



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA.**

**ESTUDIO DE LA ELIMINACIÓN DE  
FÁRMACOS MEDIANTE LA COMBINACIÓN  
DE CARBÓN ACTIVO Y SBR.**

AUTOR: Andrés Díaz Viúdez.

TUTORA: María Isabel Iborra Clar.

COTUTOR: Andrea Vona.

**Curso académico: 2015-2016.**



## **RESUMEN.**

El objetivo general de este Trabajo Final de Grado es estudiar cómo reducir la concentración de fármacos en las aguas residuales que se vierten a espacios naturales. Para ello se estudia el porcentaje de eliminación que es posible conseguir en un Reactor Biológico Secuencial (SBR) a distintas concentraciones de fármacos del orden de ng/L por la acción de microorganismos que se encuentran en un fango biológico procedente de una Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) y por la acción de un sistema combinado en el que actúan los microorganismos y un tipo de carbón activo en polvo, que sea compatible con el fármaco.

El experimento se lleva a cabo en un sistema de dos reactores en paralelo. Como alimento se introducen compuestos farmacéuticos a estudiar (Eritromicina y Triclosan), para permitir el crecimiento de los microorganismos del sistema se alimenta un agua donde se incorpora Peptona, Extracto de carne y fosfato dipotásico.

Durante esta experiencia se extraen distintas muestras que se someten a controles de pH, turbidez, conductividad, DQO, contenido en Nitrógeno y contenido en Fósforo. Finalmente, mediante distintos procesos de extracción, se obtienen la concentración de los fármacos de las distintas muestras. Comparando estas muestras se puede ver el grado de eliminación que se ha conseguido.

Finalmente, para la Eritromicina se consigue un porcentaje de eliminación en torno al 34% solamente con los microorganismos y en torno a 40% trabajando con el sistema combinado. Para el Triclosan se consigue un porcentaje mucho más alto, en torno al 90%, debido a este porcentaje, con este fármaco, no se trabaja con el carbón activo.

**Palabras clave:** SBR, adsorción, compuestos farmacéuticos.

## **RESUM.**

L'objectiu general d'aquest Treball de Fi de Grau és estudiar com reduir la concentració de fàrmacs en les aigües residuals que s'aboquen a espais naturals. Per aquest motiu s'estudia el percentatge d'eliminació que és possible aconseguir en un Reactor Biològic Seqüencial (SBR) a distintes concentracions de fàrmacs de l'orde de ng/L per l'acció de microorganismes que es troben en un fang biològic procedent d'una Estació de Depuració d'Aigües Residuals (EDAR) i per l'acció d'un sistema combinat en el que actuen els microorganismes i un tipus de carbó actiu en pols, que siga compatible amb el fàrmac.

L'experiment es du a terme en un sistema de dos reactors en paral·lel. Com a aliment s'introdueixen compostos farmacèutics a estudiar (Eritromicina i Triclosan) , per a permetre el creixement dels microorganismes del sistema s'alimenta un aigua on s'incorpora Peptona, Extracte de carn i fosfat dipotàsic.

Durant aquesta experiència s'extrauen distintes mostres que es sotmeten a controls de pH, terbolesa, conductivitat, DQO, contingut en Nitrogen i contingut en Fòsfor. Finalment, per mitjà de distintos processos d'extracció, s'obtenen la concentració dels fàrmacs de les distintes mostres. Comparant aquestes mostres es pot veure el grau d'eliminació que s'ha aconseguit.

Finalment, per a l'Eritromicina s'aconsegueix un percentatge d'eliminació entorn del 34% només amb els microorganismes i entorn de 40% treballant amb el sistema combinat. Per al Triclosan s'aconsegueix un percentatge molt més alt, entorn del 90%, a causa d'aquest percentatge, amb aquest fàrmac, no es treballa amb el carbó actiu.

**Paraules clau:** SBR, absorció, compostos farmacèutics

## **ABSTRACT.**

The overall objective of this Final Project is to study how to reduce the concentration of drugs in wastewater discharged into natural areas. For this, the percentage removal than is possible in a sequential biological reactor (SBR) at different drug concentrations in the ng/L, by the action of microorganisms found in a biological sludge, from a station is studied of Wastewater Treatment Plant (WWTP), and by the action of a combined system in which microorganisms act and a type of powdered activated carbon, which is compatible with the drug.

The experiment is carried out in a system of two reactors in parallel. As food, pharmaceutical compounds to be studied (Erythromycin and Triclosan) are introduced, to allow growth of microorganisms from water where feed is incorporated peptone, meat extract and dipotassium phosphate.

During these experience different samples undergoing controls pH, turbidity, conductivity, COD, nitrogen content and phosphorus content are extracted. Finally, through different extraction processes, the drug concentration of the different samples is obtained. Comparing these samples you can see the degree of elimination has been achieved.

Finally, for a percentage Erythromycin removal is achieved around 34% only microorganisms, and around 40% of working with the combined system. Triclosan for a much higher percentage is achieved around 90%, due to this percentage; this drug is not working with the activated carbon.

**Keywords:** SBR, adsorption, pharmaceutical compounds.



# ÍNDICE.

## DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG.

- MEMORIA TÉCNICA.
- PRESUPUESTO.
- ANEXOS.

## ÍNDICE DE LA MEMORIA TÉCNICA.

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1. DEPURACIÓN DE AGUA .....                                       | 1         |
| 1.2. PARQUE NATURAL LA ALBUFERA DE VALENCIA.....                    | 3         |
| 1.3. FÁRMACOS. CARACTERÍSTICAS Y DAÑOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE..... | 4         |
| 1.4. SISTEMA COMBINADO SBR-CAP .....                                | 5         |
| 1.5. LEGISLACIÓN .....  | 7         |
| <b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....                                       | <b>9</b>  |
| 2.1. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA .....                                  | 9         |
| <b>3. OBJETIVOS</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>4. METODOLOGÍA</b> .....   | <b>13</b> |
| 4.1. MONTAJE DEL EQUIPO .....                                       | 13        |
| 4.2. CICLOS DE FUNCIONAMIENTO .....                                 | 14        |
| 4.3. PREPARACIÓN DE ALIMENTO .....                                  | 15        |
| 4.3.1. Preparación de la disolución de fármacos .....               | 16        |
| 4.3.2. Incorporación del carbón activo .....                        | 17        |
| 4.3.3. Determinación del carbón activo .....                        | 17        |
| 4.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....                                      | 18        |
| 4.5. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FÁRMACOS .....            | 22        |
| 4.6. GESTIÓN DE RESIDUOS .....                                      | 24        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5.RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>                          | <b>27</b> |
| 5.1. RESULTADOS SISTEMA SBR-CAP .....                                      | 27        |
| 5.2. CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVO E ISOTERMAS DE FREUNDLICH Y LANGMUIR | 37        |
| 5.3.RESULTADOS SISTEMA COMBINADO SBR-CAP .....                             | 42        |
| 5.4.DETERMINACIÓN DE LOS GRADOS DE ELIMINACIÓN DE FÁRMACOS .....           | 44        |
| <b>6. ESTUDIO ECONÓMICO DE LA PLANTA PILOTO .....</b>                      | <b>45</b> |
| 6.1. NECESIDAD DEL PRESUPUESTO .....                                       | 45        |
| 6.2.PRESUPUESTOS PARCIALES .....   | 45        |
| 6.2.1. Coste del material de laboratorio.....                              | 45        |
| 6.2.2.Coste de los equipos de laboratorio.....                             | 47        |
| 6.2.3. Coste de los reactivos empleados .....                              | 47        |
| 6.2.4. Coste de la mano de obra.....                                       | 48        |
| 6.3.COSTE DE EJECUCIÓN MATERIAL Y COSTE TOTAL.....                         | 49        |
| <b>7.BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>51</b> |

## **ÍNDICE DEL PRESUPUESTO.**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. DISEÑO DEL SISTEMA A ESCALA INDUSTRIAL.....</b> | <b>55</b> |
| <b>2. PRESUPUESTO DE LA PLANTA INDUSTRIAL .....</b>   | <b>59</b> |
| 2.1. PRESUPUESTOS PARCIALES .....                     | 59        |
| 2.1.1. Coste de los equipos de instalación.....       | 59        |
| 2.1.2. Coste del material de laboratorio.....         | 59        |
| 2.1.3. Coste de la mano de obra.....                  | 60        |
| 2.1.4. Listado de las unidades de obra .....          | 60        |
| 2.1.5. Cuadro de precios descompuestos.....           | 60        |
| 2.2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL .....          | 61        |
| 2.3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA .....      | 61        |
| 2.4. PRESUPUESTO EN BASE DE LICITACIÓN .....          | 62        |



**3. BIBLIOGRAFÍA.....63**

## **ÍNDICE DE LOS ANEXOS.**

**ANEXO I. PROTOCOLOS A SEGUIR PARA REALIZAR LOS ANÁLISIS DE DQO,  
CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO Y CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO.....67**

**ANEXO II. DATOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y SÓLIDOS VOLÁTILES .....69**

**ANEXO III. DATOS DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS.....73**

**ANEXO IV. DATOS DE LOS GRADOS DE ELIMINACIÓN .....75**



***MEMORIA***  
***TÉCNICA.***



# **1. INTRODUCCIÓN.**

## **1.1. DEPURACIÓN DE AGUA.**

Todas las formas de vida dependen del agua y es un elemento esencial para el desarrollo y proliferación de ésta. Por estos motivos y debido a la baja disponibilidad de agua que hay en el planeta destinada al consumo humano, aproximadamente un 0.3% del agua total, se ha convertido en un elemento muy preciado por nuestra sociedad. Además los diversos espacios acuáticos proporcionan a la sociedad actual numerosas aplicaciones y ventajas como alimentos, sumideros de residuos, medicinas y absorción de CO<sub>2</sub>. Sin embargo el continuo crecimiento de la población, de una manera cada vez más rápida, la industrialización y un aumento del nivel de vida ha provocado que se haya tenido que tomar conciencia sobre la gestión de los residuos generados, y específicamente de la calidad del vertido de las aguas cuando se devuelven a los espacios naturales, de una manera adecuada y que perjudique al medio ambiente lo menos posible.

Aunque el agua, debido a su ciclo hidrológico, es sometida a un proceso de depuración natural de diferentes formas, ya sea mediante la degradación de los compuestos orgánicos que contiene el agua (proceso llevado a cabo por los microorganismos), por el proceso de sedimentación realizada en los ríos o el proceso de evaporación natural en la que el agua pasa a estado gaseoso deshaciéndose de todas las impurezas que contenía en estado líquido.

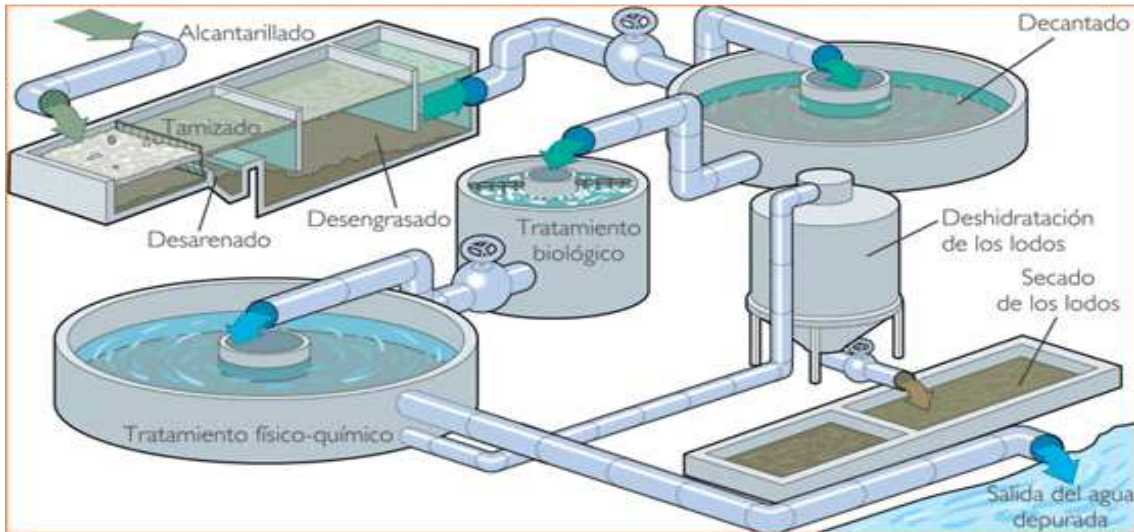
Estos procesos se pueden llevar a cabo cuando el agua tiene un grado de contaminación bajo y las sustancias que contiene tienen una velocidad de degradación rápida, pero el elevado nivel de contaminación generado por la actividad humana supera en un alto porcentaje la capacidad de autodepuración del agua, como consecuencia de esto se tendrán que emplear procesos de depuración más sofisticados y con un grado de eliminación de sustancias contaminantes muy alto para que el agua vertida a espacios naturales y que próximamente seguirá con el ciclo hidrológico, tenga una calidad aceptable y adecuada.

Los tratamientos convencionales empleados en la depuración de las aguas residuales pueden clasificarse según los siguientes criterios:

### **1) Según el medio de eliminación de los contaminantes:**

- **Procesos físicos:** Son los procesos donde se aplican fuerzas gravitatorias, fuerzas centrífugas y retenciones. En este grupo se incluyen tratamientos como, el desbaste de sólidos, desengrasado, sedimentación, evaporación, desarenado, flotación, absorción y desinfección.
- **Procesos químicos:** Se eliminan los contaminantes del agua, como consecuencia de la adición de productos químicos. Dentro de este tipo de procesos se pueden incluir los procesos de neutralización, floculación y coagulación, oxidación, reducción, intercambio iónico y desinfección, mediante ozono o cloro.

- **Procesos biológicos:** Son los métodos de tratamiento en los cuales los contaminantes se eliminan por una actividad biológica. En esta fase se eliminan sobre todo compuestos orgánicos. Y se pueden incluir los procesos de fangos activos, biodiscos, lagunaje, lechos bacterianos y lechos de turba. (Fuente: publicaciones Cajamar)



**Figura 1. Tratamiento de las aguas residuales según el medio de eliminación de los contaminantes.**

2) **Según la fase de depuración:** En este caso los procesos se clasifican en función de los rendimientos alcanzados en el proceso de depuración.

- **Pretratamiento y tratamiento primario:** Este tipo de tratamiento es común a todos los sistemas de depuración, solo variará en función del nivel de automatización que posea el sistema. Este tipo de proceso es de gran importancia, ya que los elementos que contienen las aguas podrían complicar y comprometer los procesos posteriores. Se incluyen los procesos de eliminación de sólidos, decantación primaria, desarenador, desengrasador y lagunaje anaerobio.
- **Tratamiento secundario:** Normalmente, en las plantas depuradoras, van a continuación de los tratamientos primarios y suelen ser de naturaleza biológica. En esta fase podemos encontrar procesos como los fangos activos, lagunas aireadas, lechos de turba y biodiscos.
- **Tratamiento terciario:** Se eliminan los contaminantes mediante procesos físico-químicos o procesos biológicos. Suelen situarse detrás del tratamiento secundario y se incluyen los procesos de nitrificación-desnitrificación, filtros verdes, ultrafiltración, radiación ultravioleta y ozonización. (Fuente: Publicaciones Cajamar)



Figura 2. Tratamientos de depuración según la fase de depuración.

## 1.2. PARQUE NATURAL LA ALBUFERA DE VALENCIA.

En este caso el asunto que nos ocupa es el vertido de las aguas al Parque natural de la Albufera de Valencia procedentes de la depuradora de Pinedo.

El parque natural de la Albufera de Valencia, con una extensión de 23.94 km<sup>2</sup> y con una cuenca hidrográfica de 917.1 km<sup>2</sup>, constituye uno de los espacios naturales más interesantes y representativos de la Comunidad Valenciana.



Figura 3. Evolución de la Albufera de Valencia.

Este paisaje natural se encuentra a unos 15 km aproximadamente de la ciudad de Valencia y es considerado el mayor lago de la Península Ibérica, con un valor ecológico muy alto ya que en esta zona se puede encontrar una gran variedad de especies vegetales y una gran cantidad de especies acuáticas, de las cuales, algunas se encuentran en peligro de extinción.

Además en esta zona se pueden observar áreas con una gran extensión reservadas para actividades agrícolas, como el cultivo de arrozales o el cultivo de huertos, que constituyen un área complementaria de alimentación durante el periodo invernal y los pasos migratorios.

Sin embargo, durante estas últimas décadas se ha convertido en una de las áreas más dinámicas de la Comunidad Valenciana debido a un fuerte y brusco desarrollo de las actividades agrícolas, del turismo e industrial, aumentando de esta manera la presión humana y la presión urbanística y ocasionando, como consecuencia de estos factores, un aumento de la contaminación sobre esta zona. Dando lugar a graves problemas ambientales y sobre todo a una contaminación del agua, provocado fundamentalmente por los vertidos de aguas a este espacio. (Fuente: publicaciones Parque Natural Albufera)

### **1.3. FÁRMACOS. CARACTERÍSTICAS Y DAÑOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.**

En la sociedad actual se han implantado nuevos hábitos de consumo que generan una serie de residuos y de microcontaminantes, con los cuales no se contaba en el pasado. Estas nuevas sustancias son las denominadas PPCPs (fármacos y productos de higiene personal) que son un grupo de una gran variedad de compuestos químicos utilizados en medicina veterinaria, salud humana, prácticas agrícolas y cosmetología.

Una vez que se han administrado estos compuestos, son absorbidos y metabolizados por el organismo, y finalmente excretados incorporándose a las aguas residuales. Algunas de estas sustancias, que han sido incorporadas a las aguas residuales no se degradan en los procesos de depuración, como consecuencia acaban siendo vertidos con los efluentes depurados.

Desde el punto de vista medioambiental, presentan una serie de características que los diferencia de los contaminantes convencionales:

- Los fármacos son sustancias activas que incluyen compuestos formados por moléculas grandes y químicamente complejas, pero con grandes diferencias en peso molecular, funcionalidad, estructura y forma.
- Son moléculas polares que tienen más de un grupo ionizable.
- La durabilidad sin degradarse en el medio ambiente puede ser desde un año hasta varios años, acumulándose y alcanzando niveles biológicamente activos.
- Pueden llegar al medio ambiente sin sufrir alteraciones o como derivados del producto original, después de ser metabolizado por el organismo, más polares y solubles en agua.

Por todo lo mencionado anteriormente, los efectos provocados, por estos compuestos, sobre el medio ambiente pueden ser muy perjudiciales. Su capacidad acumulativa puede provocar cambios en el medio ambiente o en el hombre, además esta acumulación puede dar lugar a una combinación



de metabolitos y compuestos biológicamente activos que forman una mezcla farmacológica, que podría llegar a potenciar los efectos negativos en el hombre y el medio ambiente. Además de todos estos efectos perjudiciales para los seres vivos y el entorno ambiente, se sumaría el desarrollo de microorganismos, cada vez más resistentes a los antibióticos.

Otro problema que presentan estos tipos de sustancias es que están diseñados para ser muy activos e interaccionar con receptores específicos en el hombre y animales, y que resulten, además, tóxicos para organismos infecciosos como bacterias, parásitos, hongos, etc.

Por lo que como conclusión podemos finalizar diciendo que quedan muchos puntos por concretar y por definir, ya que, actualmente todavía hay un desconocimiento sobre sus efectos, escasa reglamentación en cuanto a las concentraciones máximas admisibles en los cauces de vertido, además de que no se conoce un proceso completamente satisfactorio para la eliminación de estos tipos de compuestos orgánicos. (Fuente: publicaciones Blogs madri+d: Análisis de fármacos en aguas residuales y biblioteca digital citema).

#### **1.4. SISTEMA COMBINADO SBR-CAP.**

En este trabajo de fin de grado se estudiará el grado de eliminación de fármacos, empleando un reactor biológico secuencial (SBR) que son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un fango biológico en un medio que cuenta con sistemas de aireación. Con estos procesos se consigue la realización de procesos de oxidación química, que permiten la oxidación biológica de los compuestos orgánicos obteniendo dióxido de carbono y agua, y en otros casos se obtienen productos de menor toxicidad que son más fácil de degradar.

Los sistemas SBR se caracterizan por tener el siguiente ciclo de funcionamiento:

- **Reacción:** En esta etapa se introduce el agua residual después de que se haya realizado un Pretratamiento en el reactor, formándose el licor de fango. En esta fase se llevan a cabo periodos óxicos, es decir, se activa la aireación y anóxicos, que consiste en la activación de los agitadores para mantener el fango homogéneo y suspendido.
- **Sedimentación:** Cuando se llega a esta etapa se detiene la aireación, de esta manera se permite que los sólidos sedimenten en el fondo del reactor.
- **Vaciado:** El agua clarificada, obtenida en la fase anterior, es evacuada del reactor. Si es necesario también se retirarán los fangos en exceso. (Fuente: publicaciones Tecpa)

Con el empleo de esta técnica podemos conseguir determinadas ventajas como por ejemplo:

- Menor coste que los sistemas convencionales de tratamiento biológico, usando menos terrenos y con unos equipos más simples.

- Los sistemas SBR se pueden utilizar para realizar procesos de nitrificación-desnitrificación, además de la eliminación de fósforo. Estos dos parámetros son los más problemáticos cuando se trabaja con tecnologías convencionales.
- Menor tiempo de control requerido.
- Gran flexibilidad de funcionamiento en función de la duración de los ciclos.
- Fácil reconocimiento y corrección de los problemas de decantación.
- Gran capacidad de los microorganismos para la adaptación.

Como se puede comprobar este sistema tiene numerosas ventajas, pero también tiene desventajas que hay que tener en cuenta a la hora de poner este sistema en funcionamiento.

- Pueden existir desequilibrios de la carga hidráulica y la carga contaminante entre los distintos depósitos, ya que el tiempo de llenado de cada uno depende del caudal de entrada.
- La eliminación biológica de nutrientes requiere un aporte continuo de carga orgánica. (Fuente: Publicaciones: Blogs madri+d: Reactores biológicos secuenciales(SBR))

En la segunda parte del trabajo se empleará carbón activo, que es un material que puede aparecer en polvo (CAP) o en grano (GAP) y cuya característica principal es su capacidad de adsorción de átomos, moléculas e iones que se encuentran disueltos en el líquido que está en contacto con él.

El carbón activo es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito solo que el orden en la estructura del carbón activo es menos perfecta. Es un material extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 500 a 1500 metros cuadrados por gramos de carbón. Esta área variará dependiendo de la materia prima y del proceso de activación. Como consecuencia de esta área superficial tan grande, con el empleo de este material se pueden atrapar moléculas de compuestos que causan color, olor o sabores indeseables.

Existen dos tipos de fenómenos de adsorción: Fisisorción y Quimisorción.

- **Fisisorción:** Es el método de adsorción más común. En este tipo de adsorción no existe intercambio de electrones entre adsorbente y adsorbato, lo que permite que el proceso sea reversible.
- **Quimisorción:** Este tipo de adsorción es irreversible debido a que se producen modificaciones en las estructuras químicas del adsorbato y adsorbente.

Como se ha mencionado anteriormente podemos encontrar dos formas diferentes de carbón activo, carbón activo granular (CAG) y carbón activo en polvo (CAP).

El carbón en polvo es una opción de tratamiento económica, y sobre todo se usa para tratamientos a corto plazo. Es muy útil para tratamiento en los que se quieren eliminar sabores y olores.

Por otro lado el carbón granulado es un material cuyas partículas tienen un milímetro de diámetro aproximadamente, es decir, puede ser de diez a cien veces mayor que las partículas del carbón en polvo. Este tipo de carbón se distribuye en un lecho o columna a través de los cuales se hace pasar lentamente el agua, consiguiéndose la adsorción de las distintas moléculas. Este tipo de sistemas tienen un mayor coste económico pero son capaces de obtener un mayor grado de eliminación. Este sistema es adecuado si el proceso de eliminación se va a realizar de manera continua. (Fuente: Publicaciones: Tesis digital capítulo 1)

Una de forma de comprobar las distintas eficacias de los carbones activos durante los trabajos experimentales, es la construcción de las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir. Dependiendo de la afinidad química del carbón activo con el fármaco, del tamaño de poro del carbón y de la superficie de adsorción de éste, el proceso de adsorción se ajusta mejor a una u otra isoterma. Para comprobar a qué modelo se ajustan mejor se estudian los dos casos, descritos en el apartado 5.2

La isoterma de Freundlich se define mediante la siguiente fórmula:

$$q_e = C_e \cdot K_f^{1/n} \quad (1)$$

Donde:

**q<sub>e</sub>** es la cantidad de sustancia adsorbida por unidad de adsorbente.(mg/g)

**C<sub>e</sub>** es la diferencia de concentración de sustancia en la disolución. (mg/mL)

**K<sub>f</sub>** y **n** son constantes características del sistema.

La isoterma de Langmuir viene descrita por la siguiente expresión:

$$\Theta = \frac{\alpha \cdot P}{1 + \alpha \cdot P} \quad (2)$$

Donde:

**Θ** es la fracción de cobertura de la superficie.

**P** es la presión del gas o de la concentración

**α** es una constante, la constante de adsorción de Langmuir, que es mayor cuanto mayor sea la energía de ligadura de la adsorción y cuanto menor sea la temperatura.

La adsorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción son conocidas como fuerzas de Van Der Waals. Por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie, mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor adsorbente podrá ser. Esta curva relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto. Todo esto se realizará a una temperatura constante. (Fuente: Publicaciones La Guía)

## **1.5. LEGISLACIÓN.**

Los reglamentos sobre los vertidos de los efluentes salientes de la estación de depuración viene dada por la resolución del 10 de abril de 2013, de la dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el acuerdo del Consejo de Ministros de 5 de abril de 2013, por el que se aprueba la actualización del Plan nacional de aplicación del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes y del Reglamento (CE) n.º 850/2004 del Parlamento Europeo y

del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre contaminantes orgánicos persistentes y por el que se modifica la Directiva 79/117/CEE.

Con la elaboración de esta ley se establece la obligación de elaborar un Plan Nacional de Aplicación (PNA), en un plazo de dos años, revisarlo y actualizarlo periódicamente. Este PNA tendrá el objetivo de recopilar la información y elaborar un diagnóstico de la situación española respecto a los COP (contaminantes orgánicos persistentes), y en consecuencia, formular las medidas necesarias para ajustarse a las obligaciones que imponen tanto el convenio de Estocolmo como el Reglamento (CE) n.º 850/2004. (Fuente: Boletín Oficial del Estado)

## **2. JUSTIFICACIÓN.**

La realización de este trabajo se justifica por el problema planteado en el Parque Natural de la Albufera de Valencia la cual alberga una gran variedad de fauna y vegetación. Todo este ecosistema podría peligrar y comenzar un periodo de degradación debido a la creciente contaminación a la que es sometida esta zona.

Más concretamente se teme por las aguas vertidas por la depuradora de Pinedo y por la concentración de fármacos que pudieran contener estas aguas.

Cuando las aguas residuales entran a la estación de depuración, son sometidas a todos los procesos correspondientes para que una vez se hayan completado todos los procesos, el agua resultante tenga la calidad adecuada para verter a espacios naturales.

El problema de los procesos convencionales es que son incapaces de eliminar con alto grado de eficiencia ciertas sustancias contaminantes, como los fármacos, que son solubles en el agua y que ocasionan grandes daños a los hábitats y a todas las especies que interactúan con estos compuestos.

Para ello con el desarrollo de este trabajo se busca encontrar un sistema alternativo para que sea posible conseguir un mayor grado de eliminación de estas sustancias que no son posibles de eliminar con procesos convencionales, de esta manera el agua desechada tendrá un contenido de contaminantes menor, alterando en menos medida estos espacios.

### **2.1. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.**

La justificación académica más importante de este proyecto es alcanzar la titulación de Graduado en Ingeniería Química y también aplicar los conocimientos adquiridos durante mi formación académica en la depuración de aguas residuales mediante un sistema combinado de microorganismos y carbón activo. Con este Trabajo de Final de Grado (TFG) se demuestra que se han adquirido las competencias académicas propias de la titulación atribuible a un Graduado en Ingeniería Química, tales como conocimientos de Reactores, Tecnología del Medio Ambiente, Tecnología de Bioprocesos, Experimentación, etc. Tras la realización del trabajo experimental, necesario para la elaboración del proyecto, se han elaborado e interpretado los resultados y realizado el diseño de una instalación a escala industrial. Por lo tanto con este trabajo se consideran adquiridas las competencias propias de la titulación que son:

- Capacidad para el Diseño de instalaciones a partir de una experiencia de laboratorio.
- Capacidad para realizar un trabajo individual que deberá ser defendido ante un tribunal universitario, consistente en un proyecto en el ámbito de la tecnología específica de Química Industrial en el que se sinteticen e integren las competencias adquiridas en las enseñanzas.
- Conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones e informes.
- Gestionar la información procedente de diversas fuentes y, en su caso, las herramientas informáticas de búsqueda y clasificación de recursos bibliográficos.

Para la elaboración de este TFG, se han requerido de unas 300 horas de trabajo personal, investigación y redacción de los documentos presentados.



### **3. OBJETIVOS.**

Dentro de este trabajo final de grado (TFG) podemos encontrar diversos objetivos, unos generales y otros específicos:

- **Objetivos generales:**

- Determinar la viabilidad del sistema combinado, empleando el tratamiento biológico en un reactor secuencial biológico, en primer lugar, y posteriormente con la adsorción del carbón activo en polvo.
- Comprobar si este proceso de eliminación de fármacos es adecuado y se puede llegar a un grado de eliminación elevado de éstos, contenidos en aguas procedentes de los tratamientos de una estación depuradora de aguas residuales.

- **Objetivos específicos:**

- Establecer, mediante ensayos Jar-test, la cantidad de carbón activo en polvo, necesaria para obtener un grado de eliminación de fármacos adecuado y conseguir así, un agua con una calidad aceptable para verterla a los espacios naturales.
- Determinar cuánto tiempo tarda el carbón activo en saturarse, y así de esta manera saber cuándo hay que reemplazarlo para que la efectividad del proceso en el reactor biológico secuencial se mantenga, y establecer así un ciclo de funcionamiento.





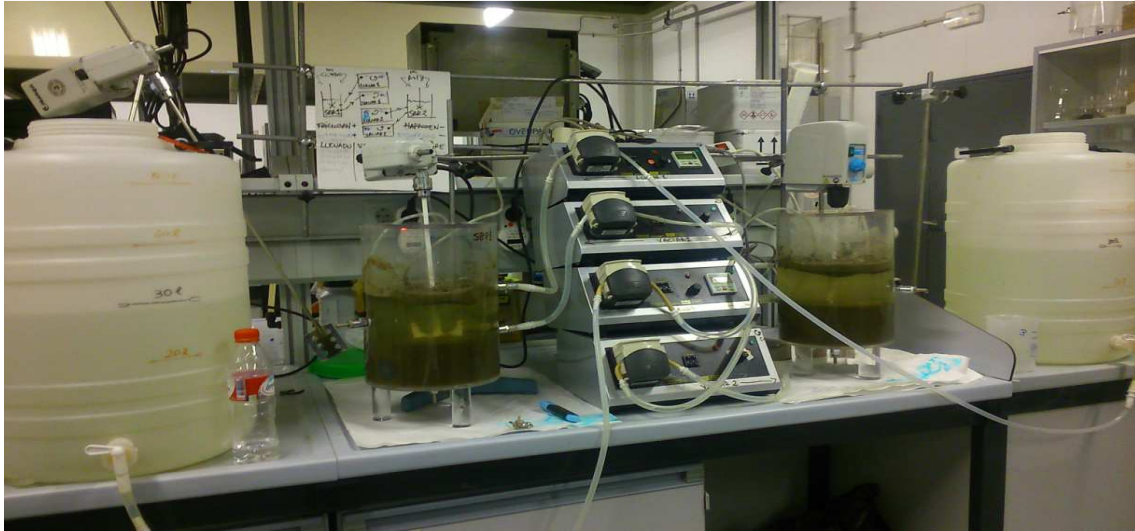
## **4. METODOLOGÍA.**

### **4.1. EQUIPO EXPERIMENTAL.**

En primer lugar se realiza el montaje de la planta piloto que está constituida por los siguientes componentes:

- Un reactor biológico secuencial (SBR). En este reactor se introduce el lodo biológico, un volumen aproximado de 2 litros, procedente de una estación de depuración de aguas residuales (EDAR). Posteriormente el reactor se completa con agua de red hasta tener un volumen total de 6 litros.
- El reactor biológico cuenta con un sistema de agitación para conseguir que el licor de fango este perfectamente homogeneizado. La agitación se realiza con agitadores VELP SCIENTIFICA.
- En el interior del reactor se colocan dos sistemas de aireación para permitir la supervivencia a los microorganismos y que puedan llevar a cabo la respiración aeróbica, obteniendo como consecuencia la degradación de los componentes orgánicos.
- Un tanque de alimentación que está conectado al reactor. En este tanque se introduce el alimento correspondiente, para proporcionar los nutrientes necesarios a los microorganismos en el lodo biológico. En estos tanques también se introducen agitadores para homogeneizar completamente la mezcla realizada y que toda la materia orgánica quede completamente disuelta.
- Un sistema de 2 bombas, de las cuales una se encarga de vaciar 2 litros de cada reactor, con un caudal de 0,2 L/min y la otra que se encarga de llenar 2 litros una vez que se han extraído del reactor los 2 litros mencionados anteriormente, con un caudal aproximado de 0,143 L/min. Se emplean bombas DINKO D-25V
- 4 timers que controlan los distintos ciclos de funcionamiento del sistema. Con estos timers se controlan los ciclos de agitación, de aireación, de llenado y de vaciado de los reactores.

Este montaje se realiza por duplicado, es decir se cuenta con un sistema de dos reactores que trabajan simultáneamente, con ciclos de trabajo y operaciones idénticas, como se muestra en la Figura 4.



*Figura 4. Montaje de la planta piloto.*

## **4.2. CICLOS DE FUNCIONAMIENTO.**

La planta piloto emplea cuatro ciclos de funcionamiento diferentes, la agitación, la aireación, el llenado y el vaciado de los reactores biológicos. Durante el día se llevan a cabo 3 ciclos distintos, con una diferencia temporal de 8 horas entre ciclo y ciclo.

- **Aireación:** Los aireadores son los primeros dispositivos que se desconectan, se mantienen conectados durante 6 horas y 15 minutos, antes de que se lleve a cabo el vaciado del reactor. Los tres ciclos comienzan a las 12:15, 20:15 y 4:15 y acaban a las 18:30, 2:30 y 10:30, respectivamente.
- **Agitación:** A continuación de los aireadores se para el sistema de agitación, proceso que tiene una duración de 6 horas y 50 minutos, para permitir que los sólidos contenidos en el interior del reactor sedimenten y no se pierda biomasa en la evacuación. Los tres ciclos de agitación se describen a continuación, las tres horas de inicio son 11:45, 19:45 y 3:45 y las tres horas de finalización del ciclo son 18:35, 2:35 y 10:35.
- **Vaciado:** Una vez se hayan desconectado los sistemas de aireación y de agitación, para permitir la sedimentación de los sólidos, comienza la fase de vaciado, en la que aproximadamente se extraen dos litros de agua en un tiempo de 10 minutos. Los ciclos de vaciado se llevan a cabo a las siguientes horas: de 11:20 a 11:30, de 19:20 a 19:30 y de 3:20 a 3:30. Durante esta etapa se recogen las muestras de agua, que posteriormente se analizan y que sirven para determinar la concentración de fármaco en cada muestra.

- **Llenado:** Después de la evacuación de los dos litros de agua, comienza la fase de llenado que repone el volumen extraído en un tiempo de 14 minutos. Los ciclos de llenado se muestran a continuación, horas de inicio: 11:35, 19:35 y 3:35. Horas de finalización: 11:49, 19:49 y 3:49, respectivamente.

Después de la fase de llenado se activan de nuevo los ciclos de agitación y de aireación del sistema, hasta completar las 8 horas de ciclo.

### 4.3. PREPARACIÓN DEL ALIMENTO.

La preparación del alimento está dividida en dos fases: La primera, que tiene una duración de 1 semana, tiene como objetivo la aclimatación y el crecimiento de los microorganismos. A continuación se inicia la segunda fase en la que se incorporan los fármacos, Triclosan y Eritromicina, al alimento.

**Tabla 1. Datos de los fármacos empleados.**

| Analitos               | Eritromicina      | Triclosan                      |
|------------------------|-------------------|--------------------------------|
| N° CAS                 | 114-07-8 (EUR ph) | 3380-34-5 (secondary standard) |
| Productor              | Acros             | Fluka (USP)                    |
| Cantidad               | 5 g               | 1 g                            |
| Carga con pH 7         | -1                | 0                              |
| Use                    | Antibiótico       | Antibiótico                    |
| Peso molecular (g/mol) | 733,9             | 289,54                         |
| PKa                    | 8,8               | 8 (7,9) / 7,8                  |
| Log Kow                | 3,06              | 4,76 / 5,34                    |

Para proporcionar alimento a los microorganismos contenidos en el lodo biológico se prepara un agua sintética con tres compuestos, peptona (225 mg/L), extracto de carne (225 mg/L) y fosfato dipotásico ( $K_2HPO_4$ ) (28 mg/L) de la casa comercial Panreac, que confieren la materia orgánica, el nitrógeno y el fósforo necesarios.

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de microorganismos y plantas. Una limitación de nitrógeno puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos, y reducir sus tasas de crecimiento. Pero también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas, cuando se encuentra a altas concentraciones.

El fósforo satisface los requerimientos de los organismos y se necesita en niveles más bajos que el nitrógeno. También puede provocar la eutrofización. Por estas consecuencias, durante el trabajo se irá controlando la concentración de estos elementos para mantenerlos en los niveles adecuados. (Fuente: Publicaciones cidta: Aguas Residuales. Composición)

La materia orgánica sirve de fuente de energía a los microorganismos, y gracias a ésta los microorganismos son capaces de desarrollar las funciones vitales durante el desarrollo del trabajo. Esta materia orgánica es aportada por la peptona y el extracto de carne.

El agua que se quiere preparar debe tener unas proporciones de materia orgánica, contenido en nitrógeno y contenido en fósforo de 100:5:1, respectivamente. Habitualmente la carga residual urbana cuando el agua sale de la estación de depuración es de 500 mg/L de materia orgánica, por lo que la relación deseada en el interior del reactor biológico secuencial entre materia orgánica, contenido en nitrógeno y contenido en fósforo será de 500:25:5, respectivamente.

Durante toda la experiencia se prepara el mismo tipo de alimento, es decir, se emplea siempre un volumen de 30 litros y las proporciones de los compuestos serán las mencionadas anteriormente. Para las distintas concentraciones de fármacos (1.000, 10.000 y 20.000 ng/L).

Una vez ha pasado la semana de aclimatación, se añade un fármaco distinto, Triclosan y Eritromicina, a cada depósito de alimentación. En cada depósito se va analizando la actividad de los microorganismos, que están sometidos a 3 concentraciones distintas de fármaco. En primer lugar se prepara un depósito de alimento de 30 litros, con las mismas cantidades de compuestos descritas en el apartado anterior y en un reactor se incorpora Triclosan y en el otro Eritromicina. En el depósito se cuenta con una concentración de fármaco de 1.000 ng/L o 1 ppb. Durante una semana se está trabajando con esta concentración. La semana siguiente se aumenta la concentración a 10.000 ng/L (10 ppb) y finalmente durante la última semana se trabaja con una concentración, en ambos depósitos, de 20.000 ng/L (20 ppb).

Este aumento de concentraciones nos permite comprobar cómo responden los microorganismos, y qué cantidad de fármaco son capaces de asimilar antes de que empiece a perjudicarles y comiencen a disminuir su rendimiento de eliminación de fármacos.

#### ***4.3.1. Preparación de la disolución de fármacos.***

Debido a la dificultad de pesar los fármacos, ya que la masa que se necesita es muy pequeña, para ello se prepara una disolución en la que se introducen 0,003 gramos de cada fármaco en 60 ml de agua, por lo tanto la concentración de fármaco obtenida es de 0,05 g/L.

Dependiendo de las concentraciones en el interior del depósito de alimento se tomarán los siguientes volúmenes de la disolución:

Concentración de 1.000 ng/L: Se toman 0,6 mL de la disolución, ya que,  $0,0006 \text{ mL} \cdot 0,05 \text{ g/L}$  es igual a una masa de 0,00003 gramos. Esta masa entre los 30 litros de volumen, hace que tengamos la concentración deseada de 1.000 ng/L.

Para las otras dos concentraciones, 10.000 y 20.000 ng/L, se usa el mismo método y se utiliza un volumen de 6 mL y 12 mL respectivamente.

### **4.3.2. Incorporación del carbón activo.**

Una vez se ha concluido con las distintas concentraciones de fármaco, experiencia donde se ha estudiado el porcentaje de eliminación de fármaco conseguido únicamente por la acción de los microorganismos, se procede a la incorporación de carbón activo.

Para tener un proceso lo más eficiente posible, se elige entre dos tipos diferentes de carbón activo, BM 8 o CCP 80 de la casa comercial ChiemiVall ya que, debido a la naturaleza del fármaco un tipo de carbón es más compatible con éste, que el otro (Ver características de fármacos en Tabla 1).

De esta manera se estudia el rendimiento de eliminación con el sistema combinado de SBR + carbón activo. La prueba se lleva a cabo con una concentración de carbón activo de 300 mg/L y con una concentración de fármaco de 1.000 ng/L. De esta manera se comprueba de una manera notoria la acción del carbón activo, porque si se utilizan las otras concentraciones (10.000 y 20.000 ng/L), el carbón saturaría ya que son concentraciones muy elevadas. Por eso con la concentración de 1.000 ng/L se puede comprobar cuanta cantidad de fármaco es capaz de adsorber el carbón sin llegar a saturar.

En este caso, la eficacia del sistema combinado se comprueba cuando se tiene una concentración en el depósito de 1.000 ng/L. De esta manera, comparando los porcentajes de eliminación de cada sistema (sistema SBR o sistema SBR-CAP) se puede determinar cuál es más eficaz.

### **4.3.3. Caracterización del carbón activo.**

Como se ha comentado anteriormente, en cada depósito de alimento se estudia un fármaco distinto, por lo que hay que comprobar que carbón activo, CCP 80 o BM8, tiene más eficacia para cada fármaco y qué cantidad de éste es la más óptima.

Para la elección de éste se lleva a cabo la prueba Jar-test. En cada prueba se preparan 4 disoluciones distintas, en las que se utiliza un volumen de 250 mL y una cantidad de fármaco de 125 mg.

Se irán variando las cantidades de carbón activo, que son las siguientes: 50, 125, 250 y 625 mg/L, esta prueba se llevará a cabo durante 3 horas, con una agitación constante durante ese tiempo.

El tiempo de permanencia se decide que sean 3 horas, ya que con anterioridad estos carbones se han utilizado para la eliminación de otros compuestos y siempre se determinaron tiempos de equilibrio comprendidos entre 30 y 45 minutos. De esta manera se supone sobrepasado dicho tiempo de equilibrio.



**Figura 5. Proceso Jar-test.**

Este tipo de prueba se realiza, para cada fármaco (Triclosan y Eritromicina), con los dos tipos de carbón activo, CCP 80 y BM8.

Cuando se han completado las 3 horas, se toma una muestra de cada disolución y se colocan en la centrifuga, posteriormente se filtra para eliminar cualquier partícula de carbón activo, y para finalizar, se determina la concentración de materia orgánica, mediante la prueba de DQO.

Con los datos obtenidos se construye la isoterma de Langmuir y de Freundlich para, como se ha mencionado anteriormente, ver a que isoterma se ajusta mejor el proceso de adsorción. De esta manera se muestra cual es el carbón activo más eficaz para cada fármaco.

Como muestran las Gráficas 21, 22, 23, 24 las isotermas que mejor describen el proceso de adsorción, son las isotermas de Langmuir, y de estas gráficas se puede concluir que el carbón más compatible con la Eritromicina y el Triclosan es el CCP-80.

#### **4.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS.**

De todas las muestras extraídas, tanto del reactor biológico, como del depósito que contiene el alimento, se analizan los valores de pH, conductividad y turbidez así como a controles de DQO, contenido en nitrógeno y en fósforo. Las muestras del depósito de alimento se analizan completamente una vez a la semana, es decir una vez a la semana se determina el valor de los 6 parámetros, y se someten a controles de pH, conductividad y turbidez cada 3 días. Con las muestras de los reactores se sigue el mismo mecanismo descrito anteriormente. De igual manera se toma una muestra de 500 mL tanto del sobrenadante como del alimento, y se mantiene en nevera a 4°C hasta la determinación posterior de la concentración de los compuestos farmacéuticos.

Toda esta variedad de análisis se emplean para tener un control frecuente del agua de la planta piloto y verificar que no haya modificaciones bruscas en los niveles de los parámetros mencionados anteriormente.

- **Determinación del pH y de la conductividad:** Se toma un volumen pequeño de la muestra extraída y se mide el pH y la conductividad, para ello se emplea un pH metro crison GLP 21 y un conductímetro crison GLP 31.
- **Determinación de la turbidez:** La muestra de agua empleada en los análisis anteriores se introduce en el tubo característico del turbidímetro y se obtiene el valor de turbidez de la muestra. Para este análisis se empleará el turbidímetro Dinko D-112.

Para la determinación de la materia orgánica, contenido en nitrógeno y fósforo se emplea un espectrofotómetro Spectroquant NOVA 30 de MERCK. En este equipo se mide la luz que pasa a través de la muestra y dependiendo del valor de esta medida el espectrofotómetro asigna el valor correspondiente.

Para diferenciar qué valor tiene que mostrar los kits empleados, también Spectroquant, llevan un código característico de cada parámetro. A continuación se especifican los parámetros determinados mediante kits específicos, y en el anexo I se muestran los protocolos a seguir para dichos análisis.



**Figura 6. Espectrofotómetro Spectroquant y kits empleados.**

- **Determinación de la materia orgánica:** Para la determinación de la materia orgánica se realiza la prueba fotométrica de DQO. Dependiendo del rango en el que se encuentre la DQO de la muestra a analizar se utiliza un kit para rangos entre 4-40 mg/L y otro para rango entre 25-1500 mg/L.
- **Determinación del contenido en nitrógeno:** Para la determinación del contenido en nitrógeno se emplean kits Spectroquant de nitrógeno total de rango 10-150 mg/L y los sustancias N-1K, N-2K y N-3K constituidos por los siguientes compuestos.
  - **N-1K:** Este compuesto, en forma granular, está formado por una mezcla de peroxodisulfato de dipotasio, potasio carbonato.

- **N-2K:** Se presenta en forma líquida, y está formada por una disolución sodio hidróxido.
  - **N-3K:** Es una mezcla de 2-propanol y xilenol y se presenta en estado líquido.
- **Determinación del contenido en fósforo:** Para determinar el contenido en fósforo se emplean kits Spectroquant de fosfato total con los siguientes rangos, 0,5-25 mg/L PO<sub>4</sub>-P, 1,5-76,7 mg/L PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, 1,1-57,3 mg/L P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y compuestos P-1K, P-2K y P-3K.

Por otro lado para controlar que la concentración de los sólidos en el reactor se encuentra aproximadamente sobre los 3 g/L, se realiza, cada dos días aproximadamente, la medición de los sólidos en suspensión.

- **Determinación de los sólidos en suspensión:** Se determina en el licor de mezcla y se sigue la Norma UNE-EN 872:1996. Se toma un volumen determinado de muestra, que en este trabajo será siempre de 50 mL, y se filtra con filtros de fibra de vidrio de borosilicato sin aglomerante con un diámetro de poro de 45 µm. Después de la filtración se seca la muestra en la estufa a 100°C durante 1 hora y se deja enfriar en el desecador durante media hora. Los sólidos en suspensión se determinan de la siguiente manera:

$$\text{Sólidos en suspensión} = \frac{m1 - m2}{V} \left( \frac{\text{gSS}}{\text{L}} \right) \quad (3)$$

m1 = masa del filtro + masa muestra seca a 100°C (g).

m2 = masa del filtro (g).

V = volumen de la muestra (L).

Si una vez que hemos obtenido esa concentración, supera los 3 g/L se tiene que realizar una purga, extrayendo el volumen equivalente que hace que la concentración final sea de 3 g/L. Posteriormente se incorpora el mismo volumen de agua de red que el que se ha extraído anteriormente.



**Figura 7. Sistema para determinar los sólidos en suspensión.**



Una vez se haya llevado a cabo la determinación de los sólidos en suspensión se realiza la prueba de sólidos volátiles.

- **Determinación de los sólidos volátiles:** Como en el caso anterior se determina para el licor de fango y se sigue la norma UNE 77034:2002. La muestra seca que se obtiene de la prueba descrita anteriormente se deposita con el filtro en un crisol y se calcina a 550°C durante 1 hora, y finalmente se deja enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador. La manera con la que se calculan los sólidos volátiles es la siguiente:

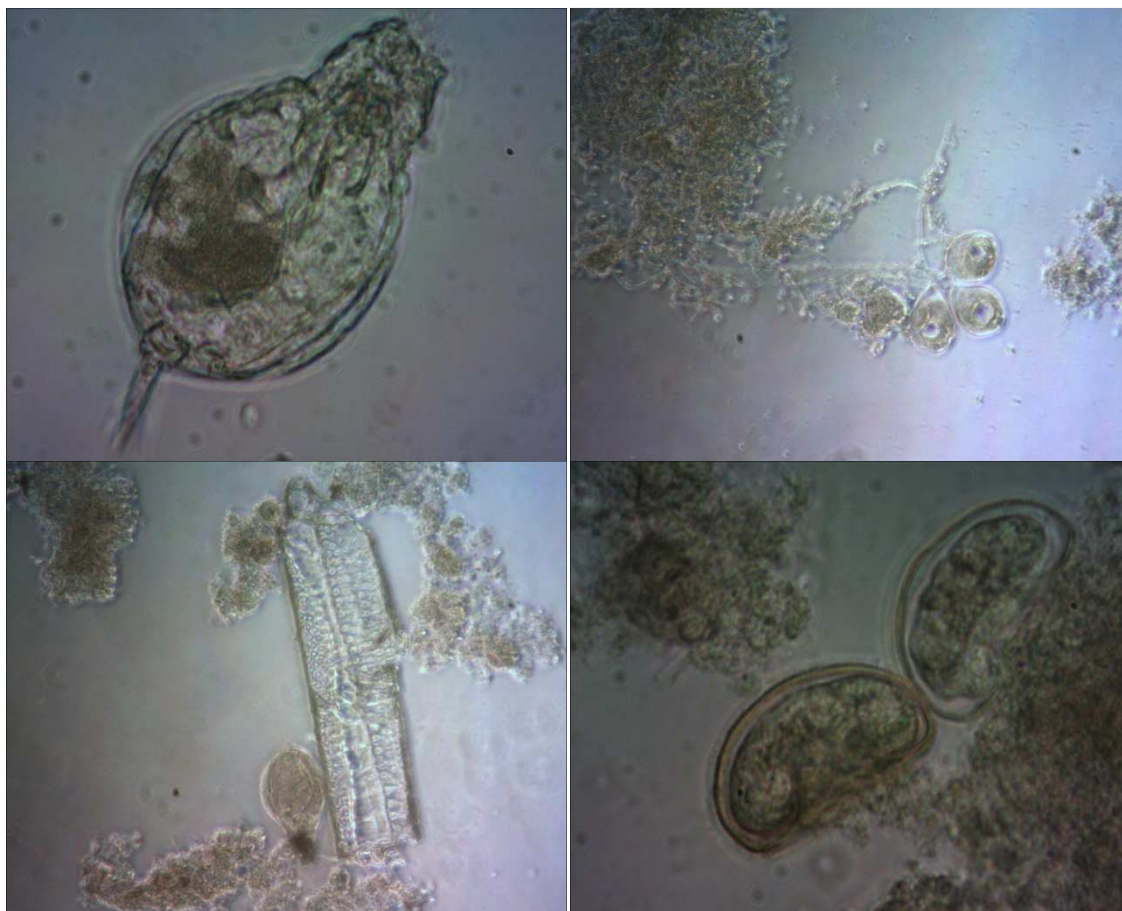
$$\text{Sólidos volátiles} = \frac{m_3 - m_4}{V} \left( \frac{\text{gSV}}{\text{L}} \right) \quad (4)$$

$m_3$  = crisol + masa filtro + masa muestra seca a 100°C (g).

$m_4$  = crisol + masa filtro + masa muestra calcinada a 550°C (g).

$V$  = volumen (L).

- **Observación mediante microscopio óptico:** En este caso no se realizan medidas cuantitativas sino cualitativas. Se llevan a cabo observaciones de la evolución de los microorganismos ante las distintas condiciones en las que se encuentran, es decir, se valora como se desarrollan y cuanta concentración de microorganismos tenemos en los cuatro casos: SBR sin la presencia de compuestos farmacéuticos, SBR con una concentración de fármaco de 1.000 ng/L, SBR con una concentración de fármaco de 10.000 ng/L, SBR con una concentración de fármaco de 20.000 ng/L. La observación se realiza con un microscopio VWR. A continuación se pueden ver varias imágenes obtenidas en esta observación.



**Figura 8. Microorganismos observados con el microscopio.**

#### **4.5. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FÁRMACOS.**

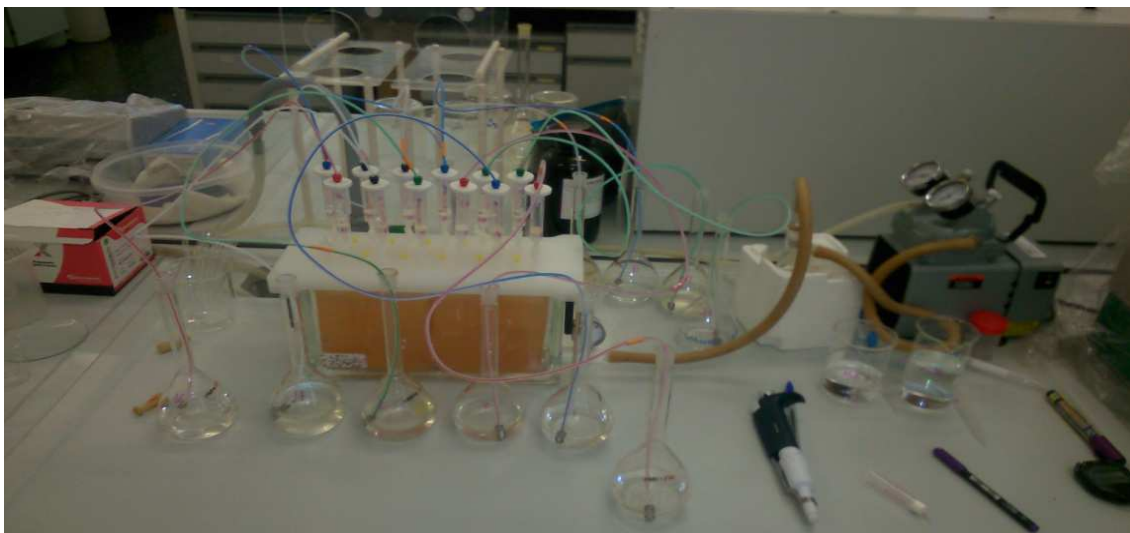
En el laboratorio del Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, se han realizado la extracción y preparación de las muestras para, finalmente, llevarlas a La Facultat de Farmàcia de la Universitat de València. Se llevan a esta facultad porque además de tener un equipo con mayor precisión para obtener los datos, como se tiene una concentración muy baja que es la de 1.000 ng/L el equipo disponible en el laboratorio de este departamento no tiene la precisión necesaria para captar estas moléculas, a concentraciones tan bajas. Por el contrario en la Universitat de València se cuenta con el equipo HPLC-MS/MS, que es capaz de detectar moléculas de cualquier compuesto farmacéutico independientemente de la concentración de la muestra.

Dicha preparación conlleva, una vez obtenidas y caracterizadas las distintas muestras de sobrenadante a lo largo de toda la experiencia, se procede a la obtención de la concentración de fármaco de éstas. Para ello, se sacan de nevera y se dejan que alcancen temperatura ambiente. A continuación se lleva a cabo el siguiente proceso:

1. Se toma un volumen de 250 ml de la muestra escogida. Este volumen de agua se pasa, haciendo el vacío, mediante un cartucho SPE Strata-X donde quedan retenidos los distintos fármacos. Se emplean estos cartuchos porque están compuestos por un material polimérico

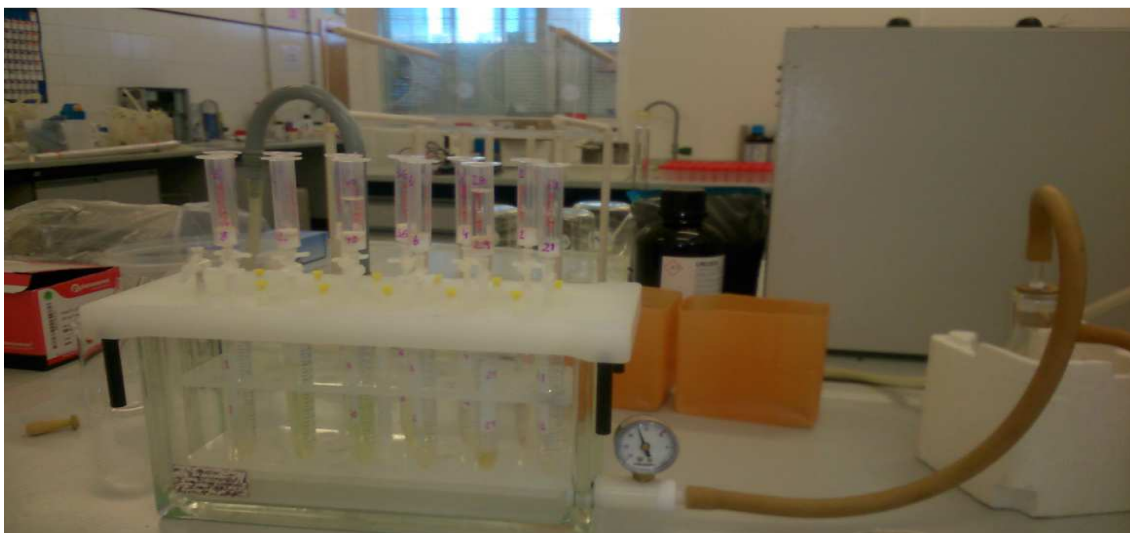
capaz de retener las moléculas de los determinados fármacos, moléculas que en este caso son de un tamaño muy pequeño.

Para el empleo de los filtros es necesaria una activación previa. Para la activación se hace pasar por cada filtro 6 mL de metanol y otros 6 mL de agua.



**Figura 9. Proceso de extracción de fármacos.**

2. Cuando todo el volumen ha pasado por el filtro, se espera un tiempo de 15 minutos para garantizar que no queda agua en éste.
3. Una vez que tenemos los fármacos de la muestra retenidos en el cartucho, éstos se recuperan haciendo pasar por el filtro 6 mL de metanol a un tubo que recoge la muestra.



**Figura 10. Recuperación de fármacos.**

4. Estas muestras se someten a un proceso de evaporación forzada del metanol. Se elimina todo el metanol y queda el fármaco, solamente, en estado sólido.



**Figura 11. Proceso de evaporación del metanol.**

5. Posteriormente a este producto se añade 1 mL una disolución de agua destilada con metanol en una proporción 70:30 respectivamente.
6. Esta mezcla se agita mediante ultrasonidos durante un tiempo aproximado de 8 minutos, para volver a disolver el fármaco, que ha quedado tras la evaporación, en la disolución descrita en el punto anterior.

Una vez preparada la muestra, se procede a la determinación de la concentración de los compuestos farmacéuticos mediante HPLC-MS/MS. Para la determinación de la eficacia del proceso se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Grado de eliminación (\%)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} * 100 \quad (5)$$

Donde:

C<sub>0</sub> = Concentración de alimento a principio de ciclo.

C<sub>1</sub> = Concentración de efluente cuando finaliza el ciclo.

#### **4.6. GESTIÓN DE RESIDUOS.**

Durante el desarrollo de este trabajo se generan residuos de diferente naturaleza que tienen distintos tratamientos para que la contaminación y el impacto medioambiental sea el menor posible:

- **Restos de la prueba de sólidos en suspensión:** Una vez se ha realizado la prueba de sólidos en suspensión y de los sólidos volátiles, a los restos que quedaban no se le hacen ningún tratamiento en particular, se tiran a la papelera, ya que las muestras están calcinadas y no tienen ningún peligro para el medio.

- **Restos de fango después de la purga:** Cuando se necesita hacer una purga para eliminar sólidos en suspensión se extrae fango, que contiene microorganismos. Para que estos microorganismos no causen daños y tengan la posibilidad de reproducirse sin control, al recipiente que se va a eliminar por la pila se neutraliza mediante la adición de Cloro.
- **Tubos de los distintos análisis mediante kits:** Los tubos empleados en las tres pruebas, DQO, concentración de nitrógeno y concentración de fósforo se devuelven a la caja correspondiente, y cuando se han usado todos los tubos, las cajas se entregan a la oficina verde de la UPV, la cual se encarga de la gestión de estos residuos.
- **Metanol empleado para determinar la concentración de fármacos:** El metanol que se emplea para llevar a cabo el proceso descrito en el apartado anterior se introduce en recipientes específicos para ese tipo de residuo, después estos recipientes se entregan a la oficina verde de la UPV, que se encarga de la gestión posterior.
- **Carbón activo procedente del proceso Jar-test:** El carbón desactivado procedente de este proceso, se filtra y se seca para su posterior recuperación y activación.



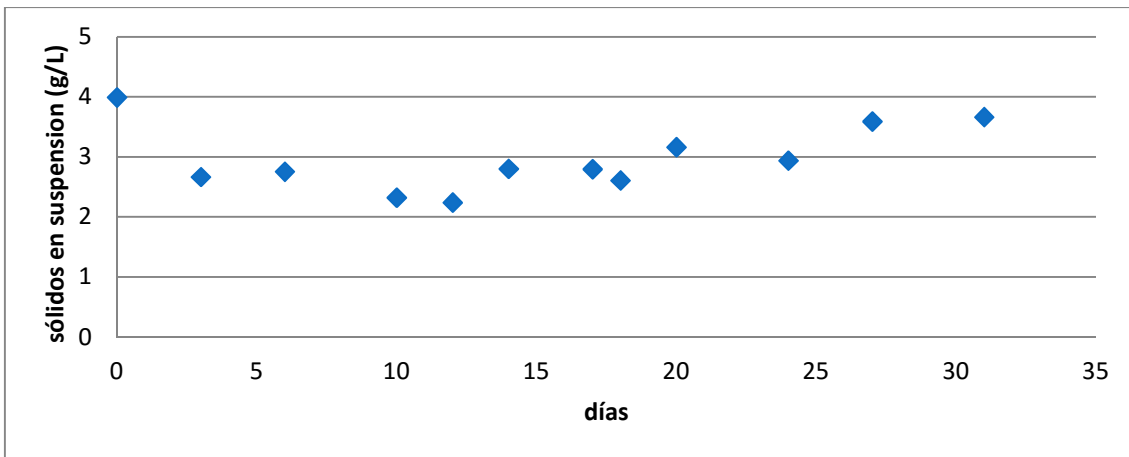
## **5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Como se ha mencionado anteriormente durante el desarrollo del trabajo se realizan diversos análisis para tener un seguimiento del agua y comprobar que todos los parámetros tienen, aproximadamente, los valores deseados.

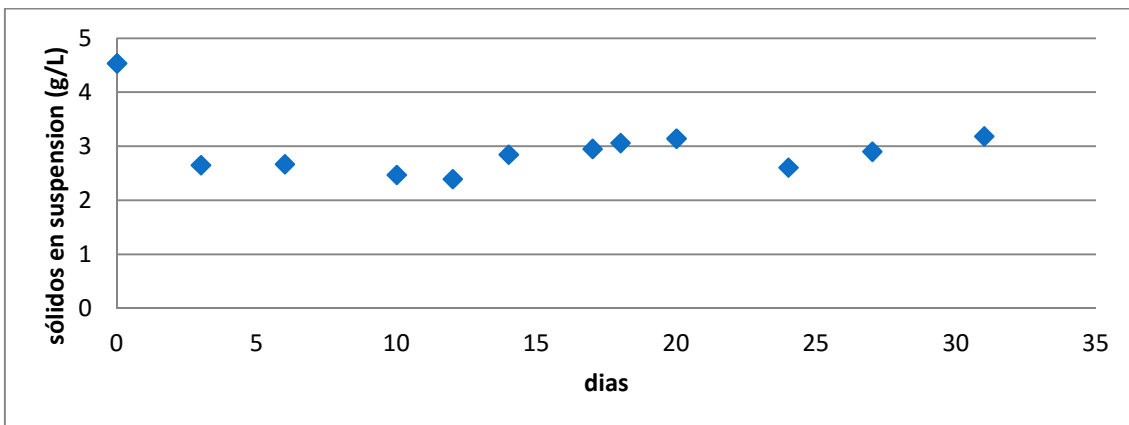
### **5.1. RESULTADOS SISTEMA SBR.**

Con las tablas situadas en los anexos II y III, se puede llevar a cabo la representación de los datos mencionados anteriormente.

- **Control de los sólidos en suspensión.**



**Gráfica 1. Evolución de los sólidos en suspensión con la Eritromicina como fármaco.**



**Gráfica 2. Evolución de los sólidos en suspensión con el Triclosan como fármaco.**

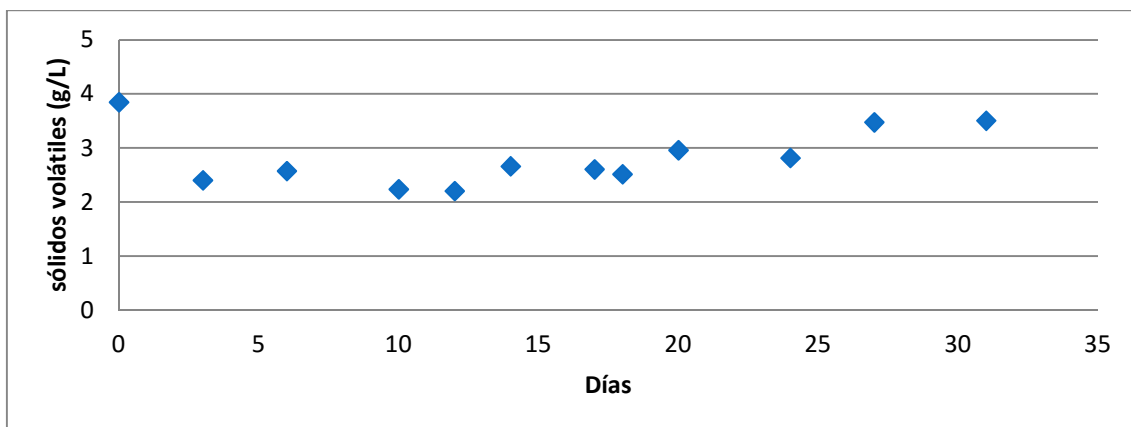
Se puede comprobar tanto en la Gráfica 1 como en la Gráfica 2 que durante los días de ensayo los sólidos en suspensión de los dos reactores, se encuentran entre los 2 y 4 g/L, y durante la mayoría del proceso en torno a los 3 g/L que era el valor deseado.

En el trabajo se comienza con un valor de sólidos en suspensión elevado en ambos reactores (4 y 4,5 g/L), por lo que hay que disminuir estos valores, para que se sitúen en un valor aproximado de 3 g/L. Para ello se lleva cabo una purga en la que se extrae biomasa, reduciendo considerablemente el valor de éstos.

Durante los primeros diez días de aclimatación se observa que los valores de este parámetro se sitúan, en ambos casos, alrededor de los 2,5 g/L.

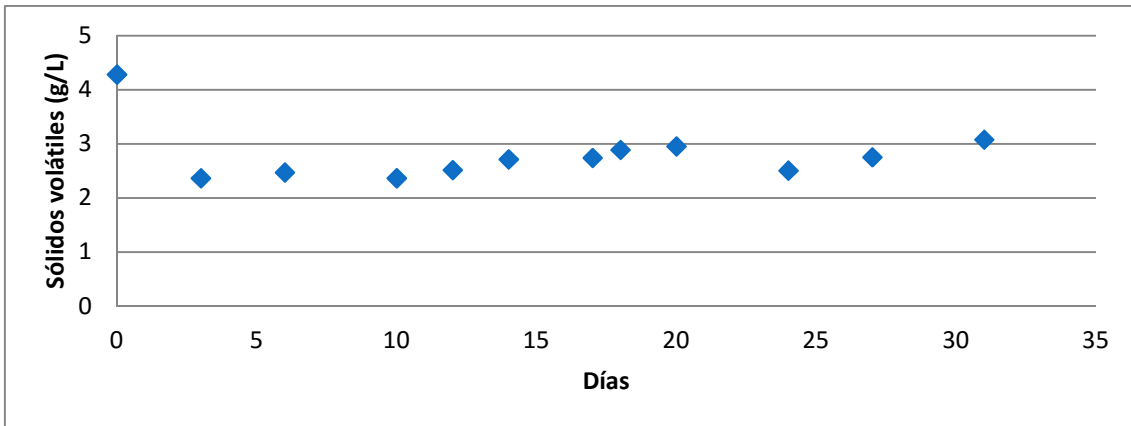
Después de 1 día de la preparación de alimento con la incorporación de la nueva concentración de fármaco los sólidos disminuyen y durante la semana van aumentando. Este suceso se repite cuando se añaden las distintas concentraciones. Los microorganismos al no estar acostumbrados al fármaco se reproducen y se desarrollan menos y una vez que los microorganismos son tolerantes a esa concentración vuelven a aumentar su crecimiento.

### • Control de los sólidos volátiles.



**Gráfica 3. Evolución de los sólidos volátiles con Eritromicina como fármaco.**





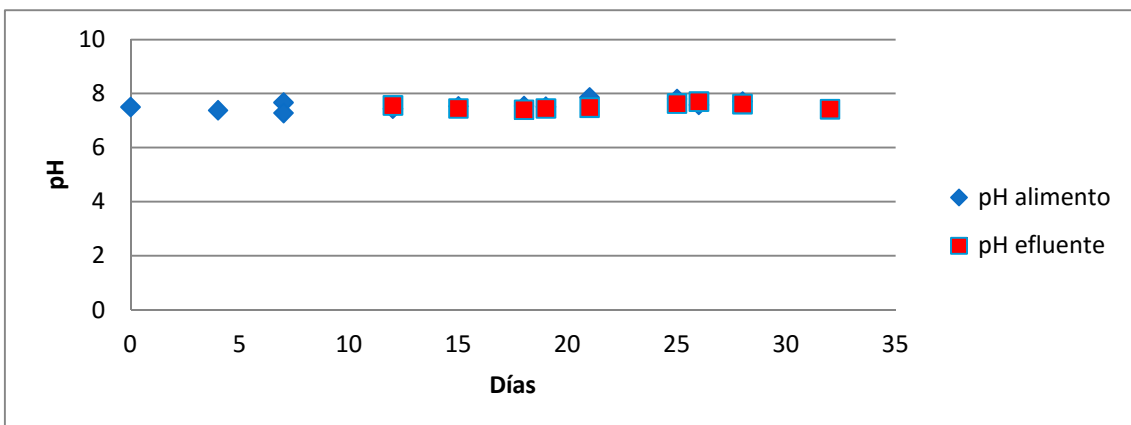
**Gráfica 4. Evolución de los sólidos volátiles con Triclosan como fármaco.**

En este caso se puede observar que la concentración de sólidos volátiles, tanto en la Gráfica 3 como en la Gráfica 4 se encuentra, en la mayoría del trabajo, entre 2 y 3 g/L. Se puede observar en ambos casos, un comportamiento similar al de los sólidos en suspensión.

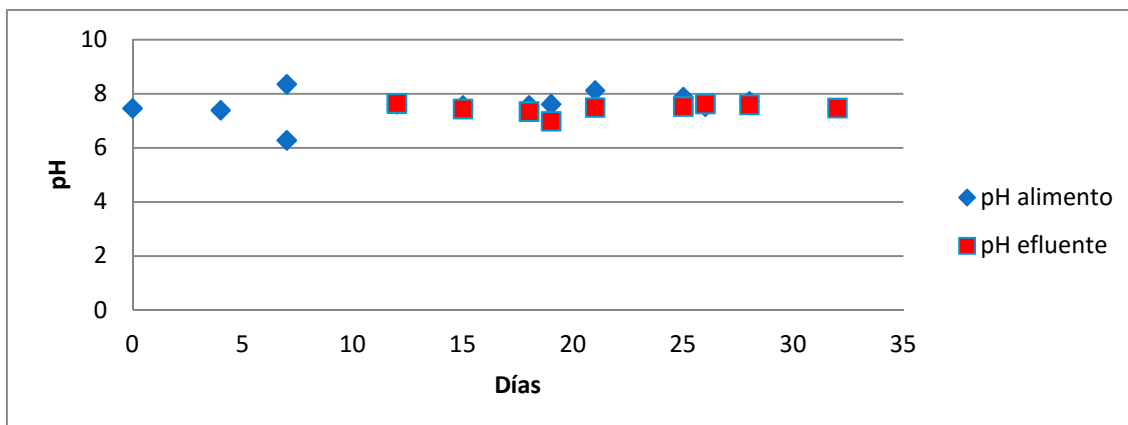
Se comienzan con valores altos, tanto en el reactor que contiene la Eritromicina (3,847 g/L) como en el que contiene el Triclosan (4,28 g/L) por lo que se reducen para tener valores próximos a 3 g/L. Para disminuir este valor se realiza una purga, lo que hace que el valor de este parámetro se mantenga en torno a 2,5 g/L.

En estas representaciones se puede observar un comportamiento similar al de la Gráficas 1 y 2, cuando se incorpora la nueva concentración de fármaco disminuye el valor y durante la semana, cuando los microorganismos ya toleran esa cantidad de fármaco, éstos vuelven a desarrollarse.

- **Control del pH.**



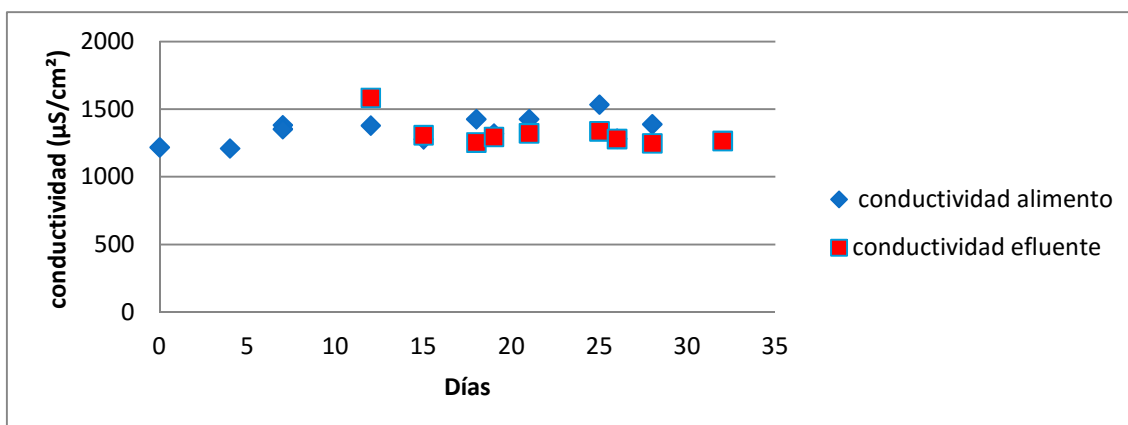
**Gráfica 5. Evolución del pH del alimento y del efluente con Eritromicina en el interior del depósito y reactor.**



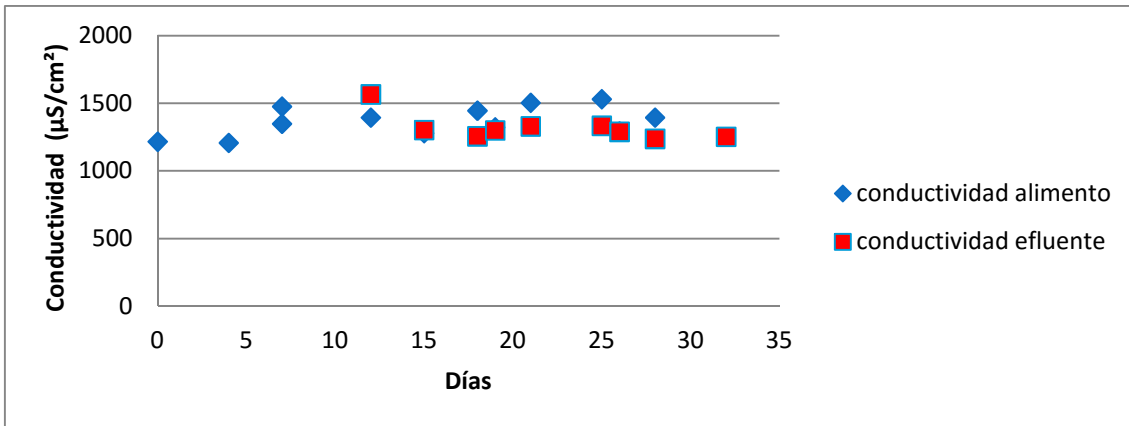
**Gráfica 6. Evolución del pH del alimento y del efluente con Triclosan en el interior del depósito y reactor.**

Durante el desarrollo del proceso se comprueba que, en ambos depósitos y reactores, se tiene, prácticamente, un valor constante de pH, situándose el valor de este parámetro en torno a 7.

- **Control de la conductividad.**



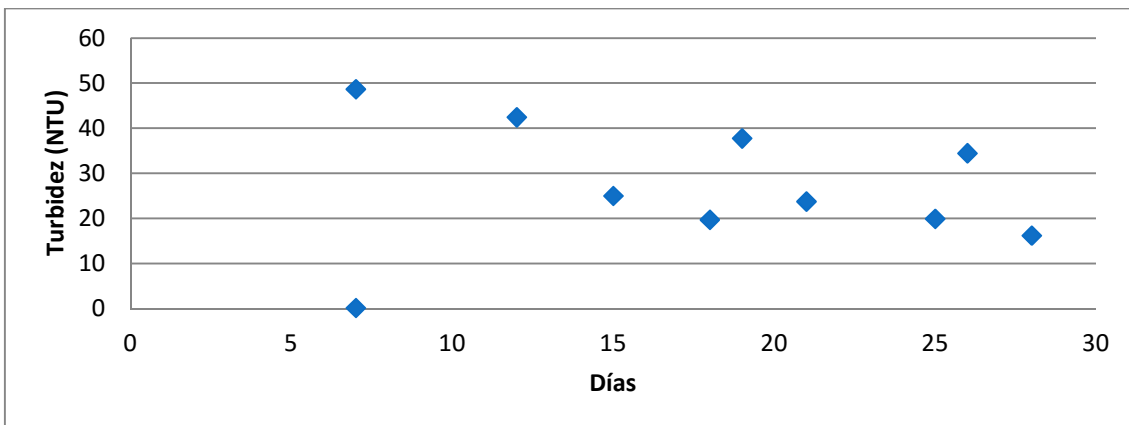
**Gráfica 7. Evolución de la conductividad con Eritromicina como fármaco.**



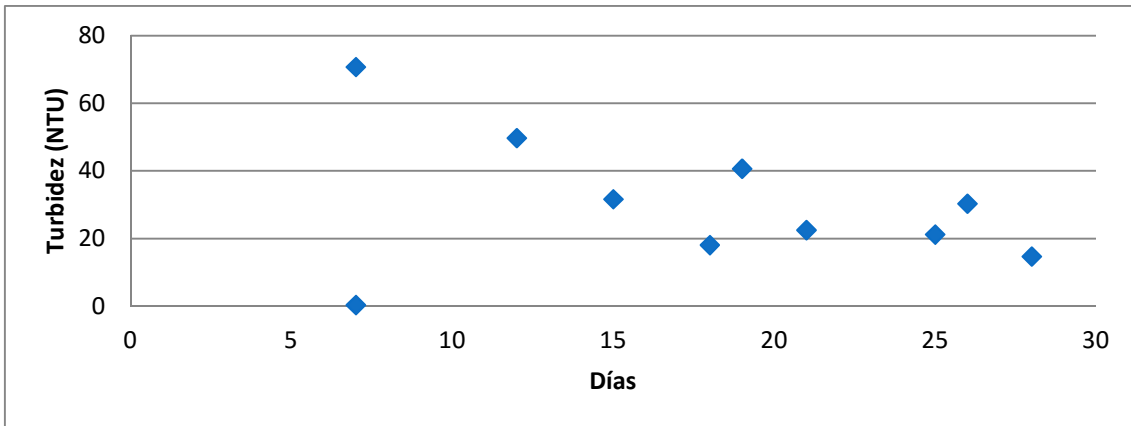
**Gráfica 8. Evolución de la conductividad con Triclosan como fármaco.**

En las Gráficas 7 y 8 se puede observar que tanto en el depósito de alimento, como el agua que se extrae del reactor mantienen un intervalo de valores constante, en el caso del agua de alimentación los valores oscilan entre los 1400 y los 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ , y en el caso del agua de efluente el intervalo de valores oscila entre los 1200 y 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ , por lo que se puede decir que los diferentes fármacos y las concentraciones de éstos no alteran la cantidad de sales disueltas en el agua.

- **Control de la turbidez.**

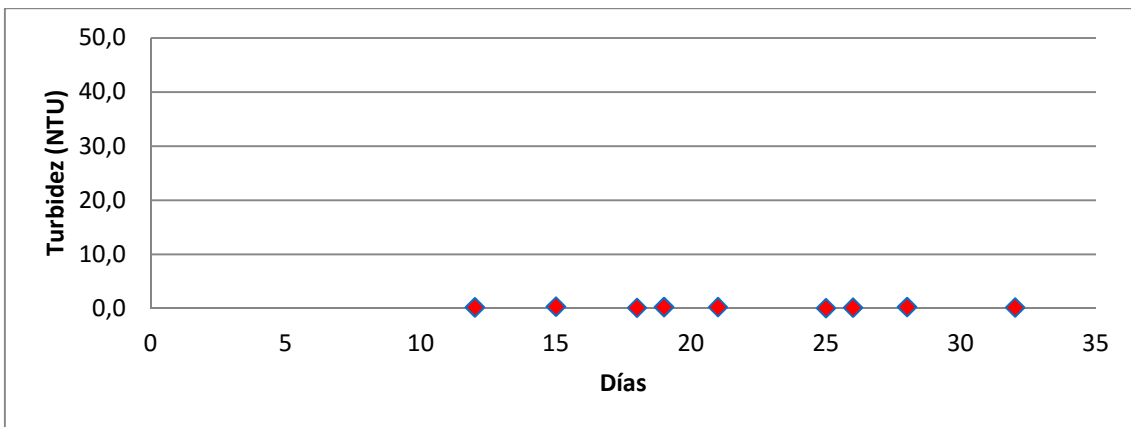


**Gráfica 9. Turbidez del alimento con Eritromicina como fármaco.**

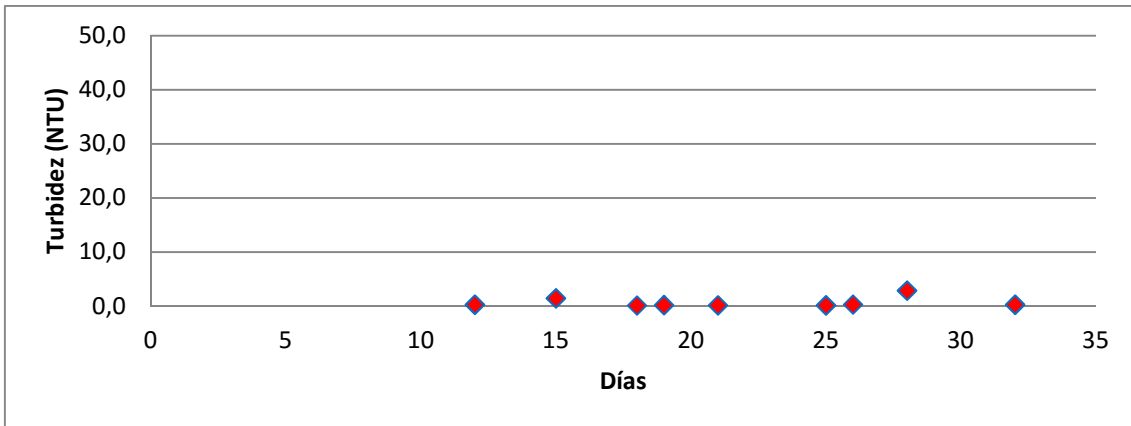


**Gráfica 10. Turbidez del alimento con Triclosan como fármaco.**

En ambos tanques de alimentación se puede comprobar una tendencia descendente. Se comienza con unos valores de turbidez, que son los máximos a lo largo del trabajo. Estos datos se obtienen cuando los depósitos de alimentación no contienen fármacos. El valor de turbidez se va haciendo más pequeño a medida que aumentamos la concentración de fármaco en el depósito, llegando a tener el valor mínimo de toda la experiencia cuando mayor concentración de fármaco (20.000 ng/L) contiene el tanque de alimentación.



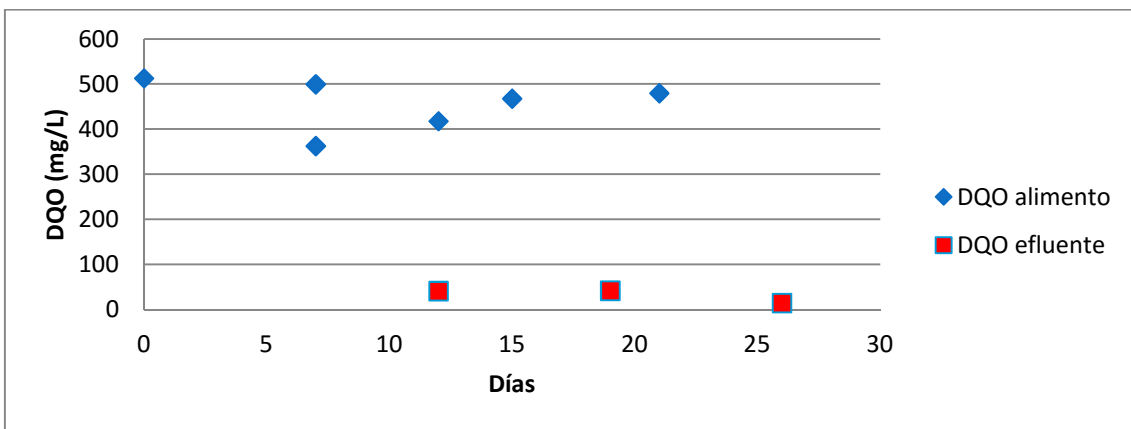
**Gráfica 11. Turbidez del efluente con Eritromicina como fármaco.**



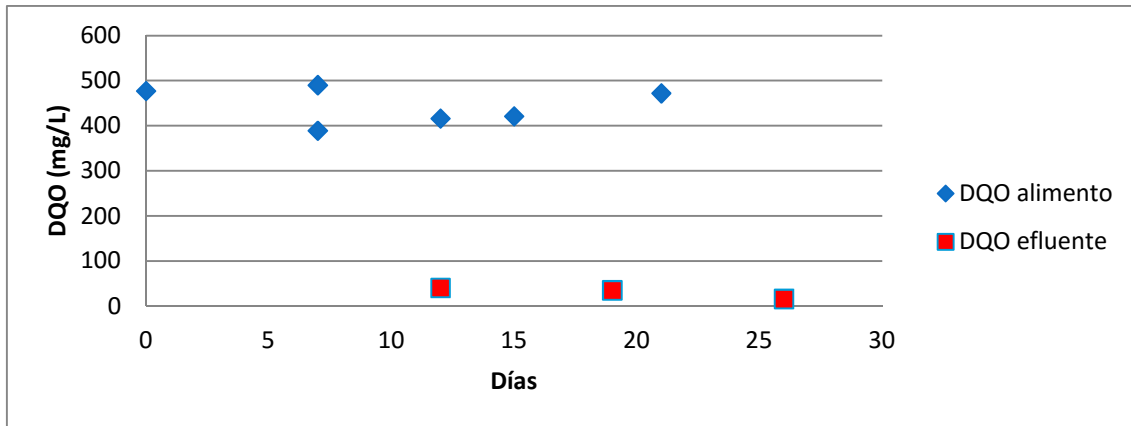
**Gráfica 12. Turbidez del efluente con Triclosan como fármaco.**

A diferencia que en los tanques de alimentación, una vez que el agua se ha tratado durante un ciclo de 8 horas y ha estado en contacto con los microorganismos, se comprueba que el agua evacuada de los reactores contiene una turbidez de prácticamente 0 NTU, es decir, después del ciclo se tiene un agua prácticamente transparente.

- **Control de la materia orgánica (DQO).**



**Gráfica 13. Evolución del contenido de la materia orgánica con Eritromicina como fármaco.**



**Gráfica 14. Evolución del contenido de la materia orgánica con Triclosan como fármaco.**

**Tabla 2. Porcentaje de consumo de materia orgánica**

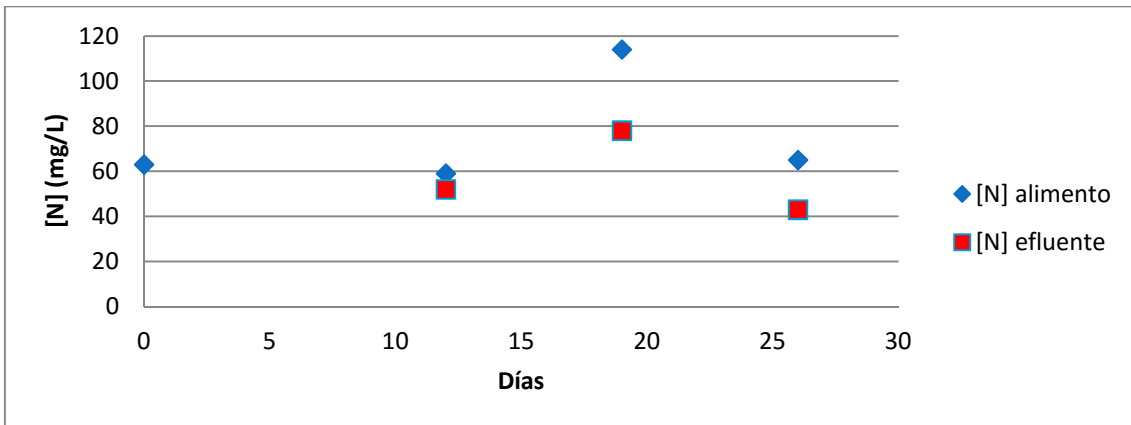
| Concentración de fármaco (ng/L) | Eritromicina | Triclosan |
|---------------------------------|--------------|-----------|
| <b>1.000</b>                    | 90,120       | 90,264    |
| <b>10.000</b>                   | 90,983       | 91,639    |
| <b>20.000</b>                   | 96,875       | 96,589    |

Basándose en las Gráficas 13 y 14 se observa que durante el trabajo se tiene, excepto una vez, el valor deseado en el tanque de alimentación, es decir, un valor próximo a los 500 mg/L.

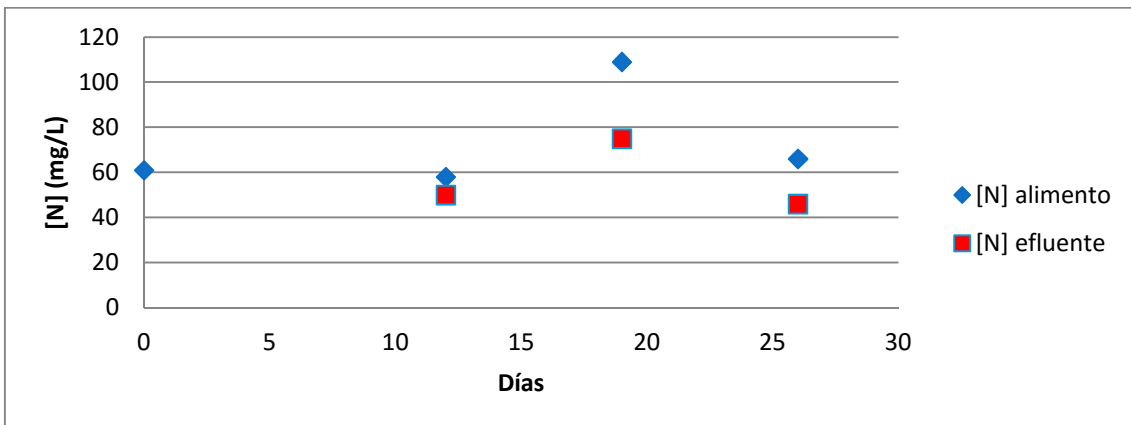
La materia orgánica de los efluentes de ambos reactores se encuentra en una concentración muy inferior si se compara con la de alimento, por lo que se puede decir que la toda la materia orgánica que se introduce inicialmente de los tanques de alimentación es consumida por los microorganismos.

En la Tabla 2 se puede ver que los dos reactores se comportan de la misma manera, la cantidad de materia orgánica que queda en el agua evacuada va disminuyendo a medida que se va aumentando la concentración de fármaco, es decir, los microorganismos consumirán una mayor cantidad de materia orgánica cuanto mayor sea la concentración de fármaco a la que están sometidos, esto se debe a que los microorganismos necesitan más nutrientes que permitan la proliferación y desarrollo de éstos.

● **Control de la concentración de nitrógeno.**



**Gráfica 15. Evolución del contenido de nitrógeno con el fármaco Eritromicina.**



**Gráfica 16. Evolución del contenido de nitrógeno con el fármaco Triclosan.**

**Tabla 3. Porcentaje del consumo de Nitrógeno.**

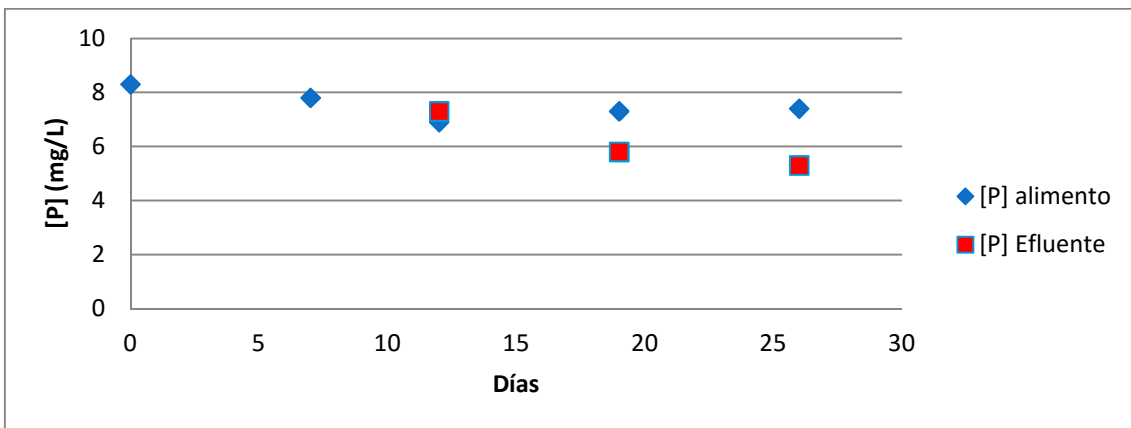
| Concentración (ng/L) | Eritromicina | Triclosan |
|----------------------|--------------|-----------|
| <b>1.000</b>         | 11,864       | 13,8      |
| <b>10.000</b>        | 31,579       | 31,2      |
| <b>20.000</b>        | 33,846       | 30,3      |

La evolución del contenido de nitrógeno representada en las Gráficas 15 y 16 muestra, en el caso de la concentración de nitrógeno en el tanque de alimentación, tanto para la Eritromicina como para el Triclosan, un valor constante que se sitúa en los 60 mg/L, excepto en el día 19 de trabajo, en el que el contenido de nitrógeno tiene un valor muy superior al deseado, esto se puede deber a una

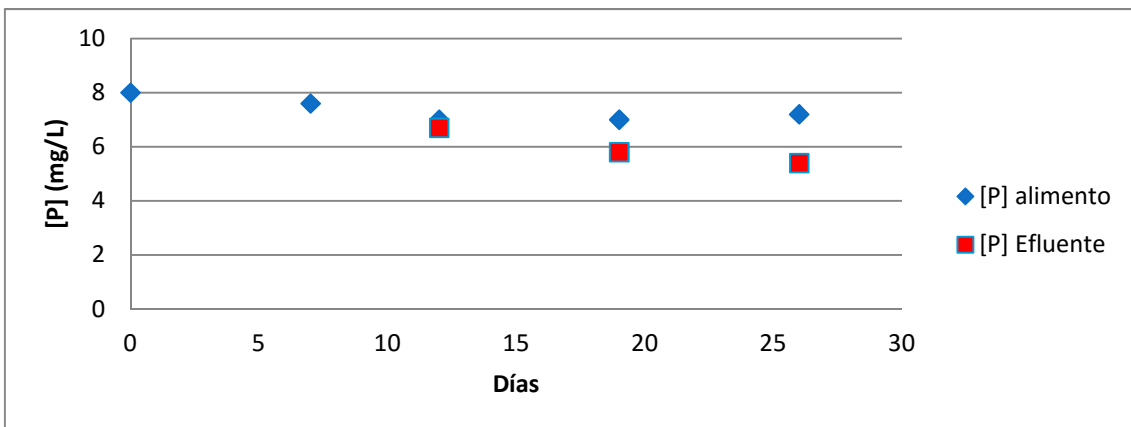
aportación excesiva de peptona o extracto de carne, que son los compuestos que aportan el nitrógeno al alimento.

En estos dos casos, como muestra la Tabla 3, la proporción consumida de nitrógeno es menor que la de materia orgánica aunque si se mantiene la tendencia de las Gráficas 13 y 14, excepto en la concentración intermedia de Triclosan, consumiendo mayor cantidad de nitrógeno cuando mayor concentración de fármaco tiene el tanque de alimentación.

- **Control de la concentración de fósforo.**



**Gráfica 17. Evolución del contenido en fósforo con el fármaco Eritromicina.**



**Gráfica 18. Evolución del contenido en fósforo con el fármaco Triclosan.**



**Tabla 4. Porcentaje de eliminación de fósforo.**

| Concentración (ng/L) | Eritromicina | Triclosan |
|----------------------|--------------|-----------|
| 1.000                | 0            | 4,3       |
| 10.000               | 20,548       | 17,1      |
| 20.000               | 28,378       | 25        |

En este caso los datos que se obtienen de los dos depósitos de alimentación se encuentran siempre cerca del valor esperado durante la evolución del trabajo, es decir, entre 7 y 8 mg de fósforo por cada litro de agua.

En el caso de los efluentes de los dos reactores secuenciales se observa que el consumo de fósforo por los microorganismos es muy pequeño en un ciclo de ocho horas, ya que, como se ve en las Gráficas 17 y 18 y en la Tabla 4, la pérdida de fósforo durante ese tiempo no llega apenas en ningún caso al 30%. Aquí también se puede observar la tendencia descrita en los dos casos anteriores. En los casos los microorganismos han consumido una mayor cantidad de fósforo cuando han estado alimentándose del alimento que mayor concentración de fármaco contenía (20.000 ng/L).

## 5.2. CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVO E ISOTERMAS DE FREUNDLICH Y LANGMUIR.

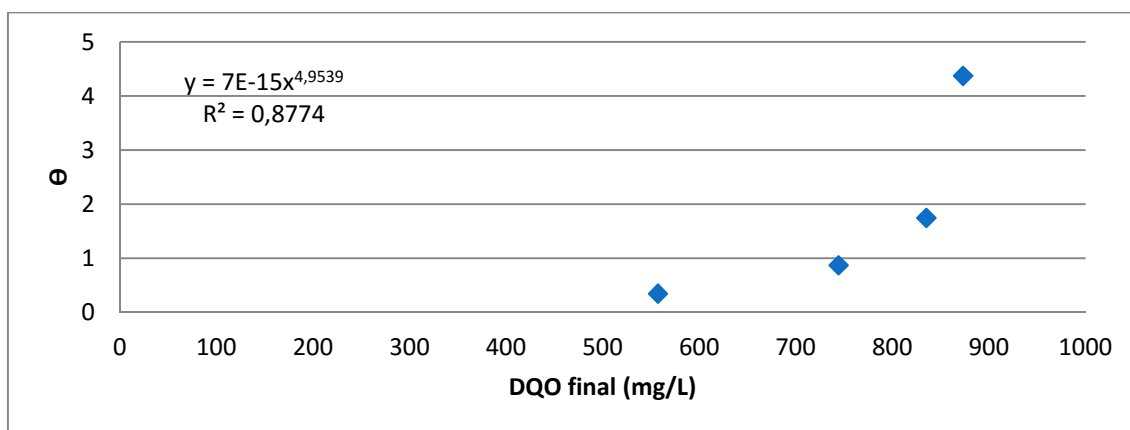
En este punto se recogen los datos obtenidos en el proceso Jar-test, así como las isotermas de Freundlich y Langmuir, para la elección del carbón activo más compatible con cada fármaco.

**Tabla 5. Datos del proceso Jar-test usando carbón activo BM-8 con la Eritromicina como fármaco.**

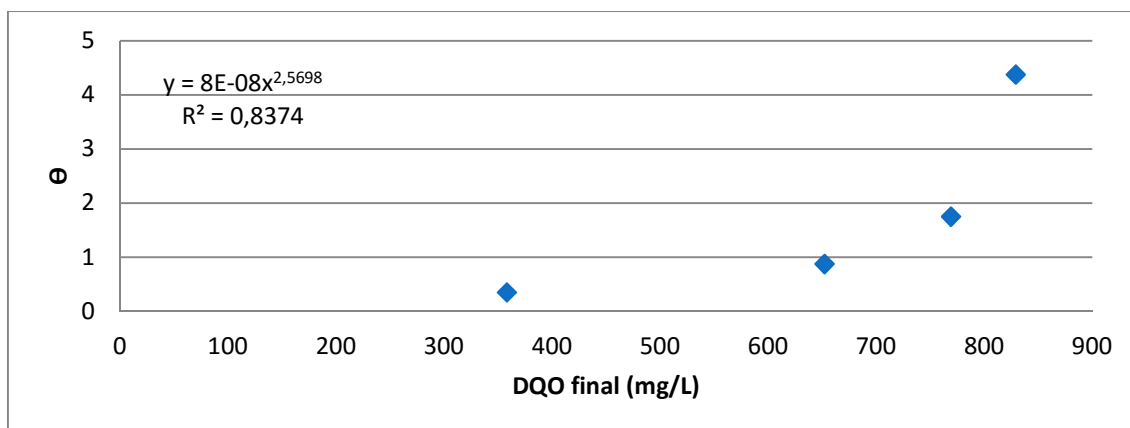
| ERITROMICINA    |                    |          |            |                  |                    |                                   |
|-----------------|--------------------|----------|------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Carbón BM8 (mg) | DQO inicial (mg/L) | $\theta$ | $1/\theta$ | DQO final (mg/L) | 1/DQO final (L/mg) | materia orgánica absorbida (mg/L) |
| 200             | 875                | 4,375    | 0,229      | 873              | 1,145E-03          | 2                                 |
| 500             | 875                | 1,75     | 0,571      | 835              | 1,198E-03          | 40                                |
| 1000            | 875                | 0,875    | 1,143      | 744              | 1,344E-03          | 131                               |
| 2500            | 875                | 0,35     | 2,857      | 557              | 1,795E-03          | 318                               |

**Tabla 6. Datos del proceso Jar-test usando carbón activo CCP-80 con la Eritromicina como fármaco.**

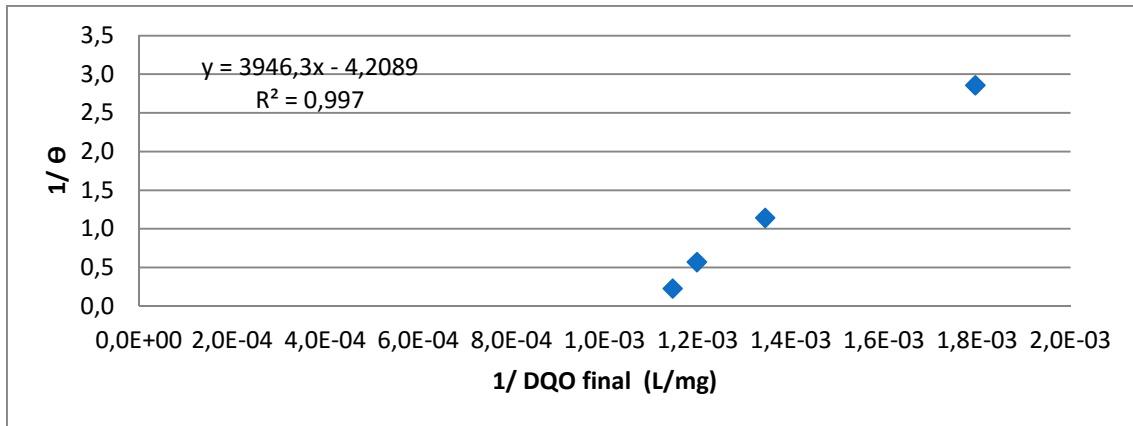
| ERITROMICINA      |                    |          |            |                  |                             |                                   |
|-------------------|--------------------|----------|------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Carbón CCP80 (mg) | DQO inicial (mg/L) | $\Theta$ | $1/\Theta$ | DQO final (mg/L) | $1/\text{DQO final}$ (L/mg) | materia orgánica absorbida (mg/l) |
| 200               | 875                | 4,375    | 0,229      | 829              | 1,206E-03                   | 46                                |
| 500               | 875                | 1,75     | 0,571      | 769              | 1,300E-03                   | 106                               |
| 1000              | 875                | 0,875    | 1,143      | 652              | 1,534E-03                   | 223                               |
| 2500              | 875                | 0,35     | 2,857      | 358              | 2,793E-03                   | 517                               |



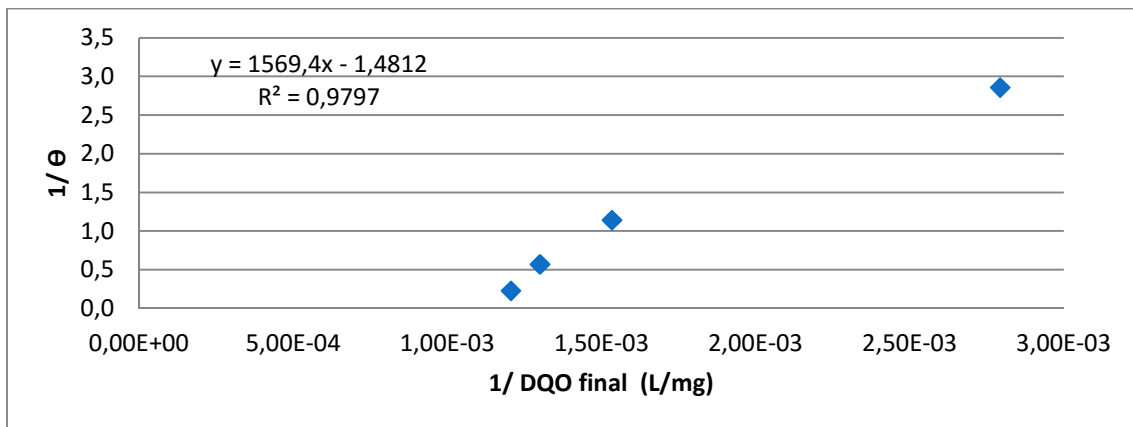
**Gráfica 19. Isoterma de Freundlich usando carbón activo BM-8 con Eritromicina como fármaco.**



**Gráfica 20. Isoterma de Freundlich usando carbón activo CCP-80 con Eritromicina como fármaco.**



**Gráfica 21. Isoterma de Langmuir usando carbón activo BM-8 con Eritromicina como fármaco.**



**Gráfica 22. Isoterma de Langmuir usando carbón activo CCP-80 con Eritromicina como fármaco.**

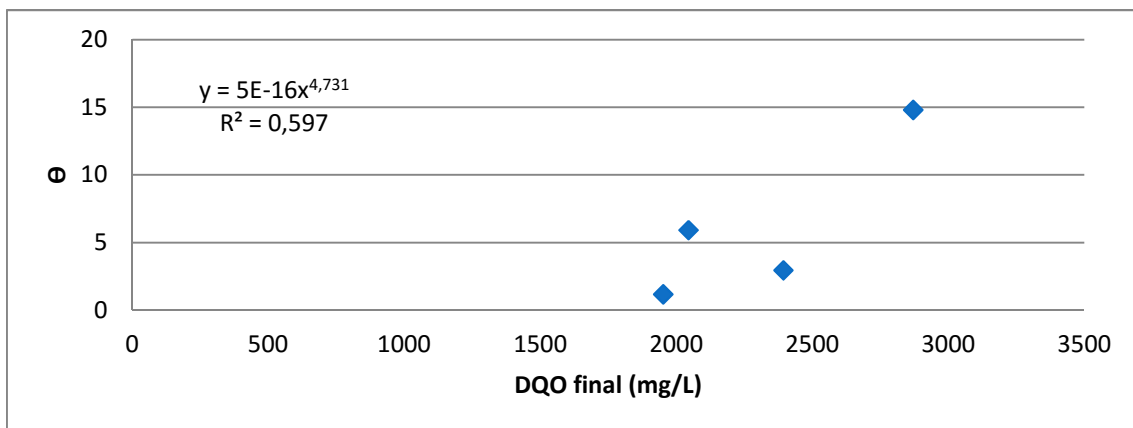
En el caso de la Eritromicina se observa que las isotermas que mejor se ajustan a la adsorción, son las isotermas de Langmuir, ya que como se puede ver en las Gráficas 21 y 22 se obtienen valores de  $R^2$  superiores a los valores que se obtienen en las Gráficas 19 y 20. A partir de estas dos gráficas se elige el carbón que se emplea. Además se puede observar que las Gráficas 19 y 20 no se ajustan a la curva característica de un proceso de adsorción según el modelo de Freundlich, que es una curva que ajusta a una exponencial. En este caso se escoge el CCP-80 ya que con los dos carbones se obtienen prácticamente la misma  $R^2$ , pero si se observan los valores obtenidos de DQO, cuando se realiza el proceso Jar-test, se obtienen valores más pequeños de DQO, es decir, con este carbón se consigue adsorber más cantidad de materia orgánica.

**Tabla 7. Datos del proceso Jar-test usando carbón activo BM-8 con el Triclosan como fármaco.**

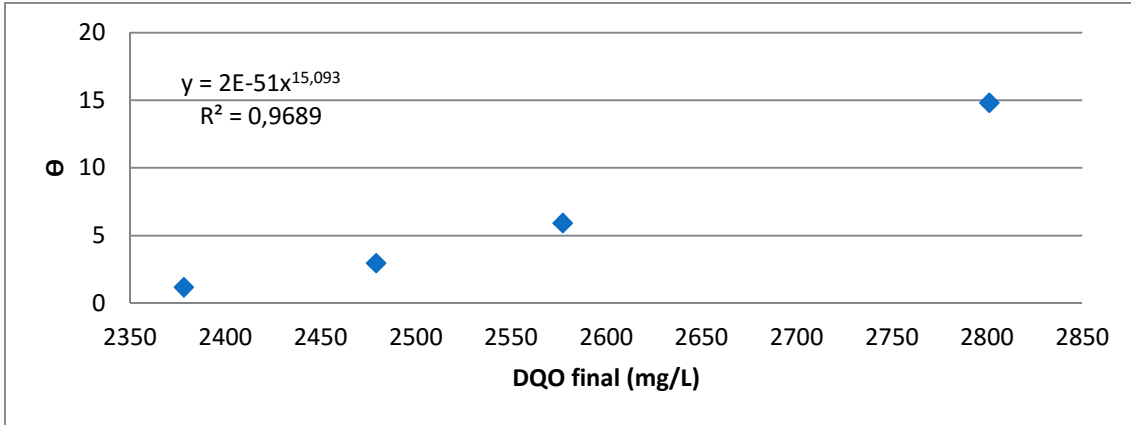
| TRICLOSAN       |                    |          |            |                  |                    |                                   |
|-----------------|--------------------|----------|------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Carbón BM8 (mg) | DQO inicial (mg/L) | $\Theta$ | $1/\Theta$ | DQO final (mg/L) | 1/DQO final (L/mg) | materia orgánica absorbida (mg/L) |
| 200             | 2963               | 14,815   | 0,067      | 2870             | 3,484E-04          | 93                                |
| 500             | 2963               | 5,926    | 0,169      | 2044             | 4,892E-04          | 919                               |
| 1000            | 2963               | 2,963    | 0,337      | 2393             | 4,179E-04          | 570                               |
| 2500            | 2963               | 1,1852   | 0,844      | 1951             | 5,126E-04          | 1012                              |

**Tabla 8. Datos del proceso Jar-test usando carbón activo CCP-80 con el Triclosan como fármaco.**

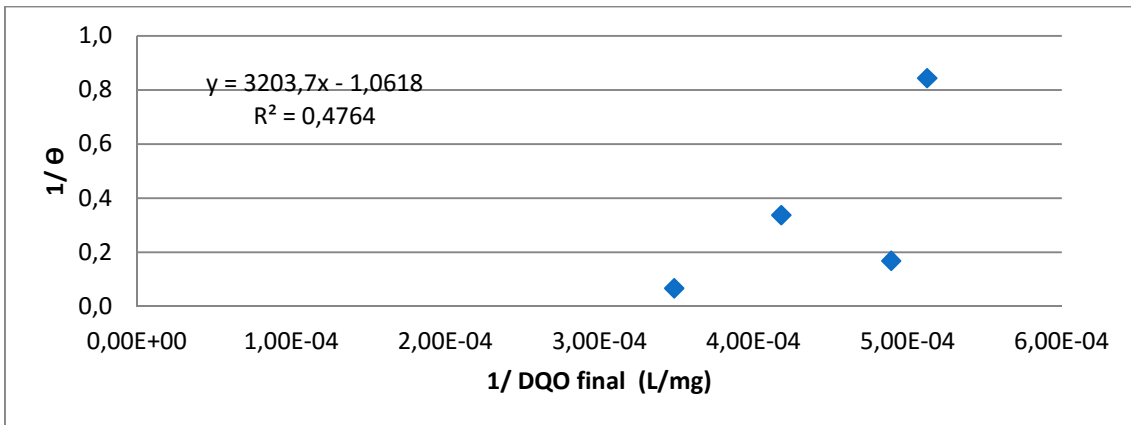
| TRICLOSAN         |                    |          |            |                  |                    |                                   |
|-------------------|--------------------|----------|------------|------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Carbón CCP80 (mg) | DQO inicial (mg/L) | $\Theta$ | $1/\Theta$ | DQO final (mg/L) | 1/DQO final (L/mg) | materia orgánica absorbida (mg/L) |
| 200               | 2963               | 14,815   | 0,067      | 2801             | 3,6E-04            | 162                               |
| 500               | 2963               | 5,926    | 0,169      | 2577             | 3,9E-04            | 386                               |
| 1000              | 2963               | 2,963    | 0,337      | 2479             | 4,0E-04            | 484                               |
| 2500              | 2963               | 1,1852   | 0,844      | 2378             | 4,2E-04            | 585                               |



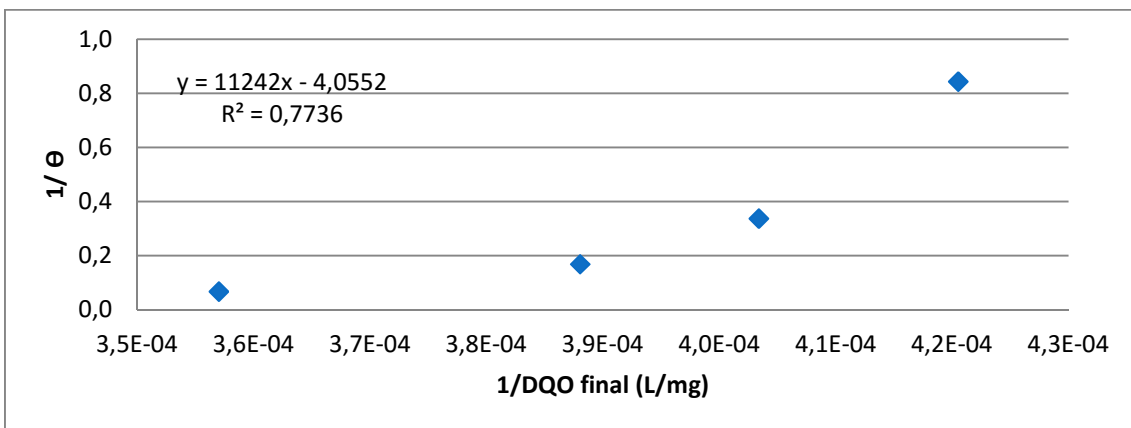
**Gráfica 23. Isoterma de Freundlich usando carbón activo BM-8 con Triclosan como fármaco.**



**Gráfica 24. Isoterma de Freundlich usando carbón activo CCP-80 con Triclosan como fármaco.**



**Gráfica 25. Isoterma de Langmuir usando carbón activo BM-8 con Triclosan como fármaco.**



**Gráfica 26. Isoterma de Langmuir usando carbón activo CCP-80 con Triclosan como fármaco.**

En el caso del Triclosan, como ocurre en el caso anterior las Gráficas 23 y 24 no se ajustan a la forma de las gráficas de Freundlich, descritas en el párrafo anterior, por lo que se descarta ese ajuste. Así que como en el caso anterior se escoge el ajuste de Langmuir. También para el carbón CCP-80.

### **5.3. RESULTADOS SISTEMA COMBINADO SBR-CAP.**

En primer lugar, antes de añadir el carbón activo al SBR, se calculan los porcentajes de eliminación de cada fármaco, de esta manera se comprueba si se añade o no el carbón activo al SBR. Si el grado de eliminación de fármaco es elevado (superior al 85%) utilizando únicamente los microorganismos no se añade el carbón activo, ya que se considera muy satisfactorio ese dato de eliminación. Pero si el grado de eliminación es inferior al 85% si se añade carbón activo al SBR.

En la Tabla 35 situadas en el Anexo IV se comprueba que para el Triclosan no es necesario añadir carbón activo al reactor ya que se obtienen datos de eliminación muy elevados con los microorganismos. Por el contrario para la Eritromicina si es necesario añadir carbón activo ya que son porcentajes de eliminación que se pueden aumentar con el empleo de éste. Como muestran los resultados del punto 5.2. el carbón activo más compatible para este compuesto es el CCP-80. Como se ha mencionado anteriormente en el punto 4.3.2 se añade una cantidad de 300 mg/L de este tipo de carbón.

En la Tabla 9 donde el proceso de depuración de la Eritromicina se lleva a cabo con carbón activo CCP-80, se puede observar que los sólidos en suspensión y los sólidos volátiles se encuentran en una concentración muy cercana a 4 g/L, un punto por encima de los 3 g/L. Por lo que se puede decir que en este caso, como se cuenta con carbón activo, que ayuda a que los microorganismos no eliminen por si solos las sustancias tóxicas, hace que éstos tengan mayor capacidad de reproducción y desarrollo, aumentando, como se ve en las Tabla 9, el valor de los dos parámetros mencionados.

Por otro lado en las Tabla 10 se puede observar que los valores obtenidos con la presencia del carbón activo en el reactor, prácticamente no cambia si se comparan con los valores obtenidos cuando en el reactor la actividad de depuración solamente la realizan los microorganismos. Por lo que se puede decir que la presencia de carbón activo en el reactor no influye en los valores finales de pH, Conductividad, DQO, contenido de Nitrógeno y contenido de Fósforo.

**Tabla 9. Evolución de los sólidos en suspensión y sólidos volátiles en el reactor que contiene Eritromicina.**

| Fecha                                | Vidrio + Filtro (g) | Vidrio + Filtro + Torta (g) | Volumen filtrado (mL) | Sólidos en suspensión (g/L) | Crisol + Torta (g) | Crisol después mufla (g) | Sólidos volátiles (g/L) |       |       |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|-------|-------|
| ALIMENTO CON ERITROMICINA 1.000 ng/L |                     |                             |                       |                             |                    |                          |                         |       |       |
| 11/03/16                             | 54,0626             | 54,266                      | 50                    | 4,068                       | 3,965              | 42,9706                  | 42,771                  | 3,992 | 3,929 |
| 11/03/16                             | 35,0717             | 35,2648                     | 50                    | 3,862                       |                    | 47,3043                  | 47,111                  | 3,866 |       |

**Tabla 10. Evolución de pH, conductividad, turbidez, DQO, N y P en el reactor y tanque de alimento que contiene Eritromicina.**

| Fecha                                | pH   | conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ) | Turbidez (NTU) | DQO (mg/L) | N (mg/L) | P (mg/L) | Tipo     |
|--------------------------------------|------|---|----------------|------------|----------|----------|----------|
| ALIMENTO CON ERITROMICINA 1.000 ng/L |      |   |                |            |          |          |          |
| 10/03/2016                           | 7,43 | 1300  | -              | 517        | 71       | 8,1      | Alimento |
| 10/03/2016                           | 7,75 | 1286  | -              | 2,2        | 39       | 4        | Efluente |

#### **5.4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE FÁRMACOS.**

Como se ha explicado anteriormente, para comprobar cuál es el porcentaje de eliminación de fármacos a lo largo del trabajo, se cogen muestras del alimento que tiene una concentración determinada de fármaco. Las muestras se toman a las 11:00 y una vez que el alimento entra al reactor a las 11:20 se espera a que se complete el ciclo de 8 horas, de esta manera todas las muestras se encuentran en las mismas condiciones y se sabe que todas han tenido un tiempo de depuración de 8 horas. Así mediante la ecuación (5), finalmente, se determina el porcentaje de eliminación de fármaco en un tiempo de 8 horas y a distintas concentraciones de fármaco en el depósito de alimento, 1.000, 10.000 y 20.000 ng/L sin carbón activo y una concentración de 1.000 ng/L cuando en el reactor que contiene Eritromicina hay carbón activo.

En la Tabla 35 del Anexo IV, se puede ver la evolución de los grados de eliminación del Triclosan. Se puede ver que para las tres concentraciones distintas se obtiene un elevado porcentaje de retención, superando siempre el 90% de eliminación. Debido a estos datos tan satisfactorios no se añade carbón activo y no se realiza el sistema combinado SBR-CAP, ya que añadiendo el carbón activo solo se aumentaría pocos puntos el porcentaje de retención, es decir, se puede decir que la adición de carbón activo no sería rentable para este compuesto farmacéutico, ya que su presencia aumentaría de una manera despreciable el rendimiento del proceso.

En la otra tabla del Anexo IV, Tabla 34, se puede ver la evolución del porcentaje de eliminación de Eritromicina. En este caso se observa que los rendimientos son inferiores al caso anterior. Se observa que el mayor rendimiento ocurre cuando se tiene una concentración de fármaco de 10.000 ng/L, obteniendo rendimientos de eliminación entre el 40 y el 53%. Con los 20.000 ng/L no se alcanzan valores tan altos como con la concentración anterior, pero se pueden considerar buenos, ya que se llegan a alcanzar porcentajes de eliminación que se sitúan entre el 27 y el 33%. Por último con la concentración de 1.000 ng/L se obtienen los peores resultados teniendo un intervalo de rendimientos de eliminación entre el 24 y el 27%.

Con esta concentración es con la que se ha llevado a cabo la comparación entre el SBR y el sistema combinado SBR-CAP. Se puede ver que cuando se emplea carbón activo CCP-80 durante el mismo tiempo el intervalo del porcentaje de eliminación aumenta y se encuentra entre un 34 y 44% aproximadamente. Como conclusión se puede decir que el carbón activo CCP-80 ayuda a incrementar el rendimiento de eliminación, ya que se llega a retener casi el doble de Eritromicina, con una concentración de 1.000 ng/L, cuando las muestras de agua se tratan durante el mismo tiempo, 8 horas.



## **6. ESTUDIO ECONÓMICO DE LA PLANTA PILOTO.**

### **6.1. NECESIDAD DEL PRESUPUESTO.**

Se quiere valorar económicamente el diseño de la planta piloto realizada en el TFG, por lo que es necesario realizar el presupuesto del mismo. El presupuesto es el cálculo de la inversión necesaria para llevar el proyecto a cabo.

Se ha de tener en cuenta que se querrá tratar un volumen de 6 litros de agua al día, durante 31 días. En este presupuesto se tendrán en cuenta los fármacos empleados (Triclosan y Eritromicina) y los compuestos que se emplean para elaborar el agua sintética y que sirven de nutrientes para los microorganismos (Peptona, Extracto de carne y di - Potasio Hidrogeno Fosfato Anhidro (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)). Sin embargo en el caso real el agua residual de la estación depuradora ya llevará disueltos los fármacos y los compuestos del agua de alimento.

### **6.2. PRESUPUESTOS PARCIALES.**

#### **6.2.1. Coste del material de laboratorio.**

**Tabla 11. Listado de precios unitarios correspondientes al material de laboratorio.**

| <b>Código</b> | <b>Unidad</b> | <b>Descripción</b>                            | <b>Precio (€)</b> |
|---------------|---------------|---|-------------------|
| MM01          | Ud            | Agitador magnético extraplano                 | 99                |
| MM02          | Ud            | Agitador heidolph                             | 160               |
| MM03          | Ud            | Aireadores                                    | 31,95             |
| MM04          | Ud            | Balanza de precisión 0,001 g (capacidad 100g) | 195,5             |
| MM05          | Ud            | Bombas  | 260               |
| MM06          | Ud            | Conductímetro crison GLP 31                   | 697               |
| MM07          | Ud            | Depósito de agua para alimento                | 57,16             |
| MM08          | Ud            | Espátulas con cuchara                         | 0,49              |
| MM09          | Ud            | Filtros fibra de vidrio de borosilicato       | 0,807             |
| MM10          | Ud            | Filtros politetrafluoroetileno                | 0,18              |
| MM11          | Ud            | Imán agitación cilíndricos                    | 2,95              |
| MM12          | Ud            | Kit para la determinación de DQO (Alimento)   | 70                |
| MM13          | Ud            | Kit para la determinación de DQO (Efluente)   | 70                |
| MM14          | Ud            | Kit para la determinación del contenido en N  | 70                |
| MM15          | Ud            | Kit para la determinación del contenido en P  | 70                |
| MM16          | Ud            | Matraz aforado vidrio clase a (250 ml)        | 5,15              |
| MM17          | Ud            | Pera de goma para pipetas                     | 4,88              |

**Tabla 11. Listado de precios unitarios correspondientes al material de laboratorio (continuación).**

| Código | Unidad | Descripción                                 | Precio (€) |
|--------|--------|---|------------|
| MM18   | Ud     | pH metro crison GLP 21                      | 605        |
| MM19   | Ud     | Pipetas volumen fijo 1000 µL                | 39,68      |
| MM20   | Ud     | Probeta de vidrio graduada clase a (500 ml) | 12,35      |
| MM21   | Ud     | Turbidímetro                                | 912        |
| MM22   | Ud     | Temporizadores                              | 10         |
| MM23   | Ud     | Vaso de precipitado (100 ml)                | 1,7        |
| MM24   | Ud     | Vaso de precipitado (1000 ml)               | 5,9        |
| MM25   | Ud     | Vidrio de reloj esmerilado                  | 1,6        |

**Tabla 12. Cuadro de precios descompuestos del material de laboratorio.**

| Unidad | Descripción                                   | N    | Precio (€) | Subtotal (€) |
|--------|---|------|------------|--------------|
| Ud     | Agitador magnético extraplano                 | 1    | 99         | 99           |
| Ud     | Agitador verticales                           | 4    | 160        | 640          |
| Ud     | Aireadores                                    | 2    | 31,95      | 63,9         |
| Ud     | Balanza de precisión 0,001 g (capacidad 100g) | 1    | 195,5      | 195,5        |
| Ud     | Bombas  | 4    | 260        | 1040         |
| Ud     | Conductímetro crison GLP 31                   | 1    | 697        | 697          |
| Ud     | Depósito de agua para alimento                | 2    | 57,16      | 114,32       |
| Ud     | Espátulas con cuchara                         | 2    | 0,49       | 0,98         |
| Ud     | Filtros fibra de vidrio de borosilicato       | 50   | 0,807      | 40,35        |
| Ud     | Filtros politetrafluoroetileno                | 44   | 0,18       | 7,92         |
| Ud     | Imán agitación cilíndricos                    | 4    | 2,95       | 11,8         |
| Ud     | Kit para la determinación de DQO (Alimento)   | 1,2  | 70         | 84           |
| Ud     | Kit para la determinación de DQO (Efluente)   | 0,24 | 70         | 16,8         |
| Ud     | Kit para la determinación del contenido en N  | 0,72 | 70         | 50,4         |
| Ud     | Kit para la determinación del contenido en P  | 0,72 | 70         | 50,4         |
| Ud     | Matraz aforado vidrio clase a (250 ml)        | 12   | 5,15       | 61,8         |
| Ud     | Pera de goma para pipetas                     | 1    | 4,88       | 4,88         |
| Ud     | pH metro crison GLP 21                        | 1    | 605        | 605          |
| Ud     | Pipetas volumen fijo 1000 µL                  | 1    | 39,68      | 39,68        |
| Ud     | Probeta de vidrio graduada clase a (500 ml)   | 1    | 12,35      | 12,35        |
| Ud     | Temporizadores                                | 8    | 10         | 80           |

**Tabla 12. Cuadro de precios descompuestos del material de laboratorio (continuación).**

| Unidad       | Descripción                   | N | Precio (€)     | Subtotal (€) |
|--------------|-------------------------------|---|----------------|--------------|
| Ud           | Turbidimetro                  | 1 | 912            | 912          |
| Ud           | Vaso de precipitado (100 ml)  | 2 | 1,7            | 3,4          |
| Ud           | Vaso de precipitado (1000 ml) | 4 | 5,9            | 23,6         |
| Ud           | Vidrio de reloj esmerilado    | 4 | 1,6            | 6,4          |
| <b>TOTAL</b> |                               |   | <b>4861,48</b> |              |

### 6.2.2. Coste de los equipos de laboratorio.

**Tabla 13. Listado de precios unitarios correspondientes a los equipos de laboratorio.**

| Código | Unidad | Descripción           | Precio (€) |
|--------|--------|-----------------------|------------|
| MM26   | Ud     | Estufa de laboratorio | 1469       |
| MM27   | Ud     | Floculador Jar-test   | 1443,24    |
| MM28   | Ud     | Microscopio óptico    | 990        |
| MM29   | Ud     | Espectrofotómetro     | 414        |
| MM30   | Ud     | Horno de mufla        | 1360       |
| MM31   | Ud     | Bombas de vacío       | 150        |

**Tabla 14. Cuadro de precios descompuestos de los equipos de laboratorio.**

| Unidad       | Descripción           | N | Precio (€)     | Subtotal (€) |
|--------------|-----------------------|---|----------------|--------------|
| Ud           | Estufa de laboratorio | 1 | 1469           | 1469         |
| Ud           | Microscopio óptico    | 1 | 990            | 990          |
| Ud           | Floculador Jar-test   | 1 | 1443,24        | 1443,24      |
| Ud           | Espectrofotómetro     | 1 | 414            | 414          |
| Ud           | Horno de mufla        | 1 | 1360           | 1360         |
| Ud           | Bomba de vacío        | 1 | 150            | 150          |
| <b>TOTAL</b> |                       |   | <b>5826,24</b> |              |

### 6.2.3. Coste de los reactivos empleados.

**Tabla 15. Listado de precios unitarios correspondientes a los reactivos empleados.**

| Código | Unidad | Descripción        | Precio (€) |
|--------|--------|--------------------|------------|
| MM32   | Kg     | Carbones activados | 650        |

**Tabla 15. Listado de precios unitarios correspondientes a los reactivos empleados (continuación).**

| Código | Unidad | Descripción   | Precio (€) |
|--------|--------|---|------------|
| MM33   | Kg     | di-Potasio Hidrogeno Fosfato Anhidro (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) | 80         |
| MM34   | g      | Eritromicina  | 18         |
| MM35   | Kg     | Extracto de carne para microbiología                                    | 221,4      |
| MM36   | Kg     | Peptona bacteriológica para microbiología                               | 140        |
| MM37   | g      | Triclosan   | 77,2       |

**Tabla 16. Cuadro de precios descompuestos de los reactivos empleados.**

| Unidad       | Descripción   | N     | Precio (€)    | Subtotal (€) |
|--------------|---|-------|---------------|--------------|
| Kg           | Carbones activados  | 0,023 | 650           | 14,95        |
| Kg           | di - Potasio Hidrogeno Fosfato Anhidro (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) | 1     | 80            | 80           |
| g            | Eritromicina  | 5     | 18            | 90           |
| Kg           | Extracto de carne para microbiología                                      | 0,5   | 221,4         | 110,7        |
| Kg           | Peptona bacteriológica para microbiología                                 | 0,5   | 140           | 70           |
| g            | Triclosan   | 1     | 77,2          | 77,2         |
| <b>TOTAL</b> |   |       | <b>442,85</b> |              |

#### 6.2.4. Coste de la mano de obra.

**Tabla 17. Listado de precios unitarios correspondientes a la mano de obra.**

| Código | Unidad | Descripción                      | Precio (€) |
|--------|--------|----------------------------------|------------|
| MO01   | h      | Peón ordinario                   | 15         |
| MO02   | h      | Estudiante de Ingeniería Química | 25         |

**Tabla 18. Cuadro de precios descompuestos de la mano de obra.**

| Unidad       | Descripción                      | N   | Precio (€)  | Subtotal (€) |
|--------------|----------------------------------|-----|-------------|--------------|
| h            | Peón ordinario                   | 100 | 15          | 1500         |
| h            | Estudiante de Ingeniería Química | 300 | 25          | 7500         |
| <b>TOTAL</b> |                                  |     | <b>9000</b> |              |

### 6.3. COSTE EJECUCIÓN MATERIAL Y COSTE TOTAL.

*Tabla 19. Presupuesto de Ejecución Material.*

| Presupuesto | TOTAL (€)       |
|-------------|-----------------|
| PEM         | <b>20130,57</b> |

Por lo que el presupuesto de ejecución material necesario para llevar a cabo el proyecto es de un total de **VEINTE MIL CIENTO TREINTA EUROS CON CINCUENTA Y SIETE EUROS.**

Finalmente si se tiene en cuenta unos gastos generales del 15% en los que se tienen en cuenta gastos como la electricidad consumida y el agua de red empleada en el trabajo, se obtiene el presupuesto total necesario para llevar a cabo el experimento.

*Tabla 20. Presupuesto total para la ejecución del proyecto.*

| Presupuesto          | Subtotal (€) | Total (€)       |
|----------------------|--------------|-----------------|
| PEM                  | 20130,57     | <b>23150,16</b> |
| 15% Gastos generales | 3019,5855    |                 |

Teniendo en cuenta esto se obtiene un presupuesto total de **VEINTITRES MIL CIENTO CINCUENTA CON DIECISEIS EUROS.**



## **7. BIBLIOGRAFÍA.**

### **Páginas web consultadas**

<http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/depuracion-y-reutilizacion-de-aguas.pdf>  
<http://www.albufera.com/parque/book/export/html/6251>  
<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2009/01/31/112064>  
[http://www.ciccp.es/biblio\\_digital/lcitema\\_III/congreso/pdf/010511.pdf](http://www.ciccp.es/biblio_digital/lcitema_III/congreso/pdf/010511.pdf)  
<http://www.tecpa.es/reactor-biologico-secuentialsbr/>  
<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/12/01/53336>  
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/Capitulo1.pdf>  
<http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/isoterma-de-freundlich>  
<https://www.boe.es/boe/dias/2013/04/30/pdfs/BOE-A-2013-4574.pdf>  
[http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)





# ***PRESUPUESTO.***



## **1. DISEÑO DEL SISTEMA A ESCALA INDUSTRIAL.**

Para realizar una modelización a escala industrial de la planta piloto se estima un caudal proveniente de un hospital, cuyas aguas tienen un elevado contenido en antibióticos y una elevada concentración de sustancias tóxicas difíciles de eliminar con los sistemas convencionales de depuración. Para ello nos hemos basado en el número de camas disponibles en el Hospital de Denia, que contiene un total de 280 camas. El volumen de aguas residuales que se establece generalmente para los hospitales se encuentra en un intervalo entre los 400 y 1200 litros cama<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Si se quiere que la planta diseñada funcione en todos los casos y no surjan imprevistos y desperfectos ante una subida brusca de volumen, se tiene en cuenta el volumen máximo admitido, es decir los 1200 litros cama<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. (Fuente: Publicaciones las provincias y artículo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental)

Es decir, el volumen de agua residual que tiene que ser tratado, el cual contiene los fármacos y también los compuestos que aportan los nutrientes necesarios a los microorganismos, es de 336 m<sup>3</sup> en un día. Por lo que se tienen tres depósitos con una capacidad de 112 m<sup>3</sup> para ir almacenando el volumen entrante. Cada depósito está conectado a dos bombas que introducen el agua en el secadero de lodos, impulsando cada bomba un volumen de 56 m<sup>3</sup>. Las bombas impulsan el agua durante 26 minutos, es decir, trabajan con un caudal de 2,15 m<sup>3</sup>/min. Este agua se introduce en un secadero de lodos que tiene una capacidad de 336 m<sup>3</sup>, de los cuales 112 m<sup>3</sup> están formados por el fango biológico, el cual contiene los microorganismos encargados del proceso de depuración, y el carbón activo, que en este caso se emplea la misma concentración y el mismo tipo empleado en la planta piloto, carbón activo CCP-80 a una relación de 300 mg/L. Por lo que para este secadero serán necesarios 100,8 kg de carbón activo CCP-80.

El volumen total se trata en tres ciclos separados temporalmente por 8 horas, para que el tiempo de residencia del volumen total sea de un día. El ciclo de funcionamiento se desarrolla de la siguiente manera:

En primer lugar se bombean los 112 m<sup>3</sup> hacia el secadero de lodos, este volumen permanece en el secadero 8 horas, tiempo en el que se lleva a cabo el proceso de eliminación de fármacos y compuestos tóxicos. En este secadero es necesario tener una mezcla homogénea de fango y de agua, que se consigue mediante la inyección de burbujas de aire desde el fondo del secadero. La inyección de aire está activada durante 6 horas para permitir, en las dos horas restantes de ciclo, que sedimenten los sólidos del lodo biológico, y que de esta manera no se evacue biomasa en la fase de vaciado. Por último, cuando han transcurrido las 8 horas se evacua el volumen que se ha introducido previamente.

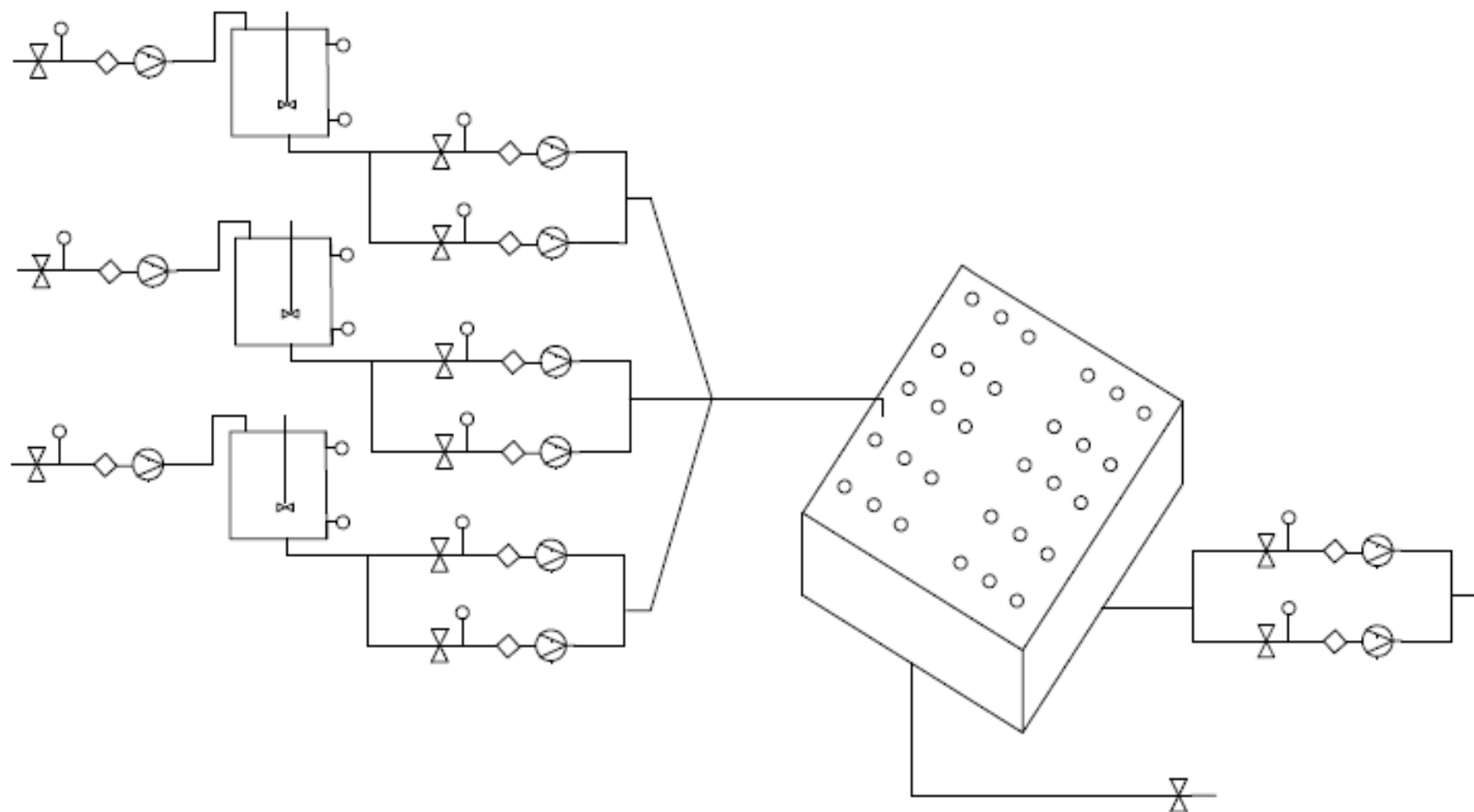
Los ciclos de funcionamiento están controlados por temporizadores que se encargan de las siguientes funciones:

- Se dispone de un temporizador para la fase de vaciado del secadero de lodos, este temporizador está programado para que se active tres veces al día, y tenga una duración de 26 minutos. Las horas de activación de este temporizador serán las siguientes: de 11:20 a 11:46, de 19:20 a 19:46 y de 3:20 a 3:46. En cada ciclo se evacuará un volumen de 112 m<sup>3</sup>.

- Se dispone de un temporizador para la fase de aireación y agitación, el cual activa y desactiva tres veces el inyector de burbujas de aire. Esta fase tiene una duración de 7 horas. Los ciclos comienzan a las 11:45, 19:45 y 3:45 y las tres horas de finalización del ciclo serán 18:45, 2:45 y 10:45.
- Se disponen de tres temporizadores que se encargan del primer, segundo y tercer llenado del secadero de lodos. El primer temporizador se encarga de activar las bombas que impulsan el agua del primer depósito, dicho temporizador está activado durante 26 minutos y la hora de comienzo es a las 11:51. El segundo temporizador activa las bombas que impulsan el agua del segundo depósito. Estas bombas se activan 8 horas después, es decir, a las 19:51 y finaliza a las 20:17. Por último, el tercer temporizador activa las bombas que impulsan el volumen del tercer depósito y comienza a hacerlo a las 3:51 y finaliza a las 4:17.
- Por último se disponen de tres temporizadores encargados de llenar los depósitos. Estos tres temporizadores tienen tres horas de activación distintas, que comienzan a las 10:45, 18:45 y 2:45. Estos temporizadores están activados durante una hora por lo que se desactivan a las 11:45, 19:45 y 3:45, respectivamente.







Las bombas, que cuentan cada una con un filtro a la entrada de ésta para evitar que se obturen, llenan los depósitos de alimento y trabajan a un caudal de  $1,86 \text{ m}^3/\text{min}$  y las bombas que llenan y vacían el secadero de lodos, que también cuentan con el filtro a la entrada de la bomba, trabajan a un caudal de  $2,15 \text{ m}^3/\text{min}$ . En la Figura 11 se puede observar como es el funcionamiento de la instalación en la estación de depuración del agua residual procedente del hospital.

Por último para tener un control del agua y evitar que sucedan cambios en la composición del agua se cuenta con un sistema automatizado de pH y conductividad. Se coloca un pH metro y conductímetro en el agua del secadero y los datos que vaya leyendo se envían a un ordenador que los irá registrando y comprobando que todo está en los rangos de valores adecuados.



**Figura 12. Diagrama de flujo de la instalación industrial.**

**Tabla 21. Leyenda del diagrama de flujo de la instalación industrial.**

| ICONO   | SIGNIFICADO  |
|---|--|
|    | Bomba hidráulica para impulsar y evacuar agua.   |
|    | Válvula para regular el paso del agua.   |
|    | Caudalímetro y manómetro.  |
|    | Filtro para evitar que se obturen las bombas.  |
|    | Depósito en el que se almacena el agua procedente del hospital (112 m <sup>3</sup> )                 |
|   | Agitador para mantener homogeneizada el agua del depósito.   |
|  | Medidores de nivel del depósito.   |
|  | Inyector de burbujas de aire para homogeneizar el volumen de agua que contiene el secadero de lodos. |

## **2. PRESUPUESTO DE LA PLANTA INDUSTRIAL.**

En este apartado se calcula el coste que se necesita para llevar a cabo la instalación de depuración descrita anteriormente para ello se calculara el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) y el Presupuesto en Base de Licitación.

### **2.1. PRESUPUESTOS PARCIALES.**

#### **2.1.1. Coste de los equipos de instalación.**

*Tabla 22. Listado de precios unitarios correspondientes a los Equipos de instalación.*

| <b>Código</b> | <b>Unidad</b> | <b>Descripción</b>                               | <b>Precio (€)</b> |
|---------------|---------------|--|-------------------|
| MM01          | Ud            | Bomba hidráulica (132000 litros/hora) con filtro | 7200              |
| MM02          | Ud            | Bomba hidráulica (100000 litros/hora) con filtro | 6800              |
| MM03          | Kg            | Carbones activos                                 | 650               |
| MM04          | Ud            | Caudalímetro                                     | 54                |
| MM05          | Ud            | Conductímetro y pH-metro                         | 625               |
| MM06          | Ud            | Depósito 200.000 litros                          | 13273             |
| MM07          | Ud            | Inyectores de aire                               | 22                |
| MM08          | Ud            | Manómetro  | 13                |
| MM09          | Ud            | Temporizadores                                   | 25,2              |
| MM10          | Ud            | Válvula mariposa                                 | 180               |

#### **2.1.2. Coste del material de laboratorio.**

*Tabla 23. Listado de precios unitarios correspondientes al material de laboratorio.*

| <b>Código</b> | <b>Unidad</b> | <b>Descripción</b>                                   | <b>Precio (€)</b> |
|---------------|---------------|--|-------------------|
| MM11          | Ud            | Espectrofotómetro                                    | 414               |
| MM12          | Ud            | Kits para determinar el contenido en N (25 muestras) | 70                |
| MM13          | Ud            | Kits para determinar el contenido en P (25 muestras) | 70                |
| MM14          | Ud            | Kits para determinar la DQO (Alimento) (25 muestras) | 70                |
| MM15          | Ud            | Kits para determinar la DQO (Efluente) (25 muestras) | 70                |
| MM16          | Ud            | Turbidímetro   | 420               |
| MM17          | Ud            | Ordenador de mesa                                    | 1500              |

### 2.1.3. Coste de la mano de obra.

Tabla 24. Listado de precios unitarios de la Mano de Obra.

| Código | Unidad | Descripción           | Precio (€) |
|--------|--------|-----------------------|------------|
| MM18   | h      | Peón ordinario        | 15         |
| MM19   | h      | Jefe de mantenimiento | 20         |
| MM20   | h      | Ingeniero Químico     | 30         |

### 2.1.4. Listado de las unidades de obra.

Tabla 25. Listado de las unidades de Obra.

| Código | Descripción                          |
|--------|--------------------------------------|
| 01.01  | Puesta a punto del sistema           |
| 01.02  | Control de calidad de la instalación |

### 2.1.5. Cuadro de precios descompuestos.

Tabla 26. Cuadro de Precios Descompuestos y Mediciones.

|       | Unidad         | Descripción                              | N     | Precio (€) | Subtotal (€) |
|-------|----------------|--|-------|------------|--------------|
| 01.01 | Ud             | Bomba hidráulica (132000 L/h) con filtro | 8     | 7200       | 57600        |
|       | Ud             | Bomba hidráulica (100000 L/h) con filtro | 3     | 6800       | 20400        |
|       | Kg             | Carbones activos                         | 100,8 | 650        | 65520        |
|       | Ud             | Caudalímetro                             | 11    | 54         | 594          |
|       | Ud             | Conductímetro y pH-metro                 | 1     | 625        | 625          |
|       | Ud             | Depósito 200.000 litros                  | 3     | 13273      | 39819        |
|       | Ud             | Espectrofotómetro                        | 1     | 414        | 414          |
|       | Ud             | Inyectores de aire                       | 60    | 22         | 1320         |
|       | Ud             | Kits para determinar el contenido en N   | 1,24  | 70         | 86,8         |
|       | Ud             | Kits para determinar el contenido en P   | 1,24  | 70         | 86,8         |
|       | Ud             | Kits para determinar la DQO (Alimento)   | 1,24  | 70         | 86,8         |
|       | Ud             | Kits para determinar la DQO (Efluente)   | 1,24  | 70         | 86,8         |
|       | Ud             | Manómetro                                | 11    | 13         | 143          |
|       | Ud             | Ordenador de mesa                        | 1     | 1500       | 1500         |
|       | Ud             | Turbidímetro                             | 1     | 420        | 420          |
|       | Ud             | Temporizadores                           | 11    | 25,2       | 277,2        |
|       | Ud             | Válvula mariposa                         | 12    | 180        | 2160         |
| h     | Peón ordinario | 240                                      | 15    | 3600       |              |



**Tabla 26. Cuadro de Precios Descompuestos y Mediciones (continuación).**

| 01.01            | Unidad | Descripción           | N               | Precio (€) | Subtotal (€) |
|------------------|--------|-----------------------|-----------------|------------|--------------|
|                  | h      | Jefe de mantenimiento | 240             | 20         | 4800         |
| <b>TOTAL (€)</b> |        |                       | <b>199539,4</b> |            |              |
| 01.02            | h      | Ingeniero Químico     | 240             | 30         | 7200         |
| <b>TOTAL (€)</b> |        |                       | <b>7200</b>     |            |              |

## 2.2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.

**Tabla 27. Cálculos para la obtención del Presupuesto de Ejecución Material (PEM).**

|       | Descripción                          | Subtotal (€) | Total (€)       |
|-------|--------------------------------------|--------------|-----------------|
| 01.01 | Puesta a punto del sistema           | 199539,4     | <b>206739,4</b> |
| 01.02 | Control de calidad de la instalación | 7200         |                 |

El Presupuesto de Ejecución Material asciende a un total de **DOSCIENTOS SEIS MIL SETECIENTOS TREINTA Y NUEVE CON CUATRO.**

## 2.3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.

Para calcular el Presupuesto de Ejecución por Contrata se tienen en cuenta los Gastos Generales y el Beneficio Industrial que en este caso será de un 15% y un 6% del PEM respectivamente.

**Tabla 28. Cálculo para el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC).**

| Presupuesto                       | Subtotal (€) | Total (€)       |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|
| Presupuesto de ejecución material | 206739,4     | <b>250154,7</b> |
| 15% Gastos Generales              | 31010,91     |                 |
| 6% Beneficio Industrial           | 12404,364    |                 |

La cifra total del Presupuesto de Ejecución por Contrata es **DOSCIENTOS CINCUENTA MIL CIENTO CINCUENTA Y CUATRO CON SIETE.**

#### **2.4. PRESUPUESTO EN BASE DE LICITACIÓN.**

Por último para calcular el Presupuesto en Base de Licitación se añade el 21% correspondiente al IVA al PEC.

*Tabla 29. Cálculo para el Presupuesto en Base de Licitación.*

| <b>Presupuesto</b>                    | <b>Subtotal (€)</b> | <b>Total (€)</b> |
|---------------------------------------|---------------------|------------------|
| Presupuesto de ejecución por contrata | 250154,674          | <b>302689,2</b>  |
| 21% IVA                               | 52532,4815          |                  |

El presupuesto para llevar a cabo la instalación sería de un total de **TRESCIENTOS DOS MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y NUEVE CON DOS EUROS.**

### **3. BIBLIOGRAFÍA.**

#### **Páginas web consultadas**

<http://www.lasprovincias.es/valencia/20090403/local/marina/hospital-denia-cuenta-camas-200904031556.html>

<http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/viewFile/130/129>



# ***ANEXOS.***



En esta apartado se muestran los pasos que hay que seguir para determinar la concentración de materia orgánica, concentración de Nitrógeno y concentración de Fósforo, mediante los kits específicos mencionados anteriormente.

Los datos de los parámetros mencionados anteriormente, es decir, pH, conductividad, turbidez, concentración de materia orgánica, concentración de nitrógeno, concentración de fósforo, sólidos en suspensión y sólidos volátiles, que se han recogido a lo largo de la experiencia se recogen en las siguientes tablas.

Finalmente también se muestran los datos correspondientes al proceso de depuración llevada a cabo tanto por los microorganismos como por el sistema combinado SBR-CAP.

## ***ANEXO I. PROTOCOLOS A SEGUIR PARA REALIZAR LOS ANÁLISIS DE DQO, CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO Y CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO.***

- **Determinación de la materia orgánica:** Para determinar la concentración de materia orgánica del alimento y del efluente, se emplean los siguientes kits Spectroquant:
  - Kit de 4-40 mg/l: Se añade la muestra de sobrenadante y se calienta a 148°C durante 2 horas. El método de análisis es la oxidación del ácido cromosulfúrico y su determinación como cromato.
  - Kit de 25-1500 mg/l: Se añade la muestra de sobrenadante y se calienta a 148°C durante 2 horas. El método de análisis es la oxidación del ácido cromosulfúrico y su determinación como cromo (III).

El proceso para determinar la concentración es el siguiente: Se toman 3 mL de la muestra y se introduce en el kit reactivo, posteriormente se introduce en el termoreactor a 148°C durante 2 horas, se deja enfriar hasta temperatura ambiente y finalmente se introduce en el espectrofotómetro, que determina la concentración final de materia orgánica.

- **Determinación del contenido en Nitrógeno:** El proceso que se lleva a cabo para determinar la concentración de nitrógeno es el siguiente: Se añade 1 ml de la muestra a analizar en un tubo y se mezcla con 9 ml de agua destilada y las dosis recomendadas de N-1K y N-2K. Posteriormente se introduce este tubo en el termoreactor a 120°C durante 1 hora. Se deja enfriar hasta temperatura ambiente y una vez enfriado se coge 1 mL de esta mezcla y se introduce en el kit reactivo. Finalmente se añade 1 mL del compuesto N-3K y se espera 10 minutos para que se complete la reacción. Una vez ha transcurrido este tiempo, el kit se introduce en el lector y se obtiene el valor de la concentración de nitrógeno de esa muestra.

- **Determinación del contenido en fósforo:** El proceso que se lleva a cabo para la determinación del contenido de fósforo en las diferentes muestras es el siguiente: Se pipetea 1 mL de la muestra y se introduce en el kit reactivo, después se añaden la dosis recomendada de P-1K. Se introduce el kit en el termoreactor a 120° durante 30 minutos. Después de estos 30 minutos se deja enfriar hasta temperatura ambiente y se añade lo necesario de P-2K y P-3K, esperamos 5 minutos para que se complete la reacción e introducimos en el lector.



## ANEXO II. DATOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y SÓLIDOS VOLÁTILES.

**Tabla 30. Evolución de los sólidos en suspensión y sólidos volátiles en el reactor que contiene Eritromicina.**

| Fecha  | Volumen + Filtro (g) | Volumen +Filtro + Torta (g) | Volumen filtrado (mL) | Sólidos en suspensión (g/L) |        | Crisol + Torta (g) | Crisol después mufla (g) | Sólidos volátiles (g/L) |       |
|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------|--------------------|--------------------------|-------------------------|-------|
| <b>ALIMENTO SIN ERITROMICINA. DEPÓSITO 1</b> |                      |                             |                       |                             |        |                    |                          |                         |       |
| 04/02/16                                     | 33,7566              | 33,9002                     | 50                    | 2,872                       | 2,8720 | 37,0555            | 36,9191                  | 2,728                   | 2,728 |
| 05/02/16                                     | 54,0568              | 54,252                      | 50                    | 3,904                       | 3,99   | 35,4266            | 35,2249                  | 4,034                   | 3,847 |
| 05/02/16                                     | 35,062               | 35,2658                     | 50                    | 4,076                       |        | 38,706             | 38,523                   | 3,66                    |       |
| <b>PURGA PARA ELIMINAR EL EXCESO</b>         |                      |                             |                       |                             |        |                    |                          |                         |       |
| 08/02/16                                     | 21,4743              | 21,61                       | 50                    | 2,714                       | 2,665  | 49,9159            | 49,7939                  | 2,440                   | 2,403 |
| 08/02/16                                     | 33,5032              | 33,634                      | 50                    | 2,616                       |        | 44,1483            | 44,0300                  | 2,366                   |       |
| 11/02/16                                     | 54,0638              | 54,2040                     | 50                    | 2,804                       | 2,7540 | 44,3450            | 44,2129                  | 2,642                   | 2,576 |
| 11/02/16                                     | 35,0662              | 35,2014                     | 50                    | 2,704                       |        | 42,8956            | 42,7701                  | 2,510                   |       |
| 15/02/16                                     | 21,4885              | 21,6045                     | 50                    | 2,320                       | 2,3200 | 42,8884            | *                        | *                       | 2,238 |
| 15/02/16                                     | 33,5085              | 33,6245                     | 50                    | 2,320                       |        | 44,3178            | 44,2059                  | 2,238                   |       |
| <b>ALIMENTO CON ERITROMICINA 1.000 ng/L</b>  |                      |                             |                       |                             |        |                    |                          |                         |       |
| 17/02/16                                     | 33,2248              | 33,3336                     | 50                    | 2,176                       | 2,2390 | 35,3480            | 35,2368                  | 2,224                   | 2,205 |
| 17/02/16                                     | 35,0697              | 35,1848                     | 50                    | 2,302                       |        | 37,1975            | 37,0882                  | 2,186                   |       |
| 19/02/16                                     | 46,8393              | 46,9800                     | 50                    | 2,814                       | 2,8010 | 42,9067            | 42,7725                  | 2,684                   | 2,662 |
| 19/02/16                                     | 34,4748              | 34,6142                     | 50                    | 2,788                       |        | 35,3704            | 35,2384                  | 2,640                   |       |
| 22/02/16                                     | 33,0961              | 33,2330                     | 50                    | 2,738                       | 2,7940 | 43,7095            | 43,5814                  | 2,562                   | 2,606 |
| 22/02/16                                     | 26,6928              | 26,8353                     | 50                    | 2,850                       |        | 44,4366            | 44,3041                  | 2,650                   |       |

**Tabla 30. Evolución de los sólidos en suspensión y sólidos volátiles en el reactor que contiene Eritromicina (continuación).**

| Fecha                                 | Volumen + Filtro (g) | Volumen + Filtro + Torta (g) | Volumen filtrado (mL) | Sólidos en suspensión (g/L) | Crisol + Torta (g) | Crisol después mufla (g) | Sólidos volátiles (g/L) |       |       |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|-------|-------|
| ALIMENTO CON ERITROMICINA 10.000 ng/L |                      |                              |                       |                             |                    |                          |                         |       |       |
| 23/02/16                              | 21,4789              | 21,6116                      | 50                    | 2,654                       | 2,607              | 39,2421                  | 39,1141                 | 2,560 | 2,516 |
| 23/02/16                              | 33,5033              | 33,6313                      | 50                    | 2,560                       |                    | 33,3164                  | 33,1928                 | 2,472 |       |
| 25/02/16                              | 35,9176              | 36,0755                      | 50                    | 3,158                       | 3,161              | 43,7371                  | 43,5887                 | 2,968 | 2,961 |
| 25/02/16                              | 35,0625              | 35,2207                      | 50                    | 3,164                       |                    | 37,0673                  | 36,9196                 | 2,954 |       |
| 29/02/16                              | 33,5099              | 33,6543                      | 50                    | 2,888                       | 2,937              | 47,2498                  | 47,1106                 | 2,784 | 2,816 |
| 29/02/16                              | 20,5790              | 20,7283                      | 50                    | 2,986                       |                    | 51,3789                  | 51,2365                 | 2,848 |       |
| ALIMENTO CON ERITROMICINA 20.000 ng/L |                      |                              |                       |                             |                    |                          |                         |       |       |
| 03/03/16                              | 33,1010              | 33,2832                      | 50                    | 3,644                       | 3,590              | 33,3830                  | 33,2066                 | 3,528 | 3,476 |
| 03/03/16                              | 26,5989              | 26,7757                      | 50                    | 3,536                       |                    | 35,4135                  | 35,2423                 | 3,424 |       |
| 07/03/16                              | 32,7888              | 32,9776                      | 50                    | 3,776                       | 3,662              | 38,7065                  | 38,5253                 | 3,624 | 3,506 |
| 07/03/16                              | 33,7971              | 33,9745                      | 50                    | 3,548                       |                    | 37,2603                  | 37,0909                 | 3,388 |       |

**Tabla 31. Evolución de los sólidos en suspensión y sólidos volátiles en el reactor que contiene Triclosan.**

| Fecha                                     | Volumen + Filtro (g) | Volumen + Filtro + Torta (g) | Volumen filtrado (mL) | Sólidos en suspensión (g/L) | Crisol +Torta (g) | Crisol después mufla (g) | Sólidos volátiles (g/L) |       |       |
|---|----------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|-------|-------|
| <b>ALIMENTO SIN TRICLOSAN. DEPÓSITO 2</b> |                      |                              |                       |                             |                   |                          |                         |       |       |
| 04/02/16                                  | 33,0957              | 33,2431                      | 50                    | 2,948                       | 2,9480            | 39,2565                  | 39,1155                 | 2,820 | 2,82  |
| 05/02/16                                  | 49,598               | 49,8303                      | 50                    | 4,646                       | 4,533             | 37,3165                  | 37,0967                 | 4,396 | 4,28  |
| 05/02/16                                  | 35,1667              | 35,3877                      | 50                    | 4,42                        |                   | 33,4131                  | 33,2049                 | 4,164 |       |
| <b>PURGA PARA ELIMINAR EL EXCESO</b>      |                      |                              |                       |                             |                   |                          |                         |       |       |
| 08/02/16                                  | 20,6096              | 20,7468                      | 50                    | 2,744                       | 2,65              | 47,2289                  | 47,1075                 | 2,428 | 2,363 |
| 08/02/16                                  | 27,5657              | 27,6935                      | 50                    | 2,556                       |                   | 43,6965                  | 43,5816                 | 2,298 |       |
| 11/02/16                                  | 49,6046              | 49,7400                      | 50                    | 2,708                       | 2,669             | 49,9285                  | 49,8027                 | 2,516 | 2,471 |
| 11/02/16                                  | 35,1714              | 35,3029                      | 50                    | 2,630                       |                   | 44,1579                  | 44,0366                 | 2,426 |       |
| 15/02/16                                  | 20,6112              | 20,7326                      | 50                    | 2,428                       | 2,470             | 47,2237                  | 47,1072                 | 2,33  | 2,365 |
| 15/02/16                                  | 27,5685              | 27,6941                      | 50                    | 2,512                       |                   | 43,7060                  | 43,5860                 | 2,40  |       |
| <b>ALIMENTO CON TRICLOSAN 1.000 ng/L</b>  |                      |                              |                       |                             |                   |                          |                         |       |       |
| 17/02/16                                  | 36,244               | 36,355                       | 50                    | 2,22                        | 2,393             | 44,1615                  | 44,0352                 | 2,526 | 2,515 |
| 17/02/16                                  | 35,1749              | 35,3032                      | 50                    | 2,566                       |                   | 38,6443                  | 38,5191                 | 2,504 |       |
| 19/02/16                                  | 32,7354              | 32,8777                      | 50                    | 2,846                       | 2,847             | 38,6591                  | 38,5233                 | 2,716 | 2,712 |
| 19/02/16                                  | 48,1999              | 48,3423                      | 50                    | 2,848                       |                   | 47,2469                  | 47,1115                 | 2,708 |       |
| 22/02/16                                  | 32,7952              | 32,9464                      | 50                    | 3,024                       | 2,951             | 37,2271                  | 37,0871                 | 2,8   | 2,739 |
| 22/02/16                                  | 33,8530              | 33,9969                      | 50                    | 2,878                       |                   | 33,4296                  | 33,2957                 | 2,678 |       |

**Tabla 31. Evolución de los sólidos en suspensión y sólidos volátiles en el reactor que contiene Triclosan. (Continuación)**

| Fecha                              | Volumen + Filtro (g) | Volumen + Filtro + Torta (g) | Volumen filtrado (mL) | Sólidos en suspensión (g/L) | Crisol + Torta (g) | Crisol después mufla (g) | Sólidos volátiles (g/L) |       |       |
|------------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|-------|-------|
| ALIMENTO CON TRICLOSAN 10.000 ng/L |                      |                              |                       |                             |                    |                          |                         |       |       |
| 23/02/16                           | 20,6121              | 20,7692                      | 50                    | 3,142                       | 3,061              | 39,2692                  | 39,1204                 | 2,976 | 2,887 |
| 23/02/16                           | 27,5647              | 27,7137                      | 50                    | 2,98                        |                    | 37,0605                  | 36,9206                 | 2,798 |       |
| 25/02/16                           | 36,2269              | 36,3870                      | 50                    | 3,202                       | 3,143              | 37,2438                  | 37,0928                 | 3,020 | 2,953 |
| 25/02/16                           | 35,1707              | 35,3249                      | 50                    | 3,084                       |                    | 39,2634                  | 39,1191                 | 2,886 |       |
| 29/02/16                           | 33,3333              | 33,4642                      | 50                    | 2,618                       | 2,606              | 44,3353                  | 44,2088                 | 2,53  | 2,504 |
| 29/02/16                           | 21,5871              | 21,7168                      | 50                    | 2,594                       |                    | 45,5014                  | 45,3775                 | 2,478 |       |
| ALIMENTO CON TRICLOSAN 20.000 ng/L |                      |                              |                       |                             |                    |                          |                         |       |       |
| 03/03/16                           | 32,8966              | 33,0417                      | 50                    | 2,902                       | 2,901              | 43,0084                  | 42,8673                 | 2,822 | 2,752 |
| 03/03/16                           | 32,733               | 32,878                       | 50                    | 2,9                         |                    | 38,6513                  | 38,5172                 | 2,682 |       |
| 07/03/16                           | 21,1117              | 21,2724                      | 50                    | 3,214                       | 3,184              | 39,2722                  | 39,1171                 | 3,102 | 3,077 |
| 07/03/16                           | 32,9539              | 33,1116                      | 50                    | 3,154                       |                    | 33,3560                  | 33,2034                 | 3,052 |       |

## ANEXO III. DATOS DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS.

**Tabla 32. Evolución de pH, conductividad, turbidez, DQO, N y P en el reactor y tanque de alimento que contiene Eritromicina.**

| Fecha                                  | pH   | conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ) | Turbidez (NTU) | DQO (mg/L) | N (mg/L) | P (mg/L) | Tipo     | Nota            |
|--|------|---|----------------|------------|----------|----------|----------|-----------------|
| ALIMENTO SIN ERITROMICINA. DEPÓSITO 1  |      |   |                |            |          |          |          |                 |
| 04/02/16                               | 7,51 | 1219  | -              | 513        | 63       | 7,8      | Alimento | Primero         |
| 08/02/16                               | 7,39 | 1211  | -              | -          | -        | -        | Alimento | Segundo         |
| 11/02/16                               | 7,68 | 1383  | 48,66          | 363        | 39       | -        | Alimento | Segundo (final) |
| 11/02/16                               | 7,29 | 1354  | 0,17           | 500        | 50       | 8,3      | Alimento | Tercero         |
| ALIMENTO CON ERITROMICINA 1.000 ng/L   |      |   |                |            |          |          |          |                 |
| 16/02/16                               | 7,45 | 1380  | 42,440         | 418        | 59       | 6,9      | Alimento | Primero         |
| 16/02/16                               | 7,57 | 1585  | 0,220          | 41,3       | 52       | 7,3      | Efluente | Primero         |
| 19/02/16                               | 7,54 | 1279  | 24,998         | -          | -        | -        | Alimento | Segundo         |
| 19/02/16                               | 7,46 | 1309  | 0,344          | -          | -        | -        | Efluente | Segundo         |
| 22/02/16                               | 7,55 | 1427  | 19,710         | -          | -        | -        | Alimento | Segundo (final) |
| 22/02/16                               | 7,41 | 1255  | 0,133          | -          | -        | -        | Efluente | Segundo (final) |
| ALIMENTOS CON ERITROMICINA 10.000 ng/L |      |   |                |            |          |          |          |                 |
| 23/02/16                               | 7,52 | 1321  | 37,756         | 468        | 114      | 7,3      | Alimento | Primero         |
| 23/02/16                               | 7,46 | 1296  | 0,273          | 42,2       | 78       | 5,8      | Efluente | Primero         |
| 25/02/16                               | 7,87 | 1427  | 23,760         | -          | -        | -        | Alimento | Segundo         |
| 25/02/16                               | 7,49 | 1323  | 0,258          | -          | -        | -        | Efluente | Segundo         |
| 29/02/16                               | 7,81 | 1535  | 19,920         | -          | -        | -        | Alimento | Segundo (final) |
| 29/02/16                               | 7,64 | 1338  | 0,076          | -          | -        | -        | Efluente | Segundo (final) |
| ALIMENTOS CON ERITROMICINA 20.000 ng/L |      |   |                |            |          |          |          |                 |
| 01/03/16                               | 7,59 | 1283  | 34,451         | 480        | 65       | 7,4      | Alimento | Primero         |
| 01/03/16                               | 7,71 | 1281  | 0,153          | 15         | 43       | 5,3      | Efluente | Primero         |
| 03/03/16                               | 7,72 | 1390  | 16,210         | -          | -        | -        | Alimento | Segundo         |
| 03/03/16                               | 7,62 | 1249  | 0,273          | -          | -        | -        | Efluente | Segundo         |
| 07/03/16                               | 7,43 | 1266  | 0,196          | -          | -        | -        | Efluente | Segundo (final) |

**Tabla 33. Evolución de pH, conductividad, turbidez, DQO, N y P en el reactor y tanque de alimento que contiene Triclosan.**

| Fecha                                      | pH   | conductividad<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ) | Turbidez<br>(NTU) | DQO<br>(mg/L) | N<br>(mg/L) | P<br>(mg/L) | Tipo     | Nota               |
|--|------|--|-------------------|---------------|-------------|-------------|----------|--------------------|
| <b>ALIMENTO SIN TRICLOSAN. DEPÓSITO 2</b>  |      |  |                   |               |             |             |          |                    |
| 04/02/16                                   | 7,46 | 1216   | -                 | 477           | 61          | 7,6         | Alimento | Primero            |
| 08/02/16                                   | 7,39 | 1207   | -                 | -             | -           | -           | Alimento | Segundo            |
| 11/02/16                                   | 8,35 | 1475   | 70,7              | 389           | 4           | -           | Alimento | Segundo<br>(final) |
| 11/02/16                                   | 6,28 | 1348   | 0,356             | 490           | 13          | 8           | Alimento | Tercero            |
| <b>ALIMENTO CON TRICLOSAN 1.000 ng/L</b>   |      |  |                   |               |             |             |          |                    |
| 16/02/16                                   | 7,61 | 1394   | 49,700            | 416           | 58          | 7           | Alimento | Primero            |
| 16/02/16                                   | 7,64 | 1565   | 0,294             | 40,5          | 50          | 6,7         | Efluente | Primero            |
| 19/02/16                                   | 7,57 | 1279   | 31,635            | -             | -           | -           | Alimento | Segundo            |
| 19/02/16                                   | 7,44 | 1302   | 1,465             | -             | -           | -           | Efluente | Segundo            |
| 22/02/16                                   | 7,57 | 1445   | 18,070            | -             | -           | -           | Alimento | Segundo<br>(final) |
| 22/02/16                                   | 7,34 | 1256   | 0,133             | -             | -           | -           | Efluente | Segundo<br>(final) |
| <b>ALIMENTOS CON TRICLOSAN 10.000 ng/L</b> |      |  |                   |               |             |             |          |                    |
| 23/02/16                                   | 7,61 | 1322   | 40,629            | 421           | 109         | 7           | Alimento | Primero            |
| 23/02/16                                   | 6,98 | 1299   | 0,205             | 35,2          | 75          | 5,8         | Efluente | Primero            |
| 25/02/16                                   | 8,12 | 1503   | 22,480            | -             | -           | -           | Alimento | Segundo            |
| 25/02/16                                   | 7,49 | 1329   | 0,172             | -             | -           | -           | Efluente | Segundo            |
| 29/02/16                                   | 7,88 | 1530   | 21,200            | -             | -           | -           | Alimento | Segundo<br>(final) |
| 29/02/16                                   | 7,53 | 1333   | 0,153             | -             | -           | -           | Efluente | Segundo<br>(final) |
| <b>ALIMENTOS CON TRICLOSAN 20.000 ng/L</b> |      |  |                   |               |             |             |          |                    |
| 01/03/16                                   | 7,52 | 1292   | 30,298            | 472           | 66          | 7,2         | Alimento | Primero            |
| 01/03/16                                   | 7,62 | 1289   | 0,307             | 16,1          | 46          | 5,4         | Efluente | Primero            |
| 03/03/16                                   | 7,72 | 1394   | 14,700            | -             | -           | -           | Alimento | Segundo            |
| 03/03/16                                   | 7,59 | 1237   | 2,872             | -             | -           | -           | Efluente | Segundo            |
| 07/03/16                                   | 7,47 | 1252   | 0,294             | -             | -           | -           | Efluente | Segundo<br>(final) |

## ANEXO IV. DATOS DE LOS GRADOS DE ELIMINACIÓN.

**Tabla 34. Porcentaje de eliminación de la Eritromicina con y sin Carbón activo.**

| ERITROMICINA                      |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Muestra                           | Grado de eliminación (%) |
| 1.000 ng/L                        |                          |
| 16/02/2016                        | 24,79                    |
| 19/02/2016                        | 26,87                    |
| 22/02/2016                        | 25,94                    |
| 10.000 ng/L                       |                          |
| 23/02/2016                        | 52,01                    |
| 25/02/2016                        | 40,91                    |
| 29/02/2016                        | 44,86                    |
| 20.000 ng/L                       |                          |
| 1/03/2016                         | 32,84                    |
| 3/03/2016                         | 27,09                    |
| 7/03/2016                         | 31,58                    |
| 1.000 ng/L (carbón activo CCP-80) |                          |
| 10/03/2016                        | 34,24                    |
| 11/03/2016                        | 44,14                    |

**Tabla 35. Porcentaje de eliminación del Triclosan.**

| TRICLOSAN   |                          |
|-------------|--------------------------|
| Muestra     | Grado de eliminación (%) |
| 1.000 ng/L  |                          |
| 16/02/2016  | 92,85                    |
| 19/02/2016  | 90,35                    |
| 22/02/2016  | 91,64                    |
| 10.000 ng/L |                          |
| 23/02/2016  | 91,93                    |
| 25/02/2016  | 90,75                    |
| 29/02/2016  | 93,98                    |
| 20.000 ng/L |                          |
| 1/03/2016   | 94,13                    |
| 3/03/2016   | 93,40                    |
| 7/03/2016   | 93,84                    |