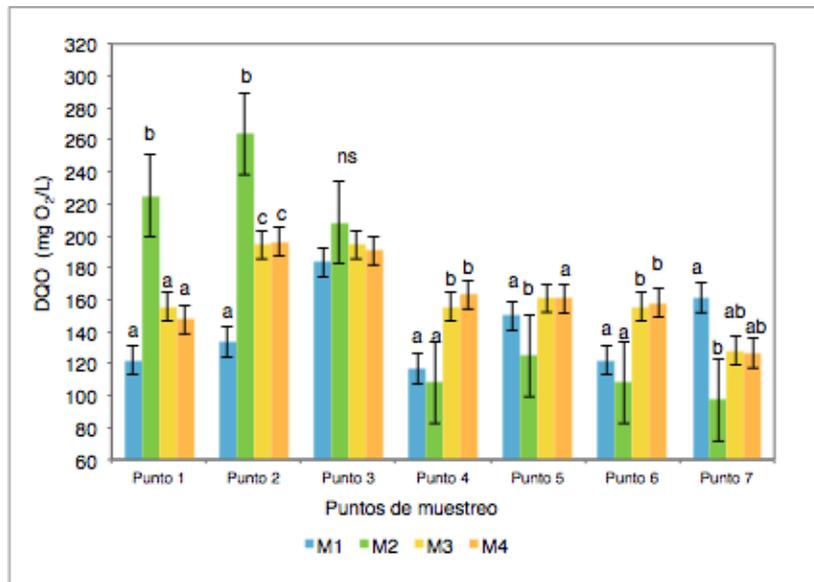


Figura 16. Evolución temporal de la DQO (mgO<sub>2</sub>/L) de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos (P<0,005).

#### 4.6 Cloruros

En la figura 17 se observa que el punto 2 (vertido EDAR) posee la concentración más baja que el agua del cauce (punto 1), debido a que se trata de agua de consumo. Esta tendencia es similar a la obtenida para la conductividad eléctrica (figuras 8 y 9); lo que resulta lógico si se observa la relación entre ambos parámetros. El agua del río puede incrementar los cloruros por la entrada de agua de mar o de aguas que hayan lavado terrenos salinos (disolución de sales de los materiales evaporíticos del Trías Keuper).

El punto 1 (muestra control) es el que más concentración presenta, con valores entorno a 640-660 mgCl<sup>-</sup>/L, y tras el vertido se produce una dilución haciendo que se mantenga una evolución temporal muy similar en todos los puntos, con valores entorno a 370-470 mgCl<sup>-</sup>/L.

Destacar que M3 es de todos ellos el que menos concentración de cloruros presenta debido a la lluvia que se produjo durante días anteriores (Moreno, 2010).

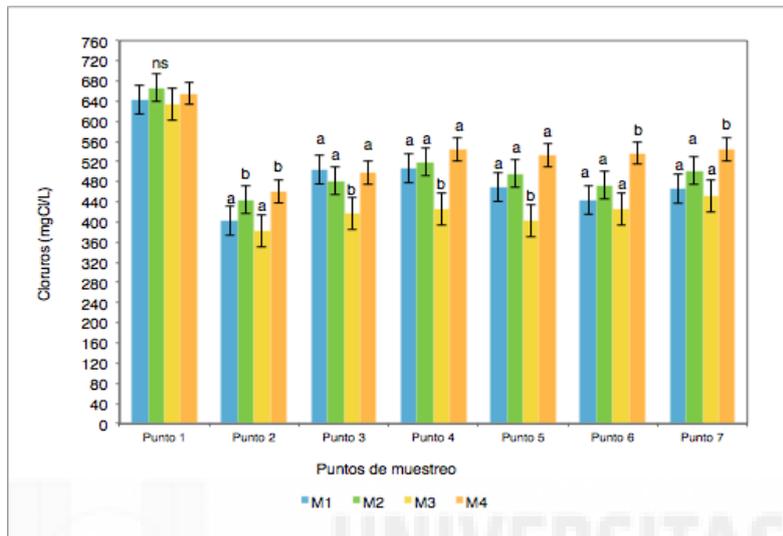


Figura 17. Evolución temporal de los Cloruros (mgCl/L) de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

#### 4.7 Fósforo

En la Figura 18 se observa un aumento significativo de la concentración de fósforo a partir del vertido de la EDAR (punto 2), con valores entorno a 1,4-1,9 mg/L, debido a una elevada presencia de desechos humanos, detergentes y productos de limpieza. Se observa posteriormente un incremento en el punto 5 del M2 pudiendo deberse al vertido intencionado de fertilizantes o detergentes al cauce del río, ya que en muestreos posteriores no se aprecia.

Es el muestreo 1, nuestra muestra control, el que menos concentración presenta, con valores entorno a 0,2-0,6 mg/L, por lo que podemos señalar que el vertido de la EDAR es el que aumenta considerablemente la concentración de fósforo en el cauce, pudiendo llegar a producir eutrofización de las aguas (Ronzano y Dapena, 2010).

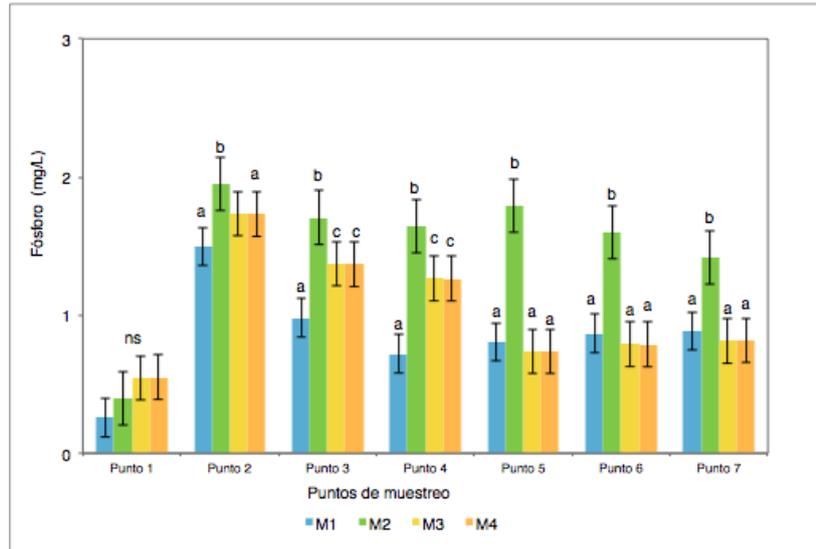


Figura 18. Evolución temporal del Fósforo (mgCl/L) de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

#### 4.8 Macronutrientes

En la Figura 19 se observa que el  $\text{Ca}^{2+}$  posee la concentración más alta en el punto 1, que es nuestra muestra control, debido a que el agua viene de la disolución de sulfatos típicos de los terrenos evaporíticos con presencia de yesos y margas triásicas. El punto 2 presenta la menor concentración, con valores entorno a 0,9-1,2 mg/L, lo que diluye la concentración observándose una evolución temporal similar en los demás puntos.

Junto con el nitrógeno y el fósforo, el potasio es uno de los macronutrientes esenciales para la supervivencia de las plantas. Concentraciones elevadas son indicio de contaminación por vertido de aguas residuales, lavado de terrenos salinos o mezcla de agua marina. Observamos su evolución en la Figura 20 en ella se puede observar que el vertido de la EDAR posee una concentración más elevada de  $\text{K}^+$  que las aguas del cauce del río Seco. También resulta significativo que las concentraciones de  $\text{K}^+$  en los puntos 6 y 7 aumentan respecto a los puntos anteriores durante los muestreos 1 y 4, este hecho parece indicar la entrada de agua marina al cauce en momentos de temporales de levante y posteriormente debido a la dilución se

produce una evolución temporal similar.

El sodio es el elemento más abundante de los elementos alcalinos, hallándose sus compuestos extensamente distribuidos en la naturaleza. En la Figura 21 se observa que hay una mayor concentración de sodio en el punto 1 debido a la presencia de suelos salinos. El punto 2 es el que menos concentración de sodio posee produciendo dilución agua abajo.

El magnesio está presente en las aguas como ion  $Mg^{2+}$  y junto con el  $Ca^{2+}$ , provoca la dureza del agua. En la figura 22 se observa que el punto 1 posee mayor concentración de magnesio que el resto ya que el agua viene de estar en contacto con rocas carbonatadas, además de encontrarse en la clorofila de las plantas y en la materia orgánica.

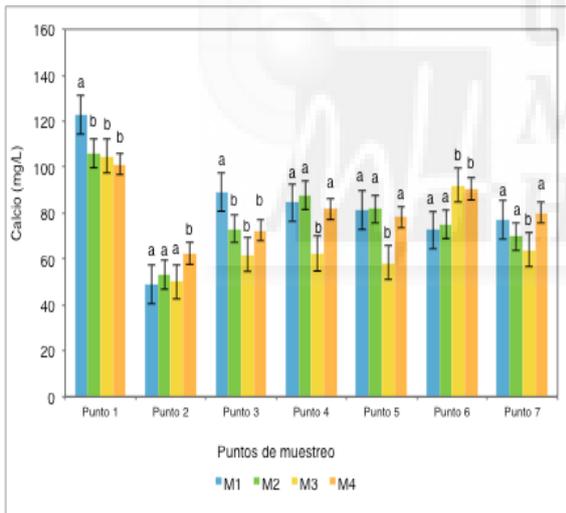


Figura 19. Evolución temporal del Calcio (mg/L) de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

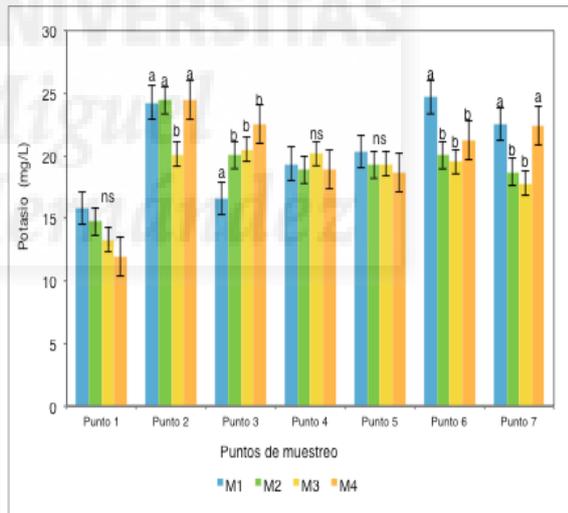


Figura 20. Evolución temporal del Potasio (mg/L) de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

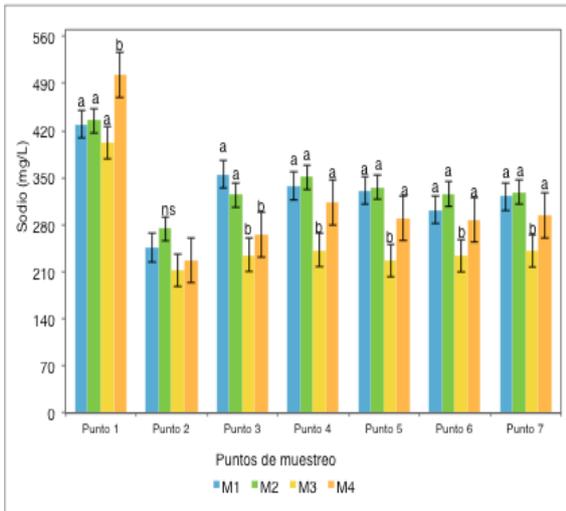


Figura 21. Evolución temporal del Sodio (mg/L) de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

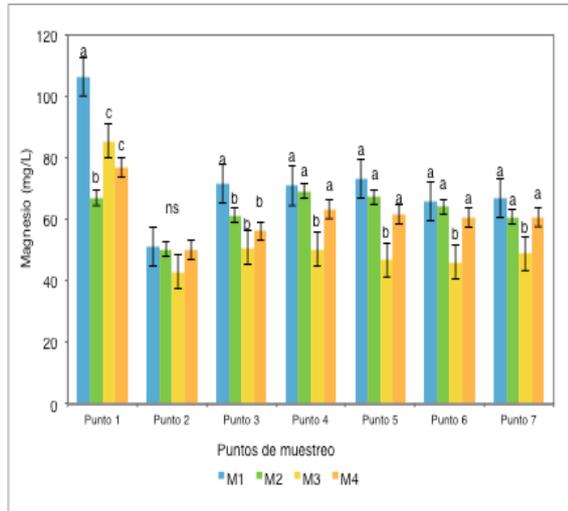


Figura 22. Evolución temporal del Magnesio (mg/L) de los diferentes puntos de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los muestreos ( $P < 0,005$ ).

#### 4.9 Relaciones iónicas.

- $CE/Cl^-$

El incremento de la salinidad esta fuertemente influenciado por la presencia de cloruros (Figura 23). El lavado de terrenos evaporíticos y los manantiales que vierten aguas de elevada salinidad al cauce justifican esta relación.

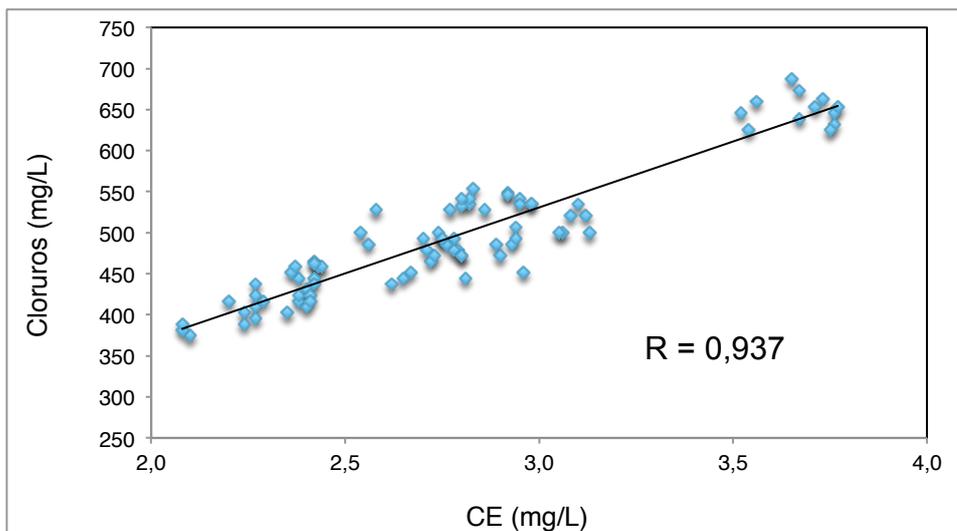


Figura 23. Correlación entre CE (mg/L) y Cloruros (mg/L).

- $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$

La relación entre estos iones (Figura 24) permite argumentar que su presencia este ligada al lavado de terrenos salinos o la incorporación de agua marina a través de las formaciones permeables.

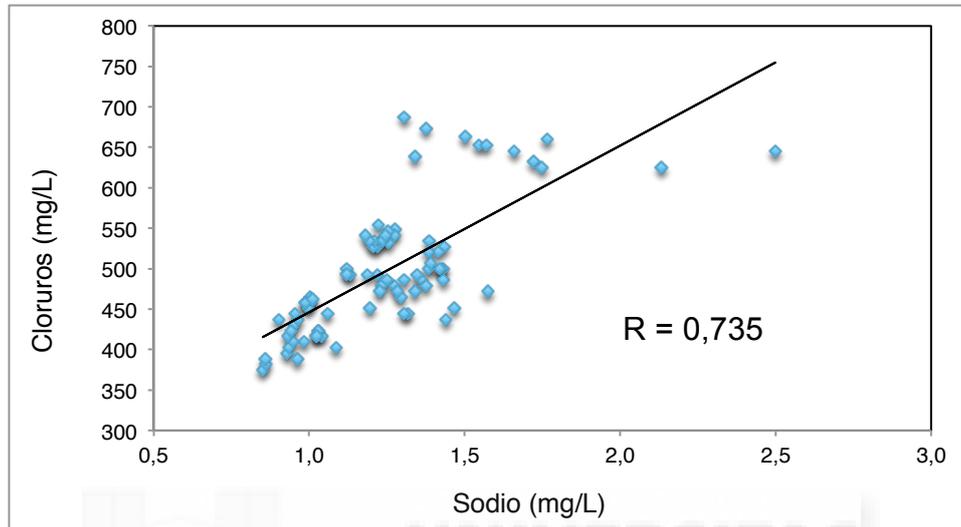


Figura 24. Correlación entre Sodio (mg/L) y Cloruros (mg/L).

- $\text{Na}^+/\text{K}^+$

En la Figura 25 observamos que la relación es buena y apunta a un origen común por lavado de terrenos salinos y/o mezcla con aguas marinas.

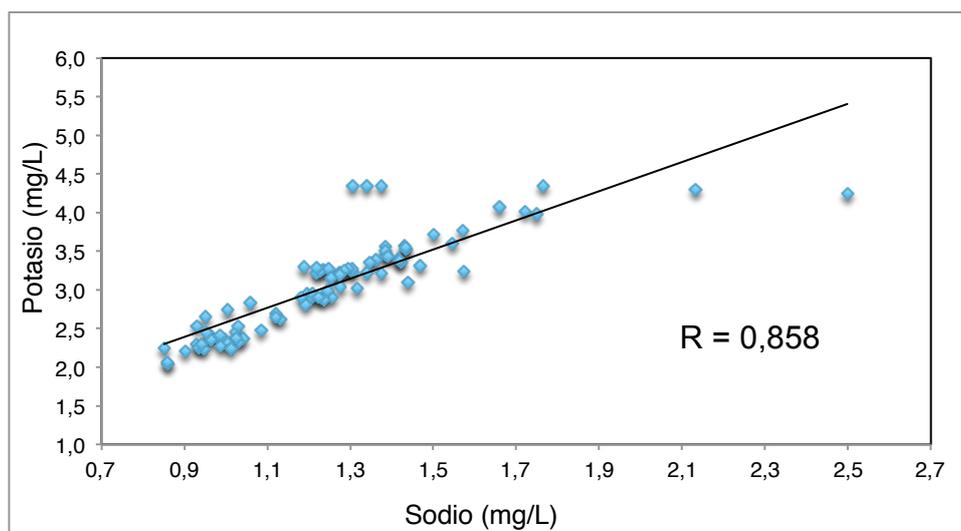


Figura 25. Correlación entre Sodio (mg/L) y Potasio (mg/L).

## 5. CONCLUSIONES

Se observa que el vertido de la EDAR influye de forma clara en el incremento de ciertos parámetros estudiados en los diferentes puntos del cauce del Río Seco, como son la temperatura, los nitratos, la DQO y el fósforo.

En otros parámetros, como la conductividad eléctrica y los cloruros, los cuales están claramente relacionados, se observa una disminución tras el vertido, produciendo una evolución temporal similar en los demás puntos al igual que ocurre con el pH y el resto de macronutrientes como calcio, magnesio y potasio.

Se concluye que se produce un incremento de aquellos parámetros (temperatura, nitratos, DQO y fósforo) que producen eutrofización de las aguas del río Seco en su tramo final.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

Agencia estatal de meteorología (2015). Resúmenes climáticos. España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Página 5.

Blancas Cabello, C. y Hervás Ramírez, M. E. (2001). Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud. Procesos de contaminación del agua. Consejería de Salud de Andalucía. Páginas 19-26.

Diputación de Alicante. (2010). Río Monnegre. Senderos. Área de Medio Ambiente.

Domingo López, J. (2011). El río Monnegre (Alicante). Un espacio singular. El Ecologista, nº68.

Entidad de Saneamiento de Aguas (EPSAR) (2014). Estaciones depuradoras de aguas residuales. EDAR Alacantí Norte. Generalitat Valenciana.

Generalitat Valenciana. Dirección General de Urbanismo y Ordenación Territorial (2000). El entorno metropolitano de Alacant-Eix: reconocimiento territorial (Valencia). Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte, Dirección General de Urbanismo. Páginas 35-37.

Hidritec (2014). Tratamiento de aguas residuales y disminución de DQO. Asturias.

Jodral, A. Navarro, M. López H, López MC (2007). Contenido de magnesio y calcio en aguas del área costera Mediterránea del sureste de España y su relación con la actividad industrial. Departamento de Nutrición y Bromatología, Facultad Farmacia, Universidad de Granada, España. Páginas 146-148.

Moreno Romero, F. (2010). Escritos Científicos. Determinación de cloruros en aguas. Página 4.

Norman, H. Nie, C. Hadlai, H. y Dale, H. Bent (1968). Statistical Program for the Social Sciences 18.0 (SPSS). Software estadístico

Osicka, R. M, Giménez, M. C. (2004). Determinación del contenido de Sodio y Potasio en aguas naturales subterráneas por fotometría de llama. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Páginas 1-2.

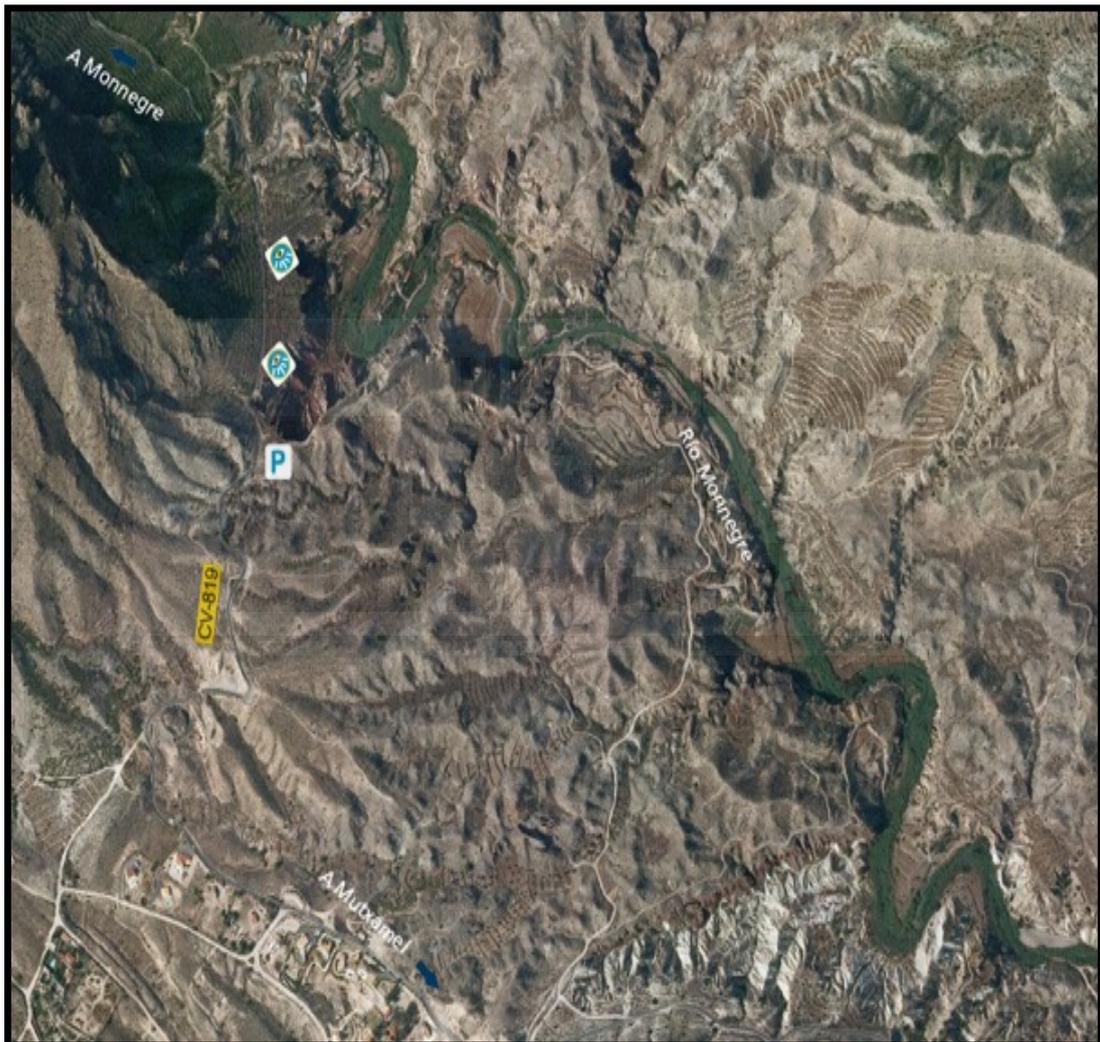
Requena-Galipienso, A. (2007). Estudio de Paisaje del Plan General de Ordenación urbana del Campello (Alicante). Empresa Cota Ambiental, S.L. Promotor Ayuntamiento del Campello. Páginas 24-32.

Ronzano, E. y Dapena, J.L. (2010). Eliminación del fósforo en las aguas residuales. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA). Universidad de Salamanca. Páginas 1-3.

Standard methods for the examination of water and waste water. Publicado por la APHA, 1995.

## ANEXOS

Anexo 1: Fotografía desde satélite del cauce del Río Monnegre (Fuente Google Earth).



Anexo 2: Imagen satélite creada a partir de puntos medidos con GPS GARMIN facilitado por la Universidad y posterior exportación de datos al programa GOOGLE EARTH.

