

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**CAMPUS D'ALCOI**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**“Estudio y demostración industrial de la eliminación de fósforo en  
aguas residuales mediante el desarrollo de un coagulante de  
origen natural”**

**Autora:**

Nicole Isabel Bravo Játiva

**Dirigido por:**

Dr. Vicent Fombuena Borràs

**Diciembre 2020**



# RESUMEN

En el presente TFG se documenta el análisis de la implementación de un coagulante natural a diferentes estaciones depuradoras de agua urbana e industrial, comprobando la eficacia y rendimiento frente al uso tradicional del coagulante inorgánico, cloruro férrico.

El objetivo principal es la eliminación de fósforo total que se vierte al río mediante la adición del producto en cuestión durante el tratamiento secundario de la EDAR. Y, además, en el caso específico de aporte de agua industrial a la planta, el procedimiento de trabajo se lleva a cabo en el tratamiento físico-químico del proceso para eliminar el cromo.

En fases previas, la empresa principal de este estudio desarrolló el coagulante natural a partir de polímeros extraídos de la corteza de la acacia negra (acacia mearnsii de Wild).

Inicialmente, el trabajo recaerá a nivel de laboratorio donde se llevará a cabo una toma de muestras a lo largo de un cierto periodo de tiempo y cada día se realizarán ensayos Jar-Test (test de jarras). De esta forma, se podrá optimizar la cantidad aproximada de coagulante necesario, además de comparar los resultados ante el uso de cloruro férrico, el coagulante natural o ambos a la vez, en diferentes cantidades.

Posteriormente, a nivel de planta, se procederá a la dosificación del nuevo coagulante de manera progresiva, reduciendo el coagulante inorgánico, hasta llegar a dosificar únicamente el coagulante natural.

El estudio tendrá lugar en cuatro depuradoras, pero se elegirán dos de ellas para la presentación de los resultados. Se tomarán, diariamente, diversos parámetros analíticos y se estudiarán los cambios sufridos.

Palabras Clave:

Coagulante Natural, Tratamiento Secundario, Fósforo, EDAR Ontinyent-Agullent, Viabilidad.

# **SUMMARY**

This TFG presents the analysis of the implementation of a natural coagulant to different urban and industrial wastewater treatment plants, verifying the efficacy and yield against the traditional use of the inorganic coagulant, ferric chloride.

The main objective is the elimination of total phosphorus that is discharged into the river by the addition of the product concerned during the secondary treatment of the WWTP. Furthermore, in the specific case of industrial water supply to the plant, the working procedure is carried out in the physical-chemical treatment of the process to remove chromium.

In previous phases, the main company of this study developed the natural coagulant from polymers extracted from the black acacia bark (*Wild mearnsii* acacia).

Initially, the work will be carried out at the laboratory level where samples will be taken over a certain period of time and each day Jar-Test will be carried out. In this way, it will be possible to optimize the approximate amount of coagulant needed, in addition to comparing the results with the use of ferric chloride, natural coagulant or both at the same time, in different amounts.

Subsequently, at the plant level, the new coagulant will be progressively dosed, reducing the inorganic coagulant, until only the natural coagulant is dosed.

The study will take place in four treatment plants, but two of them will be chosen for the presentation of the results. Various analytical parameters will be taken daily and the changes will be studied.

Key Words:

Natural Coagulant, Secondary Treatment, Phosphorus, Ontinyent-Agullent WWTP, Viability.

# RESUM

En el present TFG es documenta l'anàlisi de la implementació d'un coagulant natural a diferents estacions depuradores d'aigua urbana i industrial, comprovant l'eficàcia i rendiment en detriment de l'ús tradicional del coagulant inorgànic, clorur fèrric.

L'objectiu principal és l'eliminació de fòsfor total que s'aboca al riu mitjançant l'addició del producte en qüestió durant el tractament secundari de l' EDAR. I, a més, en el cas específic d'aportació d'aigua industrial a la planta, el procediment de treball es duu a terme en el tractament físic-químic del procés per a eliminar el crom.

En fases prèvies, l'empresa principal d'aquest estudi va desenvolupar el coagulant natural a partir de polímers extrets de l'escorça de l'acàcia negra (acàcia mearnsii de Wild).

Inicialment, el treball recaurà a nivell de laboratori on es durà a terme una presa de mostres al llarg d'un cert període de temps i cada dia es realitzaran assajos Jar-Test (test de pitxers). D'aquesta forma, es podrà optimitzar la quantitat aproximada de coagulant necessari, a més de comparar els resultats davant l'ús de clorur fèrric, el coagulant natural o tots dos alhora, en diferents quantitats.

Posteriorment, a nivell de planta, es procedirà a la dosificació del nou coagulant de manera progressiva, reduint el coagulant inorgànic, fins a arribar a dosificar únicament el coagulant natural.

L'estudi tindrà lloc en quatre depuradores, però es triaran dues d'elles per a la presentació dels resultats. Es prendran, diàriament, diversos paràmetres analítics i s'estudiaran els canvis patits.

Paraules Clau:

Coagulant Natural, Tractament Secundari, Fòsfor, EDAR Ontinyent-Agullent, Viabilitat.



# Tabla de Contenidos

RESUMEN .....	3
SUMMARY .....	4
RESUM.....	5
LISTADO DE FIGURAS .....	12
LISTADO DE GRÁFICOS .....	13
LISTADO DE TABLAS.....	14
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>I.2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>18</b>
I.2.1 Contexto .....	18
I.2.2. Contaminantes en aguas residuales. ....	22
I.2.3. Componentes residuales específicos. ....	23
<i>I.2.3.1. Fósforo.....</i>	<i>23</i>
<i>I.2.3.2. Cromo.....</i>	<i>26</i>
I.2.4. Coagulación - Floculación.....	27
<i>I.2.4.1. Coagulantes.....</i>	<i>29</i>
<i>I.2.4.2. Eliminación química de fósforo. ....</i>	<i>30</i>
<i>I.2.4.3. Eliminación físico-química de cromo. ....</i>	<i>31</i>
I.2.5. EDAR. ....	32
<i>I.2.5.1. Tratamientos de depuración de aguas residuales. ....</i>	<i>33</i>
<i>I.2.5.2. EDAR Ontinyent – Agullent. ....</i>	<i>35</i>
<i>I.2.5.3. EDAR Canals – L’Alcúdia de Crespins.....</i>	<i>36</i>
<b>I.3. MARCO LEGISLATIVO .....</b>	<b>38</b>
I.3.1. Legislación Europea.....	38

I.3.1.1. Directiva 91/271/CEE del Consejo. ....	38
I.3.1.2. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. ....	39
I.3.2. Legislación Estatal.....	39
I.3.2.1. Real Decreto 509/1996.....	39
I.3.2.2 Real Decreto 2116/1998.....	40
I.3.2. Legislación Autonómica.....	40
I.3.2.1. Ley 2/1992.....	41
<b>I.4. MARCO DEL DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>42</b>
I.4.1. SERVYECO. ....	42
I.4.2. Programa LIFE.....	43
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>46</b>
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	48
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES. ....	48
<b>III. DESARROLLO PROYECTO.....</b>	<b>50</b>
III.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	52
III.1.1. Acciones implicadas.....	52
III.1.2. Material y reactivos. ....	53
III.1.2.1 Coagulante modificado extraído de la corteza de la acacia negra. ....	53
III.1.3. Parámetros a determinar. ....	55
III.1.4 Determinaciones. ....	55
III.2. PROCEDIMIENTO.....	56
III.2.1. EDAR Ontinyent-Agullent.....	56
III.2.2. EDAR Canals-L'Alcúdia de Crespins.....	60
III.2.2.1 Etapas referentes al fósforo. ....	60
III.2.2.2. Etapas referentes al cromo. ....	61

<b>III.3. RESULTADOS</b> .....	<b>65</b>
III.3.1. EDAR Ontinyent-Agullent.....	65
III.3.1.1 A nivel de laboratorio. ....	65
III.3.1.2 A nivel industrial. ....	67
III.3.2. EDAR Canals-L'Alcúdia de Crespins.....	72
III.3.2.1. A nivel de laboratorio. ....	72
<b>III.6. ESTUDIO ECONÓMICO.</b> .....	<b>74</b>
III.6.1. Desglose de la subvención europea.....	74
III.6.1.1. Presupuesto de la mano de obra.....	74
III.6.1.2. Presupuesto de los desplazamientos. ....	74
III.6.1.3. Presupuesto de la asistencia externa. ....	75
III.6.1.4. Presupuesto de bienes duraderos. ....	75
III.6.1.5. Presupuesto de bienes consumibles. ....	76
III.6.1.6. Presupuesto destinado a otros gastos. ....	76
III.6.2. Presupuesto comparativo entre el coagulante inorgánico y el natural. .....	77
<b>III.7. CONCLUSIONES.</b> .....	<b>80</b>
<b>IV. APÉNDICES</b> .....	<b>82</b>
<b>IV.1. REFERENCIAS</b> .....	<b>84</b>
<b>IV.2. TABLAS Y GRÁFICOS ADICIONALES</b> .....	<b>90</b>
IV.2.1. Resultados.....	90
IV.2.2. Estudio económico.....	92
<b>IV.3. NORMATIVA</b> .....	<b>93</b>
IV.3.1. Ficha técnica cloruro férrico.....	93
IV.3.2. KIT de medición LCK 349 Fósforo total / Ortofosfato. ....	94
IV.3.3. KIT de medición LCK 313 Cromo total / Cromo (VI). ....	95





# LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Escasez física y/o económica a nivel mundial. ....	19
Figura 2. Usos del agua regenerada en España.....	22
Figura 3. Constituyentes orgánicos habituales en las aguas residuales municipales.....	23
Figura 4. Usos y fuentes del fósforo. ....	24
Figura 5. Proceso convencional de curtición por etapas y sus respectivas emisiones....	27
Figura 6. Adición de productos químicos para la eliminación del fósforo. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	31
Figura 7. Adición de productos químicos para la eliminación de cromo. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	32
Figura 8. Esquema tipo de una EDAR.....	34
Figura 9. Vista aérea de la EDAR de Ontinyent-Agullent (Valencia). ....	36
Figura 10. Vista aérea de la EDAR de Canals-L' Alcúdia de Crespins. (Valencia). ....	37
Figura 11. Diagrama de la metodología a seguir. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	48
Figura 12. Sistema de dosificación EDAR Ontinyent-Agullent.....	59

# **LISTADO DE GRÁFICOS**

<b>Gráfica 1. Calibración de las dosis de coagulantes para la eliminación de fósforo_1. (Elaboración propia).....</b>	<b>66</b>
<b>Gráfica 2. Porcentaje de eliminación de fósforo a diferentes concentraciones. (Elaboración propia).....</b>	<b>67</b>
<b>Gráfica 3. Eliminación de fósforo con las dosis de coagulantes y concentraciones de salida correspondientes a lo largo del tiempo de estudio. (Elaboración propia). .....</b>	<b>68</b>
<b>Gráfica 4. Evolución de la reducción de fósforo con las dosis de coagulantes correspondientes a lo largo del tiempo de estudio. (Elaboración propia).....</b>	<b>69</b>
<b>Gráfica 5. Evolución de la reducción de conductividad con las dosis de coagulantes correspondientes a lo largo del tiempo de estudio. (Elaboración propia). .....</b>	<b>70</b>
<b>Gráfica 6. Valores de cloruros en el efluente de planta con las dosis de coagulantes correspondientes. (Elaboración propia).....</b>	<b>72</b>
<b>Gráfica 7. Valores de salida de cromo mediante el uso convencional del cloruro férrico. (Elaboración propia).....</b>	<b>73</b>
<b>Gráfica 8. Calibración de las dosis de coagulantes para la eliminación de fósforo_2. (Elaboración propia).....</b>	<b>90</b>

# LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Valores límite para un sistema trófico.....	25
Tabla 2. Requisitos de los vertidos procedentes de EDAR.....	38
Tabla 3. Sustancias preferentes y objetivos de calidad.....	63
Tabla 4. Calibración de la dosis de los coagulantes. ( <i>Elaboración propia</i> ).....	65
Tabla 5. Análisis de muestra con dosificación de ECOTAN NW3. ( <i>Elaboración propia</i> ). .....	66
Tabla 6. Resumen del coste de mano de obra. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	74
Tabla 7. Coste por desplazamientos. ( <i>Elaboración propia</i> ).....	75
Tabla 8. Coste por el acondicionamiento de las instalaciones. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	75
Tabla 9. Coste por la adquisición de nuevo equipamiento. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	76
Tabla 10. Coste por adquisición de bienes consumibles. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	76
Tabla 11. Coste asociado a material de seguridad. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	77
Tabla 12. Coste de la acción B frente al coste total ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	77
Tabla 13. Resumen de la validación industrial en la EDAR de Ontinyent. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	78
Tabla 14. Precio estimado de cada coagulante. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	78
Tabla 15. Coste de explotación asociado a cada fase de actuación en el proyecto. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	78
Tabla 16. Coste de explotación real. ( <i>Elaboración propia</i> ). ....	79
Tabla 17. Ensayo a 90, 140 y 200 ppm de ECOTAN NW3. ( <i>Elaboración propia</i> ) ....	90
Tabla 18. Ensayo a 40, 100 y 150 ppm de ECOTAN NW3. ( <i>Elaboración propia</i> ) ....	91
Tabla 19. Especificaciones de los gastos generados por la mano de obra.....	92



# **I. INTRODUCCIÓN**

## **INTRODUCCIÓN**



# **I. Introducción**

---

## **I.2. ANTECEDENTES.**

El presente trabajo tiene como objetivo validar una tecnología innovadora, más eficaz y respetuosa con el medioambiente.

Dado el amplio uso de productos cuya composición básica es el fósforo, se ha visto un considerable aumento de su presencia en las masas de agua. Esto supone una competencia a tratar en las estaciones depuradoras de aguas residuales puesto que, ante unos niveles altos de este componente en el medio, se produce eutrofización; lo cual crea un entorno tóxico y desfavorable para la flora y fauna que habite en el espacio receptor del efluente.

Este fenómeno se produce cuando hay un aporte excesivo de sustancias nutritivas en el medio acuático y, de esta forma, se favorece el crecimiento de materia orgánica a un ritmo acelerado; no dejando atravesar la luz solar a las capas inferiores del ecosistema acuático, lo que se traduce en pérdida de biodiversidad.

Puesto que para la eliminación de dicho componente se utiliza un coagulante inorgánico, de carácter corrosivo y peligroso, en este trabajo se aborda la problemática que esto supone y propone sustituirlo por un coagulante sintetizado a partir de polímeros orgánicos de origen natural.

De esta forma, se comenzará validando el estudio a nivel de laboratorio y, posteriormente, se procederá a la aplicación a escala industrial. Por todo ello, se monitorizará el desarrollo de las fases de implementación del proyecto y se evaluará el impacto técnico, medioambiental y económico de éste.

A continuación, se amplifica la información anterior.

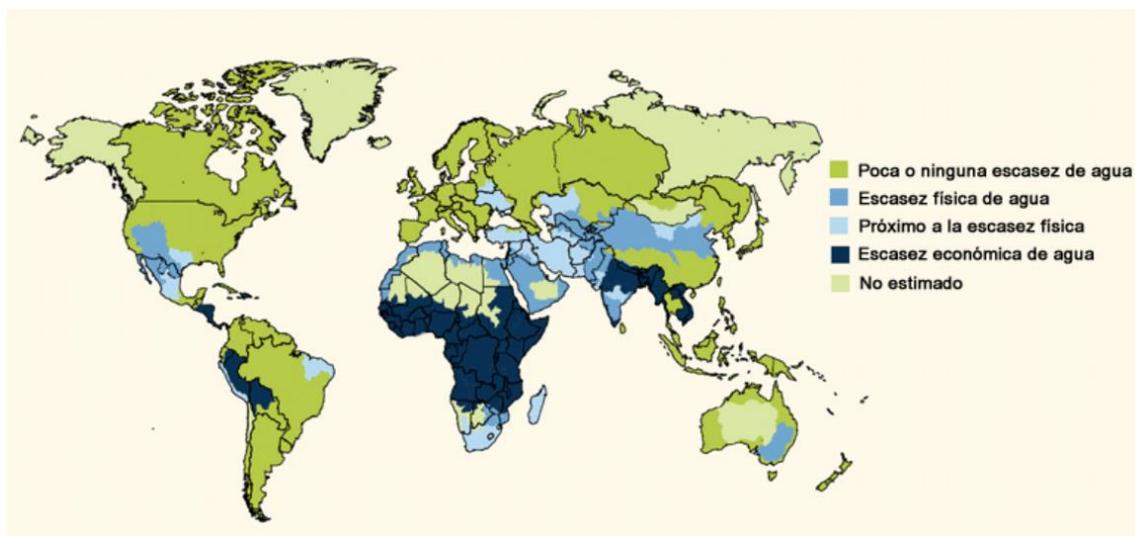
### **I.2.1 Contexto**

El uso del agua desde la década de 1980 ha ido aumentando aproximadamente un 1% por año (AQUASTAT, s.f.). Más de 2.000 millones de personas viven en países

## I. Introducción

---

que sufren escasez de agua, y aproximadamente 4.000 millones de personas la sufren de forma grave durante al menos un mes al año. Dichos niveles irán aumentando a medida que la demanda de agua crezca y se agraven las consecuencias del cambio climático.



**Figura 1. Escasez física y/o económica a nivel mundial.**

*Fuente: Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP 2012), UNESCO [1].*

Dicha escasez se debe fundamentalmente al crecimiento demográfico, a la contaminación tanto de aguas superficiales como subterráneas, siendo incrementada al mismo ritmo que el desarrollo industrial; y al incremento de la demanda [2]. Cuando esta última es mayor que la cantidad disponible durante un periodo determinado, o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad, tiene lugar el denominado estrés hídrico (PNUMA Freshwater in Europe, Glossary).

Este fenómeno ayuda a acelerar el deterioro de los recursos de agua dulce referentes a la cantidad de masas de agua como a la calidad de estas; dando lugar a procesos que conciernen a este trabajo, como la eutrofización.

Se estima que el 36% de la población mundial vive en zonas vulnerables a sufrir esta descompensación hídrica [3].

# I. Introducción

---

Entre 2000 y 2012, el 70% del agua extraída en el mundo se utilizó para la agricultura, mientras que las industrias extrajeron el 19% y los municipios el 11% [4]. Con todo esto, los escenarios que se presentan en el futuro determinan que, mundialmente, aumentarían las extracciones de agua para las industrias y los municipios. Como consecuencia, el cambio climático crearía irresoluciones ante el abastecimiento y distribución de este recurso [5].

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible estableciendo 17 objetivos globales cuya meta es alcanzarlos en un periodo de 15 años desde la redacción de estos. El sexto objetivo tiene como finalidad “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” [6]. Es así, como se extraen los siguientes datos:

- 6 de cada 10 personas no tienen acceso a instalaciones de saneamiento que puedan asegurar una gestión segura.
- Más del 80% de las aguas residuales de origen antropogénico se vierten a cauces receptores sin pasar por ningún tratamiento.
- Aproximadamente, el 70% del agua extraída de sistemas de agua dulce son destinadas al riego.

Si se quiere evitar la crisis que se avecina, se deberán fortalecer los esfuerzos para desvincular el bienestar humano alcanzado por el consumo de recursos, asociados al uso del agua, del crecimiento económico. Por todo ello, se debe establecer una combinación de infraestructuras y productos dotados de un diseño inteligente que fomente una economía circular [7].

El Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo de este año (WWDR 2020), centra su objetivo en términos de adaptación y mitigación del cambio climático mediante la gestión del agua. Es por ello, que ofrecen toda la colaboración a la comunidad del agua y al acto de informar a la sociedad sobre los beneficios de llevar una mejor gestión del agua en la conjugación simultánea de los términos mencionados [8].

Con todo lo anterior, surge la búsqueda de mejoras en el sistema de saneamiento, lo que implica reducir consumos innecesarios de productos y lograr poner en marcha sustancias que no afecten negativamente al medio ambiente.

## I. Introducción

En la actualidad, uno de los coagulantes utilizados en estaciones depuradoras para la eliminación de sustancias presentes en las aguas residuales es el cloruro férrico. A pesar de destacar en características como su buena efectividad en amplios rangos de pH y temperatura, aumenta los valores de conductividad y cloruros del agua depurada [9] y no deja de ser un compuesto tóxico; por lo que, su manipulación constituye un peligro para los operarios de planta [10], además de reducir el tiempo de vida de las instalaciones por su carácter corrosivo.

Por otra parte, su uso aporta metales, hierro en este caso, al fango deshidratado lo que lleva a un encarecimiento añadido en su gestión posterior. En adición, existiendo una fracción de este que retorna al sistema biológico, limita el efecto de remoción en tratamiento aerobio.

También cabe destacar que, en materia de agricultura, en caso de la reutilización del fango generado, se debe tener en cuenta que este posee concentraciones de metales y cloruros que no conforman un uso eficiente y seguro para el ecosistema del suelo.

Los mismos efectos negativos proceden en el caso de la reutilización de agua residual regenerada, cuyo uso ocurre en zonas deficitarias de recursos hídricos, como Murcia, Islas Baleares y la Comunitat Valenciana [11], cuyo porcentaje destinado a la agricultura es casi total, como puede observarse en la Figura 2.



# I. Introducción

Figura 2. Usos del agua regenerada en España.

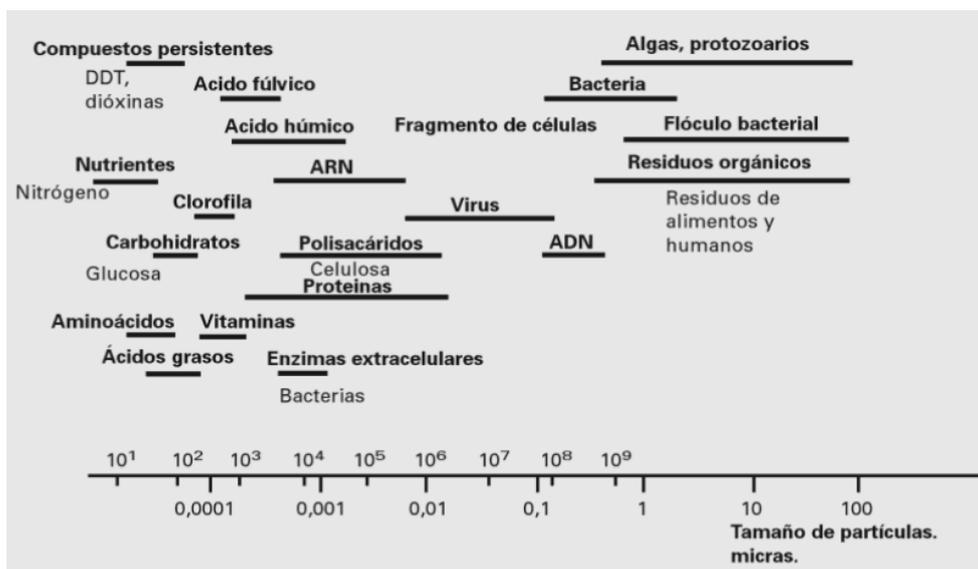
Fuente: INE/Hidrología Sostenible/Locken, 2019 [12].

Teniendo en cuenta esta información, si se lograra dejar de utilizar estos coagulantes inorgánicos, se estima una reducción productiva de 1,27 millones de toneladas de productos peligrosos anualmente, solo a nivel europeo [11].

## I.2.2. Contaminantes en aguas residuales.

Las fuentes de contaminación del agua se dividen en dos grupos. Por una parte, se encuentra la fuente de carácter puntual, cuyo origen directo está asociado a actividades humanas y posee una entrada fácilmente reconocible, lo que se traduce en transformarla en una fuente controlable. Y, por otra parte, se establece la fuente no puntual, la cual tiene una superficie de afección más extensa, lo que hace de ella un medio más difícil de identificar y controlar [13]. En consecuencia, se producen transferencias de contaminantes al medio natural pudiendo poner en peligro el equilibrio biológico de los ecosistemas [14].

La Figura 1 establece los contaminantes habituales presentes en las aguas residuales. Al observar el tamaño particular se determina una gran variabilidad espacial de estos y, resumidamente, se pueden clasificar en sedimentables, supracoloidales, coloidales y disueltos.



# I. Introducción

---

## Figura 3. Constituyentes orgánicos habituales en las aguas residuales municipales.

Fuente: Xavier Elias Castells, 2012. *Reciclaje de Residuos Industriales*. ISBN 978-84-9969-381-1 [15]

Con todo lo anteriormente expuesto, se determina que las alteraciones sufridas por las aguas superficiales, debido a la presencia de estos contaminantes, conllevan a una pérdida de la biodiversidad acuática. Es decir, cuando se vierte el agua tratada al cauce receptor, se pueden ver afectadas las estructuras y funcionalidades de la comunidad biótica. Así pues, los principales efectos de la contaminación sobre los organismos acuáticos se presentan como problemas de conducta, patologías graves y la migración y posterior desaparición [16].

### I.2.3. Componentes residuales específicos.

#### I.2.3.1. Fósforo.

El fósforo constituye la base de un gran número de compuestos químicos y el que se halla en aguas residuales, se puede encontrar en tres formas distintas [17]:

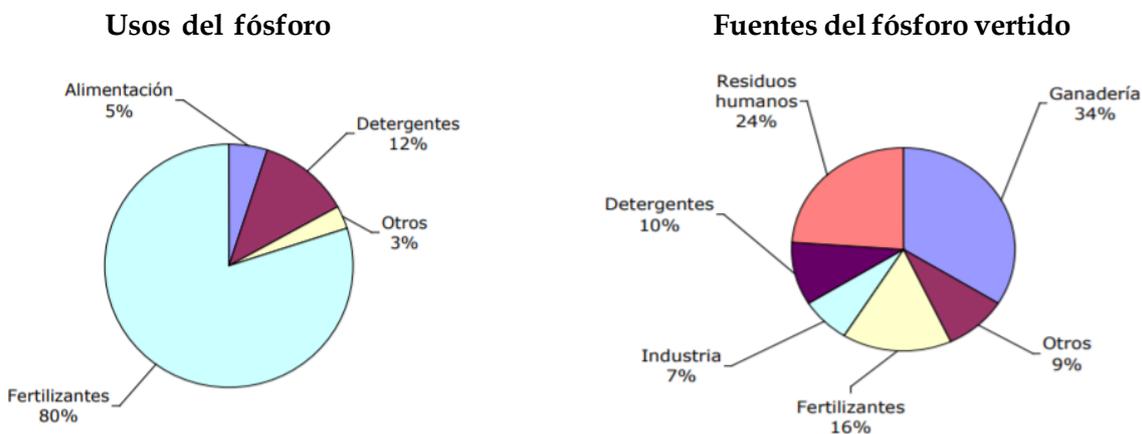
- **Ortofosfato inorgánico soluble:** Hace referencia al ión  $PO_4^{3-}$  y a sus formas protonadas. Posee una concentración usual de 7 mg/l y se le suele denominar fósforo reactivo porque es la única forma de fósforo que reacciona directamente con sistemas colorimétricos de fosfato. Esta forma de fósforo se encuentra en los fertilizantes y se establece como nutriente limitante en aguas superficiales.
- **Polifosfato inorgánico soluble:** Compuestos como el ión  $P_2O_7^{4-}$ , que mediante hidrólisis se transforman en ortofosfatos. Su concentración típica es de 7 mg/l y es usual encontrarlo en los detergentes. Para poder medir esta forma de fósforo se ha de calentar la muestra con un ácido fuerte con el fin de romper las moléculas de fosfatos y que, estas resulten en moléculas de ortofosfatos.
- **Fosfato orgánico soluble y en suspensión:** No tiene una importancia relevante en el tema a tratar puesto que la concentración típica suele ser de 1 mg/l y para medirlos se ha de sufrir un procedimiento similar que al propio de la medición del fósforo total. En este caso, se calienta la muestra mediante la ayuda de un agente oxidante, para, nuevamente, obtener ortofosfatos.

Las fuentes provienen, principalmente, de los residuos ganaderos, desechos humanos, actividades industriales y detergentes sintéticos y productos de limpieza,

# I. Introducción

---

estos dos últimos presentes en forma de polifosfatos; si bien es cierto que su uso se ha reducido a causa de la legislación vigente.



**Figura 4. Usos y fuentes del fósforo.**

*Fuente: Recuperado de Tratamiento de aguas, Máster Ingeniería Ambiental [18].*

Es así como se establece la importancia de gestión de este elemento, el cual, en todas las formas de vida, posee un papel importante en procesos de transferencia energética, ya sea en términos metabólicos, en la fotosíntesis, en la función nerviosa y en la acción muscular [19].

## EUTROFIZACIÓN

Se entiende por eutrofización al aumento de nutrientes en el agua que implica un crecimiento masivo de algas y especies vegetales superiores; obteniendo así alteraciones no deseadas que afectan al equilibrio entre los organismos presentes y, también, la calidad del agua.

En la primera fase del proceso, tal expansión de algas conlleva un enturbiamiento del agua, lo que impide que la luz llegue al fondo del sistema acuático. Esto impide la realización de la fotosíntesis (no se produce oxígeno) y junto con la actividad de los microorganismos descomponedores (que consumen oxígeno) favorecen la aparición de una situación anóxica [15].

Todo ello, afecta negativamente a muchos organismos conduciéndolos a su muerte y, en adición, ocasiona una mala apariencia de las aguas y problemas de olores

# I. Introducción

---

por la descomposición de plantas; además de llegar a obstruir los filtros de las plantas de depuración, entre otros.

Si bien este fenómeno puede darse de forma natural, la actividad humana es capaz de acelerar el proceso. Esto es debido a la relación directa que posee con la entrada de vertidos de aguas residuales con altos valores de nitrógeno y fósforo, principalmente, y la entrada de aguas de escorrentía de los campos fuertemente fertilizados. Además, cabe mencionar que, en agua dulce, el nutriente limitante es el fósforo, mayoritariamente [13].

Entendiendo el proceso como una elevación de nivel trófico a uno superior debido al comentado exceso de nutrientes, en la Tabla 1, se ven establecidos los límites asociados a los cambios tróficos.

**Tabla 1. Valores límite para un sistema trófico.**

Categoría trófica	Fósforo Total ( $\mu\text{g/l}$ ) <sup>(a)</sup>
Ultra-oligotrófico	< 4,0
Oligotrófico	< 10,0
Mesotrófico	10-35
Eutrófico	35-100
Hipertrófico	> 100

Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 1982. *List of Social Indicators, Paris* [20].

(a) *Media anual de la concentración de fósforo total.*

Según los datos arrojados en 2013 por la Comisión Europea, de todos los países de la Unión Europea que, en el periodo de 2008 al 2011, aportaron información sobre sus ríos, se obtuvieron resultados del 16,3%, 6,3%, 35,4% y 20,6%, haciendo referencia a una situación eutrófica, hipertrófica, oligotrófica y ultra-oligotrófica, respectivamente [21].

Por otra parte, en cuanto al estado de los lagos, los porcentajes fueron de un 2,4%, 36,6%, 24,1% y un 12,7% aludiendo a una situación ultra-oligotrófica, oligotrófica, eutrófica e hipertrófica, respectivamente. Se observa que, en general, el agua de los ríos está en mejor posición trófica que la de los lagos.

# I. Introducción

---

España se estableció como el primer país con mayor porcentaje de estaciones ultra-oligotróficas en cuanto a ríos y el segundo en referencia a lagos.

## **1.2.3.2. Cromo.**

Este compuesto está categorizado como uno de los elementos tóxicos formando parte de los metales pesados que sufren procesos de bioacumulación [22]. Esto presenta un riesgo incluso para las personas que consuman productos en los que, por medio de saltos en la cadena trófica, hayan adquirido una concentración de metales pesados anormal, es decir, más elevada.

Por otra parte, este concepto también puede incidir en la problemática de los fangos resultantes puesto que, al acumularse en la biomasa del proceso biológico, no será posible una reutilización segura en agricultura. La toxicidad del cromo depende del estado de valencia que posea, es así como el cromo hexavalente es tóxico en concentraciones muy bajas.

Al analizar la procedencia de los vertidos en el lugar objeto del proyecto, se determina que la presencia de este compuesto es debido al sector industrial peletero de la zona.

El proceso de producción de este sector constituye el acto de transformar las pieles de los animales en cuero y el procedimiento más extendido es el curtido mineral al cromo que se utiliza para producir pieles ligeras y logra un acabado más resistente en detrimento del curtido vegetal, cuyo uso está destinado principalmente para pieles gruesas y su velocidad de actuación es más lenta [23]. No obstante, desde una perspectiva ambiental, aun tratándose de cromo trivalente, no deja de ser tóxico y su utilización debe evitarse [24].

# I. Introducción

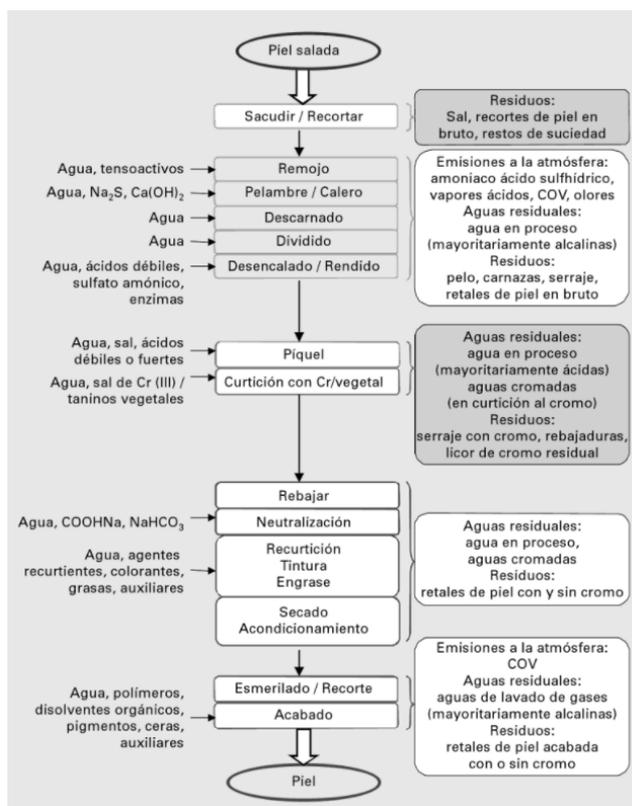


Figura 5. Proceso convencional de curtición por etapas y sus respectivas emisiones.

Fuente: Xavier Elias Castells, 2012. *Reciclaje de Residuos Industriales*. ISBN 978-84-9969-366-8 [24]

Al tratarse de un proceso convencional con un agotamiento de cromo muy bajo, el cromo no fijado se elimina en forma de sustancia tóxica en el efluente. En contra de esta problemática, numerosos estudios concuerdan con la necesidad de las industrias de recuperar dicha sustancia para su reutilización; incentivando así una economía más prolifera y un menor impacto ambiental [25].

## I.2.4. Coagulación - Floculación.

En los últimos años, los términos estandarizados de coagulación y floculación son los establecidos por Hutchison y Healy en 1900, denominando al primero como el proceso por el que los componentes de una sustancia o disolución estable son desestabilizados mediante la superación de las fuerzas que mantienen su estabilidad. Y, al segundo, como el proceso por el que dichas partículas desestabilizadas se unen para formar grandes partículas estables o aglomerados.

# I. Introducción

---

El agua puede contener una serie de impurezas, de las cuales, las partículas coloidales son las que más trabajo presentan a la hora de ser eliminadas, puesto que poseen una capacidad de sedimentación baja. Esto es debido a su pequeño tamaño, aproximadamente un diámetro menor a 1  $\mu\text{m}$ , y a la presencia de carga superficial negativa, lo que impide el acercamiento entre ellas [26], siendo necesaria la adición de sustancias que favorezcan su desestabilización para favorecer su remoción.

La coagulación tiene un tiempo de reacción menor a 1 segundo, pero conseguir una mezcla óptima puede llevar de 30 segundos a 3 minutos. Seguidamente, para que las partículas sedimenten se lleva a cabo la floculación cuyo tiempo de formación de los aglomerados es lento, entre 10 a 30 minutos [27]. La mezcla durante este último periodo temporal deberá ser constante, no obstante, a una velocidad baja para evitar la rotura de los flóculos formados.

Cabe indicar que este proceso no implica la separación ni eliminación de contaminantes, es una adecuación espacial de las partículas para que puedan ser removidas y separadas mediante otras vías, como decantación o flotación [22].

Los agentes coagulantes más utilizados son sales metálicas y, en este caso particular el usado por la Empresa General Valenciana del Agua (EGEVASA), donde se va a realizar la validación del proyecto, cloruro férrico cuyas desventajas han sido mencionadas en el contexto del presente trabajo.

Respecto a los agentes floculantes, se pueden distinguir, según su naturaleza, polímeros o sílice activada. Los primeros son los más habituales y de ellos, los catiónicos se usan de manera más extensa porque los coloides naturales son aniónicos.

Sin embargo, el elemento utilizado actualmente en estos procesos en las plantas que nos competen, son coadyuvantes. Se trata de un agente que, añadido en el tratamiento, permite crear grandes flóculos, los cuales conllevan un rápido proceso de sedimentación, elevando así el rendimiento de la actuación.

# I. Introducción

---

Para determinar la dosis óptima de las sustancias implicadas en estos procesos, se realizan test de jarras, pudiendo determinarse una dosis mínima efectiva y competente económicamente.

## **I.2.4.1. Coagulantes.**

Pueden ser clasificado en dos grupos.

### A) Coagulantes inorgánicos

#### 1) Sales de aluminio.

Se distinguen sales simples como sulfato de alúmina, cloruro de aluminio y aluminato sódico; como también sales polimerizadas o prehidrolizadas como cloruro de polialuminio y sulfato de polialuminio.

#### 2) Sales de hierro.

Se distinguen sales simples como sulfato férrico, sulfato ferroso y cloruro férrico, así como algunas polimerizadas como sulfato poliférrico. Como ya se ha establecido, el cloruro férrico será el otro reactivo principal de este estudio, ayudando a establecer comparaciones analíticas con el fin de verificar la eficiencia del nuevo coagulante.

#### 3) Cal.

### B) Coagulantes orgánicos

Estos también se clasifican, principalmente, en dos grupos; sin embargo, en este caso, se trata de coagulantes de naturaleza polimérica de elevado peso molecular.

#### 1) Sintéticos.

También denominados polielectrolitos que pueden ser aniónicos, catiónicos o no iónicos.

#### 2) Naturales.

En este subgrupo se encuentran polímeros de origen microbiológico y polímeros de origen natural cuya fuente material proviene de plantas, mayoritariamente.

Es así como se procede a la breve introducción del reactivo objeto de estudio de este proyecto cuyo origen, como se ha mencionado, es vegetal.

# I. Introducción

---

- a. ECOTAN NW3 (acacia mearnsii de Wild): se trata de la síntesis de un nuevo coagulante a partir de las patentes US4558080 y US6955826, con el objetivo principal de eliminar el fósforo en el tratamiento secundario de aguas residuales.

Los reactivos químicos necesarios su fabricación se dividen en tres tipos en función de su estructura química:

- i) La estructura polimérica natural es la estructura química principal, la cual será el lazo de unión para la adición de grupos funcionales específicos, con el fin de que actúe de forma eficaz como un agente coagulante.
- ii) El grupo funcional activo posee carácter orgánico y, mediante su anclaje a la cadena polimérica base, aumenta la densidad de carga positiva de la estructura final.
- iii) Es necesario añadir un aglutinante orgánico soluble en agua para juntar químicamente el grupo funcional activo y la cadena polimérica.

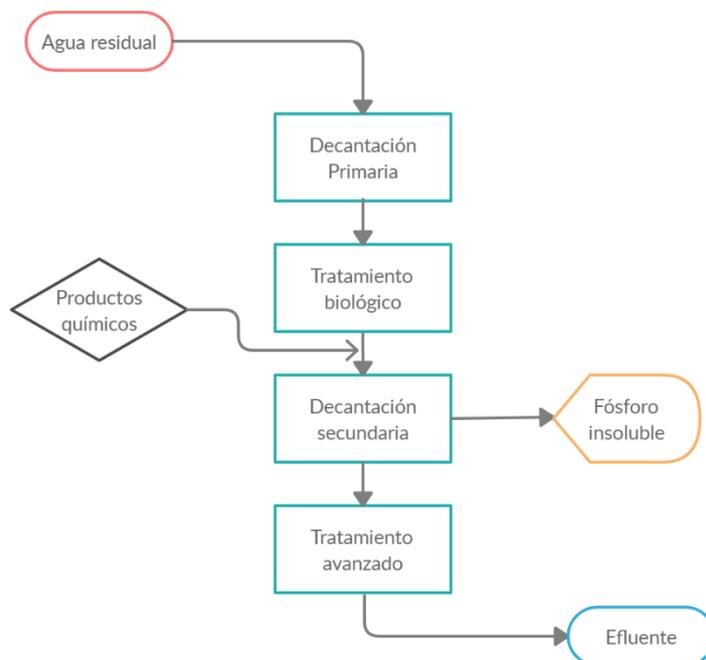
## **I.2.4.2. Eliminación química de fósforo.**

Este proceso supone la formación de precipitación resultante al añadir un agente químico. Los reactivos más utilizados son la cal, el sulfato de alúmina y el cloruro o sulfato férrico, sin embargo, el más extendido es la sal formadora del cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ).

La adición del reactivo puede realizarse en varios puntos estratégicos del tratamiento: durante el tratamiento primario especialmente antes de la decantación (pre-precipitación), en el tanque de aireación para que ocurra una precipitación sincrónica con el tratamiento biológico (precipitación simultánea) o en un canal de reacción aguas abajo del tanque de aireación, es decir, antes de la decantación secundaria (post-precipitación). Tanto en la EDAR de Ontinyent-Agullent como en la de Canals-L'Alcúdia de Crespins, esta dosificación del producto se realiza de manera que ocurre una post-precipitación, cuyo esquema aparece a continuación:

# I. Introducción

---



**Figura 6. Adición de productos químicos para la eliminación del fósforo. (Elaboración propia).**

Fuente: Ramón Sans; Joan de Pablo Ribas, 1989. *Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos / Modificación propia.* [28].

Primeramente, si se tiene polifosfatos o fósforo orgánico, ha de pasar por el tratamiento biológico para transformar estas sustancias en ortofosfatos, y ya en ese estado, se lleva a cabo la precipitación química [28]. La reacción resultante es la formación del fosfato férrico insoluble cuya del medio líquido se lleva a cabo a través de operaciones de separación junto con el fango biológico o por separado.

### **I.2.4.3. Eliminación físico-química de cromo.**

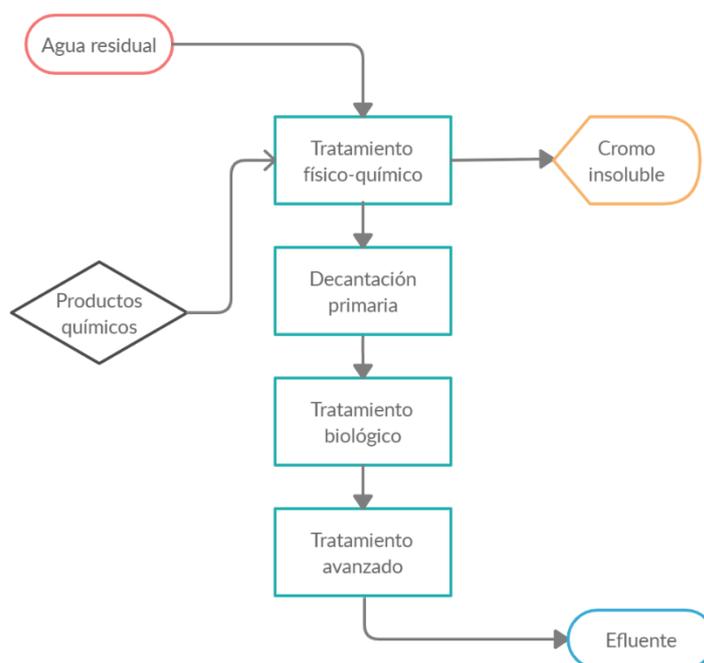
El proceso tiene como finalidad la reducción de la concentración presente de cromo en aguas residuales. Este constituye un proceso primordial, puesto que un contenido elevado de cromo reduce la posibilidad de reutilizar tanto el fango generado como el efluente en agricultura.

El tratamiento de aguas residuales industriales con presencia de este compuesto, entre otros, realizándose mediante una vía biológica presenta inviabilidades debido a la

# I. Introducción

existencia de elementos inhibitorios y/o bio-recalcitrantes [29]. Es así como se halla la necesidad de establecer un proceso de coagulación-floculación, al cual se somete a las aguas de entrada cuya materia orgánica presente, además, también se verá parcialmente reducida en este proceso físico-químico.

Por ello, en este caso, el coagulante también es el cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) y como coadyuvante, el polielectrolito que ya usaban en las depuradoras en cuestión.



**Figura 7. Adición de productos químicos para la eliminación de cromo. (Elaboración propia).**

De esta manera, se elimina el cromo pasando al decantador primario y evitando así, posibles interferencias en el tratamiento biológico posterior.

## I.2.5. EDAR.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) tienen como objetivo reducir la contaminación presente en las aguas de una población o industria sometiéndolas a una serie de tratamientos específicos para, posteriormente, devolverla

# I. Introducción

---

a un cauce receptor como pueda ser un río, un mar o un embalse. De esta forma, se logra obtener un agua de calidad para consumo humano, doméstico o de diversa índole.

Se trata de, constantemente, depurar el influente recibido y evacuar un efluente que cumpla con las normas de calidad de vertidos o que posea una serie de requisitos para su posterior reutilización. Así pues, las modificaciones generales recaen en la reducción de su contenido de sólidos (sedimentables y en suspensión) y su carga orgánica (expresada como demanda bioquímica de oxígeno). Por otra parte, otra finalidad, es variar la cantidad de nitrógeno y fósforo existente en el efluente depurado para evitar problemas de eutrofización, cuyo origen surge del mismo proceso depurativo. Y, finalmente, una gestión adecuada de la línea de los fangos generados [30].

## **1.2.5.1. Tratamientos de depuración de aguas residuales.**

Según el marco legal posteriormente expuesto, las aguas residuales se deben depurar mediante:

- Tratamiento primario de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión en de las corrientes de agua residual con una reducción de, al menos, el 50%.
- Tratamiento secundario que incluya, por lo general, un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso en el que se respeten los valores establecidos por la Directiva 91/271/CEE.
- Tratamiento terciario más complejo que el secundario para la eliminación de patógenos y unos determinados contaminantes para posibilitar la reutilización del agua, que incluya, por lo general, un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso que logre los requisitos establecidos por la Directiva 91/271/CEE, respecto a los efluentes.

Usualmente, se lleva a cabo el proceso de depuración convencional y en el caso de la depuración de aguas residuales industriales, si posee una concentración de contaminantes poco biodegradable suelen emplearse técnicas físico-químicas, mientras que, si poseen una alta carga orgánica, se abordan mediante técnicas biológicas aerobias.

# I. Introducción

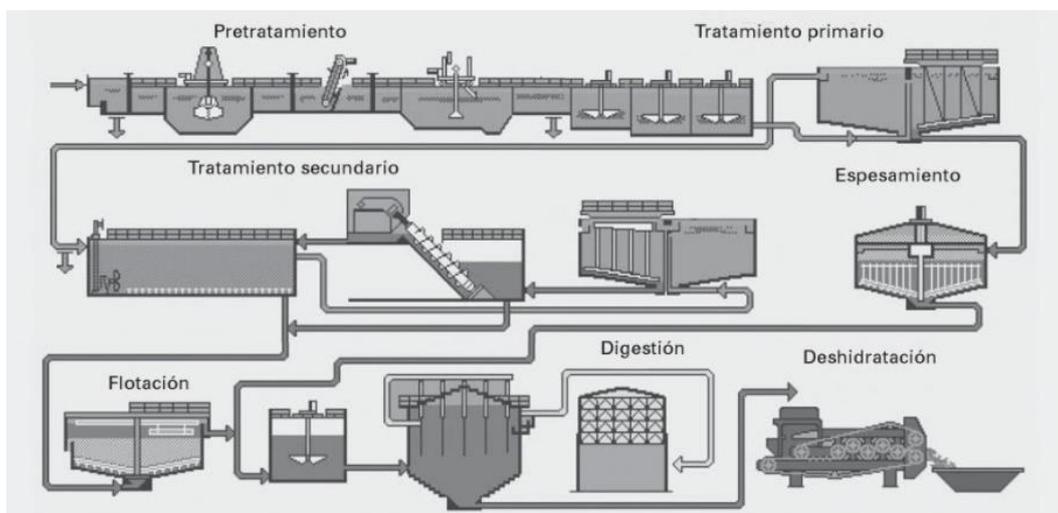


Figura 8. Esquema tipo de una EDAR.

Fuente: Xavier Elias Castells, 2012. *Reciclaje de Residuos Industriales*. ISBN 978-84-9969-381-1 [15].

Según las necesidades de depuración debido al agua de entrada y la calidad dispuesta a alcanzarse de salida, se producen los siguientes procesos:

1. Tamizado-desbastes.
2. Desarenado-desengrasado.
3. Decantación primaria.
4. Tratamiento biológico.
5. Decantación secundaria.
6. Acondicionamiento final del agua depurada.
7. Tratamiento de fangos.

De esta forma, los pretratamientos (1 y 2), sirven para eliminar elementos que pueden ser perjudiciales para la instalación, es decir, arenas y grasas. Seguidamente, en los tratamientos primarios se tratan los sólidos suspendidos y contaminantes asociados mediante la decantación (3), flotación, coagulación-floculación y/o precipitación química, consiguiendo la separación de esas sustancias del agua tratada. Por lo que respecta al tratamiento biológico (4), tiene lugar en el tratamiento secundario, teniendo como finalidad un proceso de oxidación parcial de la materia orgánica no eliminada en el tratamiento anterior. Este último objetivo también puede alcanzarse mediante procesos físico-químicos como la coagulación y floculación para, posteriormente pasar al decantador secundario (5).

# I. Introducción

---

Por último, para posibilitar una reutilización de agua de forma óptima y segura, se deben eliminar componentes contaminantes específicos como los compuestos orgánicos persistentes, cuya estabilidad impide que se eliminen con facilidad [31].

## **1.2.5.2. EDAR Ontinyent - Agullent.**

La EDAR Ontinyent-Agullent se encuentra en la provincia de Valencia y abarca estos dos municipios pertenecientes a la comarca de la Vall d'Albaida con coordenadas UTM 709.040 X; 4.301.262 Y; 315 Z.

Esta planta es explotada por la empresa General Valenciana Del Agua (EGEVASA), cuya creación tuvo lugar en 1988 por la Diputación Provincial de Valencia.

Según los datos de funcionamiento del año 2019, sirven a una población de 59.421 he con un caudal medio diario de 18.116 m<sup>3</sup>/día y el aporte industrial, principalmente textil, es del 40% del agua total de entrada.

La EDAR de Ontinyent-Agullent trata aguas residuales urbanas con componente industrial en un tratamiento en doble etapa muy extendido para el tratamiento de vertidos industriales. Posee dos líneas de actuación, la de tratamiento de agua y la de tratamiento de fangos. La línea de agua pasa por una decantación primaria, un tratamiento biológico y una decantación secundaria. Por su parte, la línea de fangos, consta de un proceso de estabilización mediante digestión anaerobia, un espesador por gravedad y por flotación y una deshidratación centrífuga mecánica.

# I. Introducción

---



**Figura 9. Vista aérea de la EDAR de Ontinyent-Agullent (Valencia).**

*Fuente: EPSAR. Entitat de Sanejament d'Aigües.*

En esta planta, se va a realizar la evaluación de la reducción de fósforo mediante la adición del coagulante natural (ECOTAN NW3) antes de la decantación secundaria.

### **1.2.5.3. EDAR Canals – L'Alcúdia de Crespins.**

La EDAR Canals – L'Alcúdia de Crespins, de igual forma, se encuentra en la provincia de Valencia y abarca estos dos municipios pertenecientes a la comarca de La Costera con coordenadas UTM 710.061 X; 4.315.310 Y; 147Z.

La empresa explotadora de esta planta es Global Omnium Medio Ambiente con más de 125 años de servicio.

Según los datos de funcionamiento del año 2019, sirven a una población de 30.034 he con un caudal medio diario de 5.000 m<sup>3</sup>/día, considerándose el aporte industrial relativo a un 30%.

## I. Introducción

---

La EDAR de Canals-L'Alcúdia de Crespins trata aguas residuales urbanas con componente industrial en un tratamiento físico-químico previo mediante dosificación de coagulantes y floculantes. También posee dos líneas de actuación, la de tratamiento de agua y la de tratamiento de fangos. En este caso, sobre la línea de agua actúa un proceso físico-químico, una decantación primaria, un tratamiento biológico de flujo pistón de 6.112 m<sup>3</sup> y una decantación secundaria. Por su parte, la línea de fangos, consta de un proceso de estabilización mediante digestión aerobia, un espesador por gravedad y una deshidratación por filtros banda.



**Figura 10. Vista aérea de la EDAR de Canals-L'Alcúdia de Crespins. (Valencia).**

*Fuente: EPSAR. Entitat de Sanejament d'Aigües.*

En el caso de esta planta, además de tener en cuenta el canal previo a la decantación secundaria tras el tratamiento biológico, puesto que también tiene asociado un sistema de dosificación del producto en cuestión, se evaluará la reducción de cromo en el tratamiento físico-químico de aguas industriales, previo a la decantación primaria; añadiendo otro punto de dosificación.

# I. Introducción

---

## I.3. MARCO LEGISLATIVO

A continuación, se presentan las normativas reguladoras de valores específicos, si es requerido, en parámetros determinados para garantizar la calidad de aguas superficiales.

### I.3.1. Legislación Europea.

#### I.3.1.1. Directiva 91/271/CEE del Consejo.

La finalidad de esta Directiva es la recogida, el tratamiento y el vertido de las aguas residuales urbanas procedentes de determinados ámbitos industriales, así como las repercusiones negativas asociadas a estos procesos.

Los puntos más importantes determinan que todos los países de la UE deben:

- Garantizar el mantenimiento adecuado de las instalaciones de tratamiento para garantizar el buen funcionamiento de estas.
- En poblaciones con determinado número de aglomeraciones, se deberá disponer de sistemas de colectores para la recogida y manejo de aguas residuales.
- Aplicar un tratamiento secundario a las aguas residuales recogidas.
- Establecer medidas para evitar desbordamientos de las aguas de tormenta en situaciones límite.
- Mantener un control de la eliminación y reutilización del fango obtenido residualmente.

Además, se describen los requisitos generales referentes a los vertidos de aguas residuales urbanas causantes del fenómeno de eutrofización.

**Tabla 2. Requisitos de los vertidos procedentes de EDAR.**

Parámetro <sup>(1)</sup>	Concentración (mg/l)		Porcentaje mínimo de reducción (%)
	De > de 100.000 h-e <sup>(2)</sup>	De 10.000 a 100.000 h-e	
Fósforo total	1	2	80
Nitrógeno total	15	10	70 - 80

# I. Introducción

---

Fuente: Normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo [32] con trasposición al Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre [33].

- (1) Valores de parámetros asociados solo zonas sensibles, considerando a un medio como tal si puede incluirse dentro de la categoría de lagos, lagunas, embalses, estuarios y aguas marítimas que sean eutróficos o que podrían llegar a serlo.
- (2) Poblaciones con ese rango de habitantes equivalentes siendo este un medidor basado en la cantidad de contaminación emitida por persona y día.

## **I.3.1.2. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.**

El objeto final de esta Directiva es tratar al agua como un bien que proteger, defender y gestionarlo de la mejor manera posible. Es así como entra en vigor el 22 de diciembre del 2000 y, con ella, se establece un hito creando una gestión de los recursos hídricos y sus ecosistemas.

De esta forma, al crear este marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, se establecieron los siguientes objetivos [34]:

- Asegurar la protección y mejora del medio y los ecosistemas acuáticos, así como de los ecosistemas terrestres dependientes.
- Promover el uso sostenible del agua en todos sus ámbitos.
- Establecer normas reductoras de la contaminación de las aguas subterráneas.
- Garantizar el abastecimiento de agua superficial o subterránea de buena calidad.

Las estrategias para llevarla a cabo determinan la unión establecida de las zonas marítimas y terrestres compuestas por una o varias cuencas hidrográficas, así como las aguas subterráneas y costeras asociadas a estas, como unidad principal a efectos de gestión.

En España, se produjo la trasposición de la Directiva mediante el artículo 129 de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social que incluye la modificación del texto refundido de la Ley de Aguas.

## **I.3.2. Legislación Estatal.**

### **I.3.2.1. Real Decreto 509/1996**

## **I. Introducción**

---

Este Real Decreto es una modificación del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establece las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas, adopta las medias establecidas por la Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo, cuyo contenido no estaba incluido en leyes anteriores.

Se determina la incorporación de los preceptos dictaminados en dicha Directiva y ordena la eficacia, y posterior evaluación, del cumplimiento de las normas aquí dispuestas [33].

### **I.3.2.2 Real Decreto 2116/1998**

El Real Decreto aquí presente [35], de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Como se ha mencionado anteriormente, el Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas incorporó al ordenamiento interno los preceptos de la Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo, sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas, que solicitaban norma de rango legal.

Asimismo, el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo de desarrollo del citado Real Decreto-Ley, ultimó la incorporación de la Directiva al haber realizado el nombramiento de los requisitos necesarios, tanto de instalaciones como de vertidos, para su cumplimiento adecuado; haciendo hincapié en el cumplimiento del dictamen en referencia a los vertidos de aguas residuales industriales que no reciben un tratamiento depurativo.

Posteriormente, la Comisión Europea consideró que la información reflejada en la Tabla 2, referente a los requisitos para los vertidos procedentes de estaciones de depuración de aguas residuales, generaban problemas de interpretación en algunos países; por lo que, el principal cambio recae en dicha Tabla.

### **I.3.2. Legislación Autonómica.**

# I. Introducción

---

## **I.3.2.1. Ley 2/1992.**

La ley 2/1992, de 26 de marzo, del Gobierno Valenciano, de saneamiento de aguas residuales de la Comunitat Valenciana tiene como objetivos principales [36]:

- El traspaso de competencias en materia de depuración y saneamiento.
- Garantizar la actuación coordinada y eficaz entre las distintas Administraciones Públicas.
- Reutilización de las aguas residuales en la Comunitat Valenciana, siempre que sea posible.
- Creación de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales, EPSAR.

Además, abarca el tema de gestión y explotaciones de las estaciones depuradoras em ámbitos generales y sobre todo de infraestructuras; y establece la recaudación, administración y distribución del canon de saneamiento. Este es un impuesto, fijado anualmente e incluido en el recibo del agua, de carácter ecológico cuyo fin es la incentivación de la mejora del nivel de conservación ambiental de la Comunitat Valenciana.

En lo que respecta a la creación de la EPSAR, es una administración dependiente de la Generalitat a través de la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. Se constituye como la encargada de la construcción, gestión y explotación de la totalidad de las EDAR de la Comunidad.

## **I. Introducción**

---

# **I.4. MARCO DEL DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **I.4.1. SERVYECO.**

La empresa líder de este estudio es SERVYECO – Serviecología y Tratamiento de Aguas, S.L. - ubicada en l'Alcora (Castellón), teniendo como especialidad la gestión integral del agua destinada tanto a un sector industrial como a uno público. Su objetivo principal es optimizar de forma proactiva los circuitos de agua, fomentando la reutilización de los recursos y obteniendo, así, una mejora de la relación coste-beneficio.

Abordan la síntesis de productos químicos, cuentan con un laboratorio de análisis acreditado, ofrecen servicios para la conservación y el mantenimiento de instalaciones, realizan actividades referentes a la higiene ambiental y poseen un departamento de ingeniería, en el cual diseñan y fabrican los equipos necesarios para el tratamiento de aguas. [37]

Por otra parte, disponen de un área de investigación y desarrollo de nuevas soluciones para todo tipo de sectores, con el fin de preservar la salud pública y la protección del medio ambiente. Por ello, la compañía ha participado en numerosos proyectos, desarrollando tecnologías avanzadas y permitiéndole una diversificación a nivel nacional e internacional. A continuación, se nombran algunos de ellos:

1. TEXLEGIO (LIFE07 ENV/E/000794): “Legionelosis: Reducción del riesgo de fuentes medioambientales para la salud pública a través de la biotecnología en el sector textil”.

2. BIOMOMI (LIFE11 ENV/ES/552): “Biomonitorización y sistema de control automático de contaminación microbiológica de circuitos hidráulicos industriales”.

3. e-GREENWATER (ECO/11/304421): “Desinfección electrolítica del sistema de recirculación de agua en invernaderos para reducir el consumo de agua y fertilizantes y obtener mejor seguridad higiénica”.

# I. Introducción

---

4. ADNATUR (LIFE12 ENV/ES/000265): “Demostración de las ventajas del uso de coagulantes naturales en procesos físico-químicos de tratamiento de aguas industriales y urbanas”.

5. BIOMETAL DEMO (FP7 ENV/13/WATER-INNO-DEMO 619101): “Planta de tratamiento demostrativa para la eliminación de metales presentes en aguas residuales mediante bioabsorción”.

## I.4.2. Programa LIFE.

Desde hace 28 años, la Comisión Europea financia ideas relacionadas con la conservación de la naturaleza y el clima, pudiéndose acercar a una opción de sostenibilidad alcanzable para el futuro. A dicho programa se le denomina Programa de Medio Ambiente y Acción por el Clima (LIFE) y, en el periodo de 2014 hasta 2020, se estableció un presupuesto financiero de 3.400 millones de euros. [38]

En el ámbito nacional, la gestión del programa es competencia del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [39]

Teniendo lo anterior en cuenta, se barajó la idoneidad de este proyecto enmarcado en otros programas europeos, pero se concluyó que el referente al LIFE era la opción más viable puesto que se adecuaba al marco reglamentario que la determina. Es así como, según el Reglamento UE N° 1293/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2013, se cumplen una serie de condiciones: [40]

· **Art. 2, apartado b), se trata de un proyecto de demostración.**

Proyectos que ponen en práctica, prueban, evalúan y difunden acciones, metodologías o enfoques que son nuevos o desconocidos en el contexto específico del proyecto y que se podrán aplicar en otro sitio en circunstancias similares.

· **Art. 3, apartado a), contribuye a la transición hacia una economía eficiente en el uso de los recursos.**

# **I. Introducción**

---

Además de fomentar la protección y mejora de la calidad del medio ambiente, así como a frenar e invertir la pérdida de la biodiversidad, incluyendo el apoyo a la red Natura 2000 y abordando la degradación de los sistemas.

· **Art. 3, apartado d), apoyar la aplicación del VII Programa de Medio Ambiente.**

Al perseguir el objetivo del apartado anterior, se abarca la contribución al objetivo prioritario del PMA. Por ello, el Programa LIFE contribuirá al desarrollo sostenible y al logro de los objetivos y metas de la Estrategia Europea 2020 y de las estrategias y planes pertinentes de la Unión en materia de medioambiente y clima.

· **Art. 9, ir en busca de los objetivos del subprograma Medio Ambiente, área prioritaria “Medio Ambiente y Eficiencia en el Uso de los Recursos”.**

· **Art. 10, según objetivo específico establecido en el siguiente apartado, a):**

Promover la concienciación en materia de medio ambiente y promover el conocimiento sobre el desarrollo sostenible y nuevos patrones para el consumo sostenible.

· **Anexo III, prioridad temática a), en su inciso iv), en relación con actividades que garanticen el uso seguro y eficiente de los recursos hídricos.**

De esta forma, tras pasar varias fases de análisis, la solicitud al Programa LIFE fue aprobada y junto con EGEVASA y GLOBAL OMNIUM (SEASA), presentes como beneficiarios asociados de la financiación, se empezó el proyecto.

# **I. Introducción**

---

## **II. OBJETIVOS**

# **OBJETIVOS**



## II. Objetivos

---

### II.1. OBJETIVO GENERAL.

El Objetivo general del proyecto desarrollado bajo el marco de la realización de prácticas de empresa en Servyeco es la optimización y monitorización a escala industrial de un nuevo coagulante de naturaleza polimérica natural, para la demostración industrial de una tecnología innovadora y respetuosa con el entorno con efectos de eliminación de fósforo total y cromo en aguas residuales en depuradoras urbanas e industriales.

### II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

A continuación, se enumeran los objetivos parciales que se pretenden alcanzar con el trabajo:

1. Estudio del comportamiento de aguas industriales a escala de laboratorio ante la adición de diversos coagulantes.
2. Búsqueda de la dosis óptima de ellos.
3. Seguimiento de los caudales diarios de entrada a planta.
4. Monitorización de los valores de entrada y de salida de fósforo.
5. Determinación de la viabilidad técnica del producto.
6. Determinación de la viabilidad económica del proyecto.

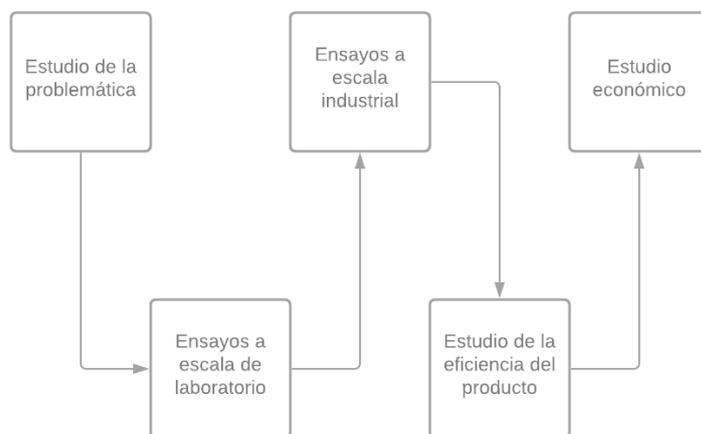


Figura 11. Diagrama de la metodología a seguir. (Elaboración propia).

## **II. Objetivos**

---

### **III. DESARROLLO PROYECTO**

**DESARROLLO  
PROYECTO**



## **III. Desarrollo proyecto**

---

### **III.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO.**

#### **III.1.1. Acciones implicadas.**

La planificación del proyecto LIFE en su totalidad consta de cinco fases de acción, A, B, C, D y E, con los respectivos subgrupos de cada una de ellas.

Las primeras etapas se llevaron a cabo únicamente por la empresa líder en su sede de Alcora, Castellón, siendo estas las alusivas a las acciones preparatorias para la producción industrial del producto y la fase de validación del procedimiento.

Posteriormente, al no contar con personal disponible en los alrededores de las plantas donde se realiza el estudio, con la ayuda de la financiación del proyecto LIFE, se buscó a una persona que pudiese llevar este apartado de acciones a cabo.

Por ello, la acción que compete a este estudio, se inició con la validación industrial en plantas depuradoras de la Comunitat Valenciana con la asociación de trabajo de las empresas explotadoras de cada EDAR; siendo dichas acciones, las siguientes:

**B3.** Validación industrial de la eficiencia de los coagulantes de origen natural en plantas de tratamiento de agua residual industrial.

**B3.1.** Demostración industrial en la instalación 3 (Ontinyent).

**B3.2.** Demostración industrial en la instalación 4 (Canals). Eliminación de fósforo.

**B3.3.** Demostración industrial en la instalación 4 (Canals). Eliminación de cromo.

Los resultados que van a presentarse serán los de Ontinyent-Agullent y Canals.

En esta fase de actuación, por tanto, la actividad se realiza de forma conjunta entre EGEVASA y SERVYECO, esta última aportando el personal que va a llevar a cabo el estudio y la primera, cediendo sus instalaciones.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

Gracias a esta unión, el proceso de verificación de los resultados esperados, se verá facilitado.

#### **III.1.2. Material y reactivos.**

En cuanto al material, se dan uso a los siguientes dispositivos:

- Equipo Jar-Test
- Vasos de precipitados de 1 L
- Cubeta test para fosfato (ortofosfato/fosfato total), de rango 0,05-1,5 mg/L de PO<sub>4</sub>-P y de rango. LCK 349, Hach.
- Cubeta test para fosfato (ortofosfato/fosfato total), de rango 0,5-5 mg/L de PO<sub>4</sub>-P y de rango. LCK 348, Hach.
- Espectrofotómetro DR2800
- Termostato de alta temperatura HT200S
- Pipetas de émbolo variable
- Turbidímetro
- Conductímetro
- Espátula.

Los reactivos utilizados en los ensayos de laboratorio son ambos productos al 5% en peso, los cuales, en el caso de ensayos de laboratorio, se deben realizar todos los días de estudio para que no haya posibilidad de reducción de eficacia.

- Cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) al 5% a nivel de laboratorio y al 40% a nivel de planta.
- ECOTAN NW3 al 5%, a nivel de laboratorio.
- Polielectrolito al 3% preparado por EGEVASA y GLOBAL OMNIUM.

##### **III.1.2.1 Coagulante modificado extraído de la corteza de la acacia negra.**

La tecnología eco-innovadora presentada se centra en el uso de polímeros orgánicos de origen vegetal que, tras una serie de modificaciones químicas, adquieren la capacidad de aumentar su poder de coagulación.

La materia prima es el tanino, procedente de la corteza de la acacia negra, producido principalmente en países de Sudamérica y África. Respecto al proceso de producción, los gases resultantes son, mayoritariamente, vapor de agua y las aguas

### III. Desarrollo proyecto

---

residuales depuradas se volverían a utilizar como materia prima para seguir produciendo el producto, lo que conlleva una gestión económica circular.

El árbol *Acacia mearnsii* es una planta leguminosa caracterizada por ser una especie invasora y tóxica. Sin embargo, se ha estado utilizando como base prima para sintetizar coagulantes modificados mediante el proceso de cationización referente a la reacción de Mannich [41]. No obstante, el proceso de producción está protegido bajo una patente en desarrollo y aplicado, también, a la concesión del registro de sustancias establecido por el Reglamento REACH [42], cuya aprobación permitirá la comercialización del nuevo producto.

Este coagulante, ECOTAN NW3, se presenta como un candidato competente en el mercado de coagulantes inorgánicos por una serie de ventajas respecto a otros:

1. Debido a su fuerte carácter catiónico, presenta una acción coagulante mejorada neutralizando las cargas de las partículas coloidales, atrae a las partículas en suspensión y las aglutina para, posteriormente, sedimentarlas.
2. Posee una eficacia óptima bajo un amplio rango de pH (4,5-9) y no modifica el del medio acuoso sobre el que actúa.
3. Debido a su origen natural, no presenta metales en su estructura, por lo que no sufre hidrólisis en medio acuoso; teniendo una eficiencia de coagulación elevada.
4. Constituye un proceso de rápida floculación y decantación por lo que elimina o reduce el consumo de floculantes.
5. No aumenta la conductividad eléctrica del medio por lo que crearía una protección contra la corrosión de las partes metálicas presentes como infraestructura de planta.
6. No necesita una dilución previa para ser dosificado en planta, además de no ser corrosivo ni tóxico.
7. En materia de fangos, promueve una deshidratación segura de ellos, y una posterior reutilización y revalorización.

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.1.3. Parámetros a determinar.

- Fósforo total y ortofosfato.
- Cromo total y cromo hexavalente.
- Conductividad: se define como la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica debido al transporte de esta por iones en disolución. Es así como al aumentar la concentración de iones en el medio, se produce un aumento de la conductividad. A niveles prácticos, este parámetro está asociado a la concentración de sólidos disueltos totales [43], usando un conductímetro para su medida y expresándose, en este caso, en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Cloruros: el ión cloruro es uno de los iones inorgánicos más frecuentes en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

### III.1.4 Determinaciones.

Estas son las determinaciones a grandes rasgos que se van a realizar, las cuales serán desarrolladas en el apartado de procedimiento:

1. Medición de la dosificación en planta del coagulante en funcionamiento.
2. Calibración de dosis para la eliminación de fósforo tras el tratamiento biológico, tanto en la EDAR de Ontinyent-Agullent, como en la de Canals-L'Alcúdia de Crespins.
3. Ensayos con la dosis óptima obtenida en el punto 1, solo con cloruro férrico.
4. Ensayos con la dosis óptima obtenida en el punto 1, solo con ECOTAN NW3.
5. Ensayos con la dosis óptima obtenida en el punto 1 con ambos coagulantes a diferentes relaciones porcentuales de concentración.
6. Acciones a realizar cuando el producto ya esté implementado en la planta.
7. Calibración de dosis para la eliminación de cromo en el tratamiento físico-químico de la EDAR de Canals-L'Alcúdia de Crespins.
8. Analíticas de los parámetros a determinar.

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.2. PROCEDIMIENTO

A continuación, se presenta el procedimiento experimental a llevar a cabo en ambas plantas de depuración de aguas residuales.

#### III.2.1. EDAR Ontinyent-Agullent.

Inicialmente, para la eliminación de fósforo, se realiza una fase experimental en el laboratorio para evaluar el agua a tratar y optimizar la dosis necesaria de coagulante, tanto el inorgánico como el de origen natural. Este proceso de trabajo se realiza mediante ensayos de jarra "Jar-Test", en caso de que se pueda, ya que, en el laboratorio de esta EDAR, no contaban con un agitador mecánico múltiple. Por ello, los ensayos tuvieron que realizarse de forma manual, intentando de manera continua, aplicar el mismo tiempo de agitación y velocidad a cada ensayo, todo ello, regulado por un cronómetro.

Primeramente, para realizar el punto 1 de las determinaciones y así, conocer la dosis exacta en ese momento de cloruro férrico, se toman medidas éste en el canal aguas abajo posterior al tanque de aireación. Para ello, se debe conocer el caudal exacto que está entrando en la planta, que, recurriendo a la sala de control de procesos, el caudalímetro resulta indicar 683,63 m<sup>3</sup>/h o, lo que es lo mismo, 16.407 m<sup>3</sup>/día.

Rápidamente, se va a la zona de aireación y, con ayuda de una probeta de 1L y un cronómetro, se toma la medida de dosificación en un tiempo de un minuto; siendo el resultado una dosis de 900 ml FeCl<sub>3</sub>/min.

Sabiendo que la densidad de este compuesto es de 1,44g/ml y que 1 día posee 1440 minutos, se determina la dosis de cloruro férrico en ppm:

$$\text{Dosis } FeCl_3(\text{ppm}) = \frac{900 \times 1,44 \times 1440}{16.407} = 114 \frac{g}{m^3} = \frac{mg}{L}$$

Teniendo en cuenta que las dosis en planta suelen ser mayores a la dosis de los ensayos de laboratorio puesto que en la primera influyen muchos más factores, acotamos la primera calibración, referente al punto 2, de la siguiente manera:

### III. Desarrollo proyecto

---

1. Se preparan las disoluciones de los dos reactivos al 5% en peso.
2. Para empezar, se 3,5L de muestra de agua sin tratar (del tanque de aireación) suficientes para el número de ensayos deseados. Se ha de tener en cuenta que las soplantes del tratamiento biológico han de estar en marcha para que el proceso no se vea alterado por una sedimentación experimental pronta debida a la recogida de muestra inicial cuando no hay aireación en el tanque.
3. Se agita bien el recipiente donde está la muestra sin tratar y, rápidamente, se coloca el contenido en un vaso de 500 ml. Se realiza este paso tantas veces como ensayos se quiera realizar en ese momento.
4. Se mide el pH de cada muestra.
5. Seguidamente, con una pipeta se añaden dosis de cloruro férrico en un número determinado de vasos de ensayo y las mismas dosis de ECOTAN NW3 en otros distintos. Además, se deja una muestra de agua sin tratar para, después, analizar tanto analítica como visualmente los resultados comparativos de la decantación. Esta última muestra se denomina muestra del licor mezcla.
6. En cada ensayo, se mantiene el tiempo de agitación a una velocidad constante y durante 2 minutos con la espátula.
7. Se deja decantar durante 30 minutos.
8. Se realiza un análisis de forma visual para determinar el volumen sedimentado, adjudicando un valor 0 a 100, siendo el factor 100 el referente a una sedimentación nula.
9. De la misma manera, se compara la turbidez, en términos de transparencia, que presentan las diferentes muestras, determinando valores entre 0 y 10, siendo el factor 10 el referente a una muestra con un clarificado totalmente transparente.
10. Una vez ya estén definidas las fases de clarificado, se separan y se pasa a medir el parámetro de estudio.
11. Utilizando el kit LCK 349 y el 348, se mide el fósforo total y el ortofosfato. Cuya ficha técnica se encuentra en IV.3.2. KIT de medición LCK 349 Fósforo total / Ortofosfato., situado en los apéndices.
  - 11.1. Para determinar el fósforo total se deben seguir las instrucciones del fabricante de las cubetas, pero con el clarificado de la muestra sin filtrar.

### III. Desarrollo proyecto

---

Posteriormente, se lleva al termostato, en modo 15 min HT, con el fin de que sufra una digestión suave en la que el fósforo se libera como ortofosfato. El resultado puede indicarse como mg Ptotal/L.

11.2. Para determinar el ortofosfato se siguen los mismos pasos excepto el de digestión. El resultado puede indicarse como mg PO<sub>4</sub>-P/l.

12. Finalmente, tras esperar el tiempo requerido para que las cubetas de reacción estén a temperatura ambiente, se llevan al espectrofotómetro para conocer sus valores.

Todas las calibraciones que sean necesarias se realizarán de esta manera, en ambas EDAR.

El procedimiento que se lleva a cabo para realizar el punto 3 y 4 del apartado de determinaciones, cuyo objetivo es recopilar datos de ambos coagulantes por separado, es exactamente igual que el proceso experimental detallado anteriormente. La única diferencia es que se toma la dosis óptima obtenida del calibrado en adelante y, además, habrá que hacer uso de más material y de una garrafa de 5 o 10 litros para coger una muestra de agua puntual suficiente.

Seguidamente, se determina el punto 5, cuya finalidad es conocer el comportamiento de ambos coagulantes en una misma muestra de agua. Para ello, se establecen una serie de relaciones porcentuales, llevando a cabo el mismo procedimiento experimental anterior. Sin embargo, a la hora de adicionar las dosis de coagulante, se realiza un ensayo de 80% de cloruro férrico y 20% de ECOTAN NW3, 60%-40% y, finalmente, 20%-80%.

Este último punto especificado no se pudo realizar con una obtención de datos significativos puesto que, al dosificar ambos productos en grandes dosis en un mismo vaso de ensayo, se observa una interacción entre ambos que resulta dando un producto de mezcla con una coloración negra. Este hecho se debe a la naturaleza polimérica del coagulante de origen natural, puesto que hace posible la formación de un complejo entre grupos hidroxilo y el hierro del cloruro férrico. Por este motivo, en el apartado de resultados se analizará directamente el punto 6, tras el punto 4.

### III. Desarrollo proyecto

---

El punto 6, se establece como la monitorización de la puesta en marcha del producto a nivel de planta:

La **fase 1** inicia el 16-07-19, empezando a recopilar datos de entrada y salida de fósforo, únicamente con la adición de cloruro férrico, así como el caudal diario de agua residual de entrada hasta el 06-08-19.

En principio, antes de iniciar la siguiente fase, se fija un objetivo de 70% de ECOTAN NW3 y un 30% de cloruro férrico, para ir disminuyendo esta relación hasta, pasado aproximadamente un mes, eliminar la totalidad del coagulante inorgánico y monitorizar durante otro mes, los efectos y la validez del coagulante natural.

De esta forma, el 06-08-19 empieza la **fase 2** colocándose un sistema de dosificación al lado del existente que aporta cloruro férrico, y se pone en marcha, también, la adición del producto de estudio. Durante los dos días siguientes, se observa el mismo complejo de reacción que en el laboratorio, motivo por el cual, se establece una nueva distancia prudente de un par de metros entre ambos puntos de dosificación para que esta reacción no interfiera en la eficacia del tratamiento.



Figura 12. Sistema de dosificación EDAR Ontinyent-Agullent.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

Siguiendo esta línea de trabajo, el día 26-09-19, inicia la **fase 3**, pausándose por completo la dosificación de cloruro férrico e iniciándose la validación industrial de la eficacia del coagulante natural y, finalizando el día 25-11-19.

Con todo lo anterior, durante todo el periodo del punto 6, y sus tres fases correspondientes, las tareas a realizar diariamente, son las siguientes:

- 1) Medir los consumos diarios de férrico y ECOTAN NW3, lo cual se lleva a cabo siguiendo los pasos del punto 1 de las determinaciones, detallado anteriormente.
- 2) Obtener los valores de fósforo total y de ortofosfato del agua de entrada (tratamiento biológico en aireación) y de la depurada (salida de planta).
- 3) Durante la fase 3, cuya dosificación industrial es únicamente del coagulante de estudio, recoger muestras de entrada y salida de planta y enviarlas, por medio de un servicio de mensajería, a la sede de la empresa Servyeco.

Simultáneamente, como obtención de datos adicionales, se realiza la determinación del punto 8, es decir, la medida de conductividad y concentración de cloruros de las muestras recogidas.

#### **III.2.2. EDAR Canals-L'Alcúdia de Crespins.**

##### **III.2.2.1 Etapas referentes al fósforo.**

Siguiendo exactamente el mismo método de trabajo que en la EDAR de Ontinyent-Agullent, se establece el mismo procedimiento para los puntos 1, 2, 3 y 4.

De esta manera, se inicia buscando el valor de cloruro férrico se está dosificando ese día en el canal que hay inmediatamente después del tratamiento biológico. En este caso, es remarcable la existencia de dos puntos de dosificación de producto, al contrario que en la planta anterior, donde el coagulante inorgánico solo se adicionaba desde un punto dosificador.

### III. Desarrollo proyecto

---

En la sala de control se distingue el caudal total de entrada y el caudal industrial, cuya diferencia resulta ser el caudal de agua urbana. Se coge el dato de caudal total, ya que todo va a ser tratado biológicamente. Es así como se observa que el caudal total de entrada es de 195 m<sup>3</sup>/h o, lo que es lo mismo, 4.680 m<sup>3</sup>/día.

Rápidamente, se va a la zona de aireación y, con ayuda de una probeta de 500ml y un cronómetro, se toma la medida de dosificación en un minuto; siendo el resultado una dosis de 240 ml FeCl<sub>3</sub>/min.

Sabiendo que la densidad de este compuesto es de 1,44g/ml y que 1 día posee 1440 minutos, se determina la dosis de cloruro férrico en ppm:

$$\text{Dosis } FeCl_3(\text{ppm}) = \frac{240 \times 1,44 \times 1440}{4680} = 106,3 \frac{g}{m^3} = \frac{mg}{L}$$

Con este dato ya se puede acotar un poco la búsqueda de la dosis óptima de coagulante.

El punto novedoso en este apartado es el 7, cuyo objetivo es caracterizar el agua industrial antes y después del tratamiento físico-químico. Por ello, las tareas a realizar, a nivel

Las diferencias entre el estudio en una estación de depuración y otra radican en el cambio de instalación y de parte del material, como el digestor, que el de Canals es más antiguo que el de Ontinyent; sin embargo, tras hacer varios duplicados de la misma muestra en ambos dispositivos, se concluye que el error es mínimo y, por tanto, se pueden iniciar en el laboratorio de Canals los ensayos pertinentes. También, debe destacarse que, para evitar errores experimentales, las pipetas utilizadas son transportadas a este laboratorio para minimizar interferencias experimentales.

#### III.2.2.2. Etapas referentes al cromo.

El punto novedoso en este apartado es el 7, cuyo objetivo es caracterizar el agua industrial antes y después del tratamiento físico-químico. Por ello, las tareas a realizar, inicialmente, a nivel de laboratorio son las siguientes:

### III. Desarrollo proyecto

---

- 1) Medir los consumos diarios de férrico que se dosifican en el tratamiento físico-químico, de la misma manera que se realizan las determinaciones asociadas al punto 1. No obstante, en este caso, en lugar de usar el valor del caudal total de entrada, se toma el valor del caudal de entrada que hace referencia a aguas industriales.
- 2) Medir el cromo trivalente y el cromo hexavalente diariamente a la entrada, la cual hace referencia a la salida del desbaste, cuyo objetivo es remover los sólidos de gran tamaño que hayan podido permanecer tras el tanque de homogenización. Y, a la salida, es decir, a la salida del decantador primario perteneciente a las aguas industriales.
- 3) Realizar, en la medida que el tiempo de acciones lo permita, ensayos Jar-Test con cloruro férrico y ECOTAN NW3. Estos ensayos se realizan de la misma manera que los realizados para el estudio de la eliminación de fósforo, con la única diferencia que, en este caso, sí que hay que adicionar polielectrolito cedido por la empresa explotadora de la EDAR. Este proceso se puede recordar en forma del diagrama de la Figura 13.

Este último punto, no obstante, se va a desglosar, a continuación:

1. Se preparan las disoluciones de los dos reactivos al 5% en peso.
2. Para empezar, se recoge muestra de agua sin tratar (de la salida del desbaste) suficientes para el número de ensayos deseados.
3. Se agita bien el recipiente donde está la muestra sin tratar y, rápidamente, se coloca el contenido en un vaso de 500 ml. Se realiza este paso tantas veces como ensayos se quiera realizar en ese momento.
4. Se mide el pH de cada muestra.
5. Seguidamente, con una pipeta se añaden dosis de cloruro férrico en un número determinado de vasos de ensayo y las mismas dosis de ECOTAN NW3 en otros distintos. Además, se deja una muestra de agua sin tratar para, después, analizar tanto analítica como visualmente los resultados comparativos de la decantación.
6. En cada ensayo, se mantiene el tiempo de agitación a una velocidad constante y durante 2 minutos con la espátula.

### III. Desarrollo proyecto

---

7. Posteriormente, se reduce la velocidad de agitación drásticamente y se añade el polielectrolito, esta disminución evita la rotura de los flóculos.
8. Se deja decantar durante 30 minutos.
9. Se realiza un análisis de forma visual para determinar el volumen sedimentado, adjudicando un valor 0 a 100, siendo el factor 100 el referente a una sedimentación nula.
10. De la misma manera, se compara la turbidez, en términos de transparencia, que presentan las diferentes muestras, determinando valores entre 0 y 10, siendo el factor 10 el referente a una muestra con un clarificado totalmente transparente.
11. Una vez ya estén definidas las fases de clarificado, se separan y se pasa a medir el parámetro de estudio.
12. Utilizando el kit LCK 313, cuya temperatura de almacenamiento es de 2-8°C, se mide el cromo hexavalente y el trivalente, cuya ficha técnica se encuentra en IV.3.3. KIT de medición LCK 313 Cromo total / Cromo (VI)., situado en los apéndices. Es importante que la temperatura de la muestra de agua debe estar entre 15-25°C y el pH entre 3-9, para que los resultados sean válidos.
  - b) Para determinar el cromo total se deben seguir las instrucciones del fabricante de las cubetas, llevándolo al termostato durante 1 hora a 100°C, ya que se trata de un termostato que no posee un programa estándar HCT.
  - c) Para determinar el cromo (VI), se siguen los mismos pasos excepto el de digestión.

Finalmente, tras esperar el tiempo requerido, se llevan al espectrofotómetro para conocer sus valores.

Cabe destacar que, de acuerdo a la legislación europea, el límite exigido a las empresas para vertidos con cromo en las aguas industriales es de un valor de 2 mg Cr/l [44]. Y, por otra parte, mencionar que, aunque esté derogada en la actualidad, la EDAR en cuestión, se rige por el siguiente objetivo de calidad, a la hora de establecer el límite de vertido de salida de planta.

**Tabla 3. Sustancias preferentes y objetivos de calidad.**

Sustancia	Objetivo de calidad en aguas (NCA-MA <sup>(a)</sup> )
-----------	---

### III. Desarrollo proyecto

---

Cromo total disuelto	50
Cromo (VI)	5

Fuente: *Objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes. Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, y se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril [45].*

- (a) *Este parámetro es la norma de calidad ambiental expresada como valor medio anual ( $\mu\text{g/L}$ ). El 90% de las muestras recogidas durante un año, no excederán los valores medios anuales establecidos.*

Los resultados determinaran la eficiencia del coagulante de estudio en la eliminación de fósforo en el tratamiento secundario y cromo en el tratamiento primario de las aguas residuales de origen urbano con componente industrial.

### III. Desarrollo proyecto

---

## III.3. RESULTADOS

A continuación, se exponen los resultados obtenidos para las determinaciones a conseguir.

### III.3.1. EDAR Ontinyent-Agullent.

#### III.3.1.1 A nivel de laboratorio.

Tras varias calibraciones, se presenta la realizada unos días previos al inicio de la puesta en marcha industria, acotando así, el comportamiento del agua en días posteriores:

**Tabla 4. Calibración de la dosis de los coagulantes.** (Elaboración propia).

Productos/ppm	1	2	3	4	5	6	Sin Producto
ECOTAN NW3	60	120	180	-	-	-	-
FeCl <sub>3</sub>	-	-	-	60	120	180	-
Turbidez	8	9	8	9	9	9	7
Tiempo agitación lenta (min)	2'	2'	2'	2'	2'	2'	2'
Volumen fango	70	70	60	50	50	50	90
Fósforo total (mg/L)	<b>1,3</b>	<b>0,855</b>	<b>0,749</b>	<b>2,432</b>	<b>1,01</b>	<b>0,613</b>	<b>3,4</b>
Ortofosfato (mg/L)	0,723	0,647	0,345	0,91	0,56	0,479	1,2

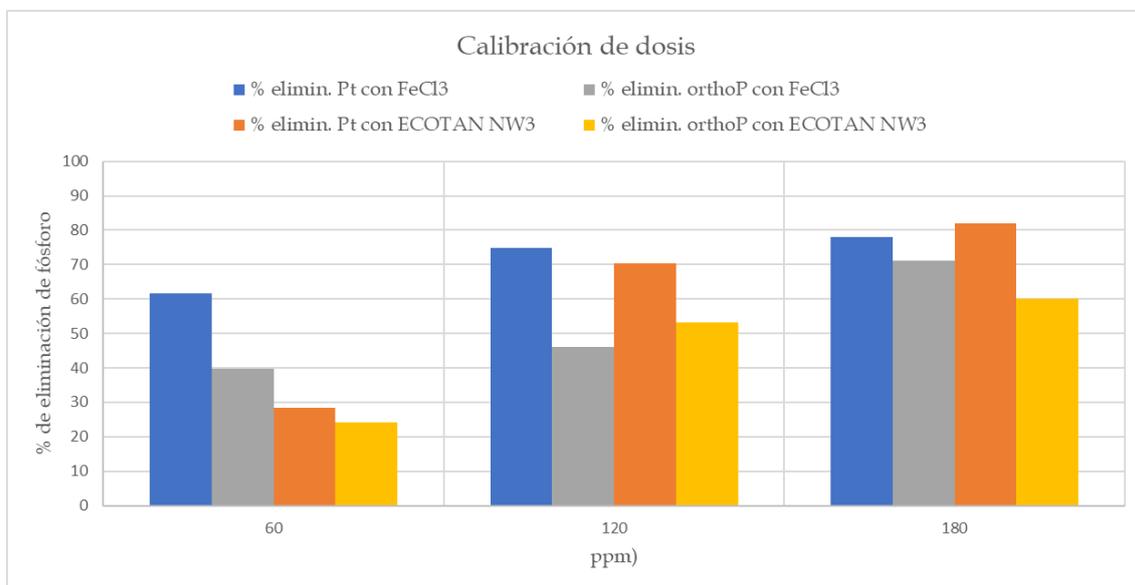
Rendimiento % (Pt)	61,76	74,85	77,97	28,47	70,29	81,97	
Rendimiento % (OrthoP)	39,75	46,08	71,25	24,17	53,33	60,08	

En esta prueba inicial, se determina que, con las dosis reflejadas, los ensayos asociados al ECOTAN NW3, poseen una mejor calidad del clarificado y producen un menor volumen de fango. También se destaca, la poca velocidad de sedimentación del fango de la muestra sin tratar, cosa que se mantiene a lo largo del estudio.

De forma más visual, se puede observar cómo, inicialmente, el cloruro férrico es más eficaz que el coagulante de estudio, ya que, a 60 ppm de ambos productos por separado, uno tiene un porcentaje de eliminación de fósforo del 61,76% y el ECOTAN NW3, uno de 28,47%. No obstante, ya con la dosis de 120 ppm, alcanzan porcentajes de reducción similares y con la dosis más elevada, la de 180 ppm, el coagulante natural

### III. Desarrollo proyecto

reacciona más favorablemente a dicho incremento de dosis final, teniendo un porcentaje de eliminación de un 81,97%; mientras que el referente al cloruro férrico es un 77,97%.



**Gráfica 1. Calibración de las dosis de coagulantes para la eliminación de fósforo\_1.** (Elaboración propia).

Por el contrario, el mayor porcentaje de eliminación de ortofosfatos viene dado por cloruro férrico.

Para el inicio del siguiente ensayo se toma el valor de 90 ppm en adelante para comprobar si se cumple el límite de vertido o, por el contrario, se ha de incrementar la dosis, puesto que, en la calibración a 60 ppm, se superaba el límite de vertido, pero a 120 ppm, sí se respetaba.

En este caso, como muestra la siguiente tabla, se realiza un ensayo con diferentes dosis de coagulante natural. Así es como se determina que no se sobrepasa el límite preestablecido de salida de fósforo con 90 ppm de producto, por lo tanto, es una cantidad óptima y eficiente.

**Tabla 5. Análisis de muestra con dosificación de ECOTAN NW3.** (Elaboración propia).

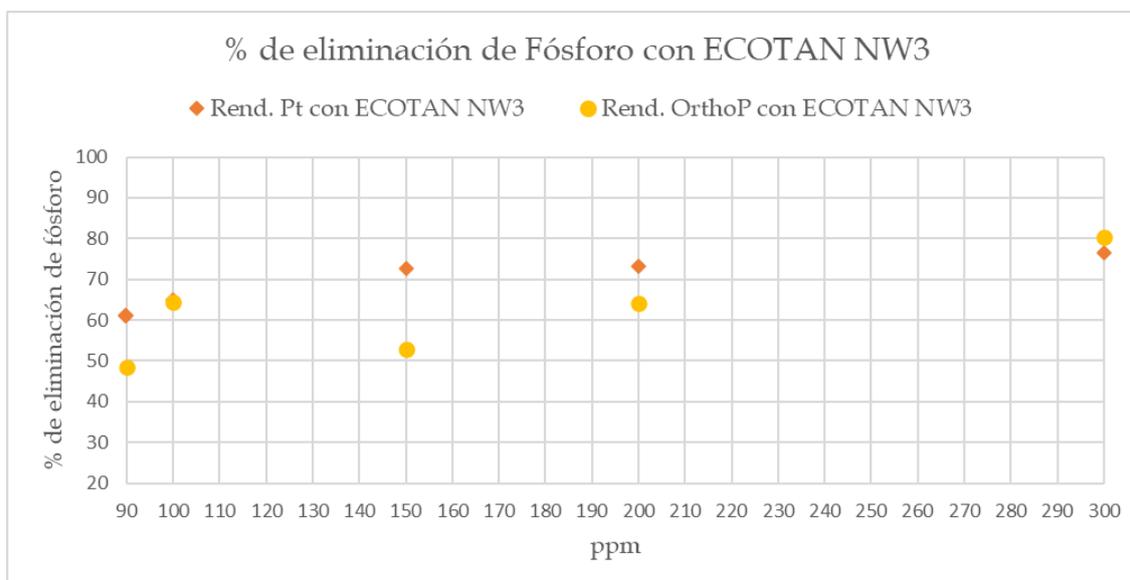
Productos/ppm	1	2	3	4	5	Sin Producto
ECOTAN NW3	90	100	150	200	300	--
Turbidez	7	8	8	9	8	6
Velocidad decantación	--	--	--	--	--	--

### III. Desarrollo proyecto

Velocidad agitación (rpm)	60	60	60	60	60	60
Tiempo agitación lenta (min)	2'	2'	2'	2'	2'	2'
Volumen fango	60	50	60	60	70	80
Fósforo total	<b>0,471</b>	<b>0,423</b>	<b>0,33</b>	<b>0,324</b>	<b>0,284</b>	<b>1,21</b>
Ortofosfato	0,271	0,188	0,249	0,189	0,103	0,527

Rendimiento % (Pt)	61,07	65,04	72,73	73,22	76,53	
Rendimiento % (OrthoP)	48,58	64,33	52,75	64,14	80,46	

Se puede observar cómo, con una dosis de 90 ppm, se tiene un porcentaje de eliminación de 61,07%, lo cual presenta un posible funcionamiento óptimo a nivel de validación en la planta de depuración.

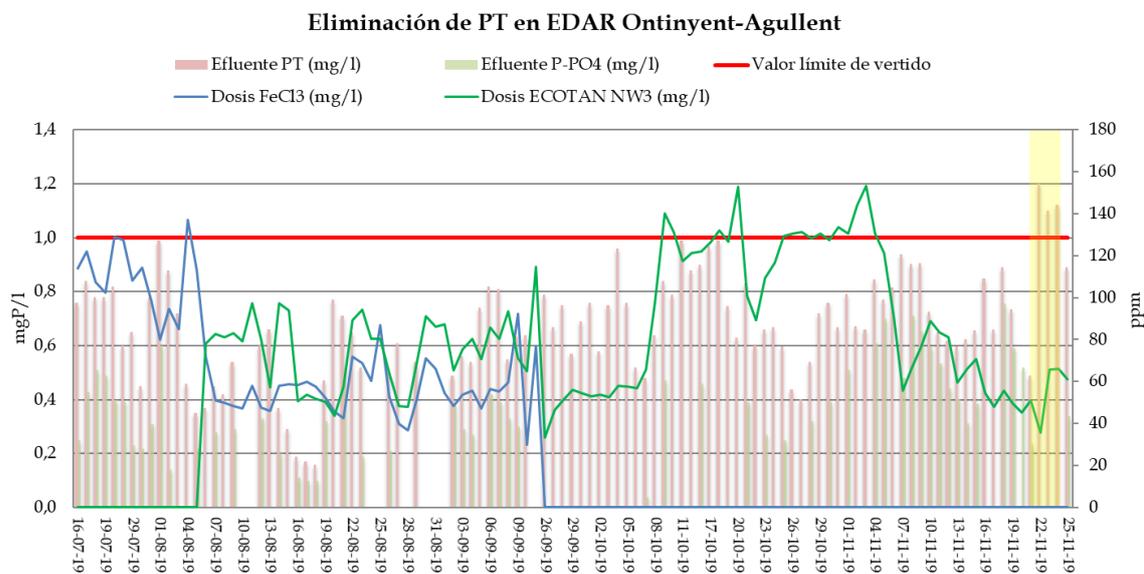


Gráfica 2. Porcentaje de eliminación de fósforo a diferentes concentraciones. (Elaboración propia).

#### III.3.1.2 A nivel industrial.

A continuación, se muestra la gráfica que recopila el seguimiento de las fases descritas en el punto 6 y el referente, también, a la medida de dosis para cada rango de tiempo y su actuación correspondiente.

### III. Desarrollo proyecto



**Gráfica 3. Eliminación de fósforo con las dosis de coagulantes y concentraciones de salida correspondientes a lo largo del tiempo de estudio.** (Elaboración propia).

Como ya se ha mencionado, la **fase 1** abarca el rango de tiempo entre el día 16-07-19 y el día 06-08-19. El valor promedio en ese periodo de tiempo establece en 14.194 m<sup>3</sup>/día y se establece que el valor medio de producto durante ese rango temporal de estudio es de 109 ppm, por lo que se toma este dato como valor inicial aproximado de la dosificación simultánea de ambos coagulantes perteneciente a la fase 2.

En el periodo de tiempo de la fase 2, el caudal promedio es de es de 13.130 m<sup>3</sup>/día, la dosis media de ECOTAN NW3 es 75 ppm y la de cloruro férrico es 57 ppm, estableciendo una relación porcentual de dosificación de 57% de coagulante natural y 43% de coagulante inorgánico.

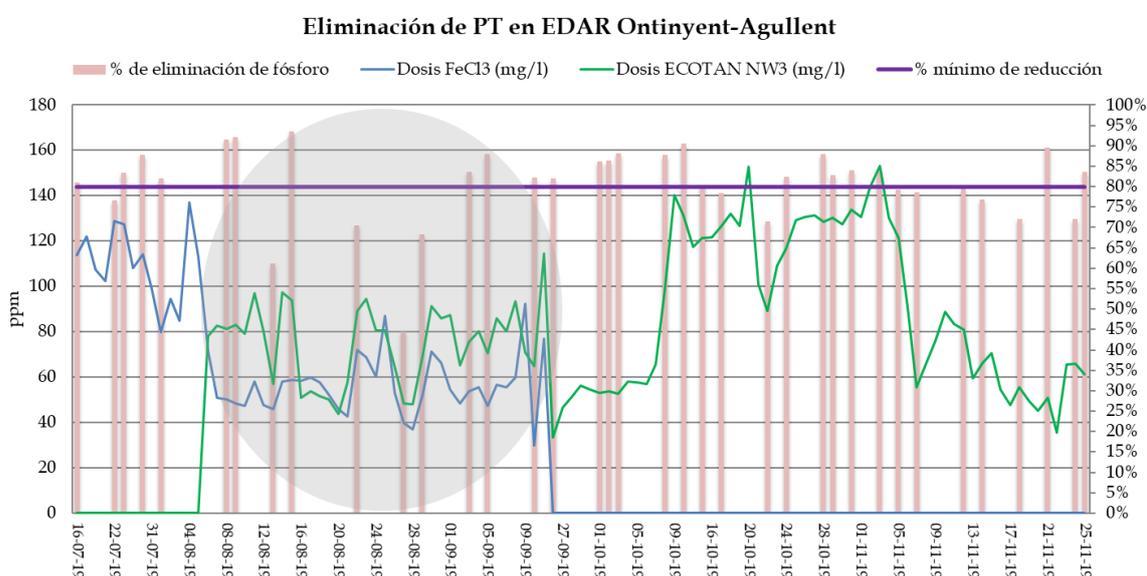
Siguiendo esta línea de trabajo, el día 26-09-19, inicia la **fase 3**, pausándose por completo la dosificación de cloruro férrico e iniciándose la validación industrial de la eficacia del coagulante natural.

Como ya se ha mencionado, esta última fase finaliza el 25-11-19 y se determina que la dosis media del producto objeto de estudio es de 89 ppm asociada a un caudal promedio de agua residual con entrada de 23.107 m<sup>3</sup>/día. Además, se establecen unos resultados satisfactorios puesto que, excepto tres últimos días en los cuales hubo un

### III. Desarrollo proyecto

vertido que excedió los límites legales de fósforo, tal y como se ha señalado en el gráfico con una barra de color amarilla; se cumple la normativa de límite de vertido para la EDAR, cumpliéndose así la normativa dispuesta por la Directiva 91/271/CEE.

A continuación, se representa el porcentaje de eliminación de fósforo total, en el cual, también delimitamos un requisito de la Directiva 91/271/CEE. En este caso, se busca conocer si los días analizados de cada fase, cumplieron el porcentaje mínimo de reducción de fósforo total.



**Gráfica 4. Evolución de la reducción de fósforo con las dosis de coagulantes correspondientes a lo largo del tiempo de estudio. (Elaboración propia).**

De esta manera, señalada la cuestión a analizar en la forma ovalada gris, llama la atención que, a pesar de la cantidad de dosis utilizada en la fase 2, (en el día 11-09-2019 se dosifica un máximo de 191 ppm, lo que implica más que cualquier otro día de las otras fases), el porcentaje de reducción de los niveles de fósforo no supera el mínimo establecido.

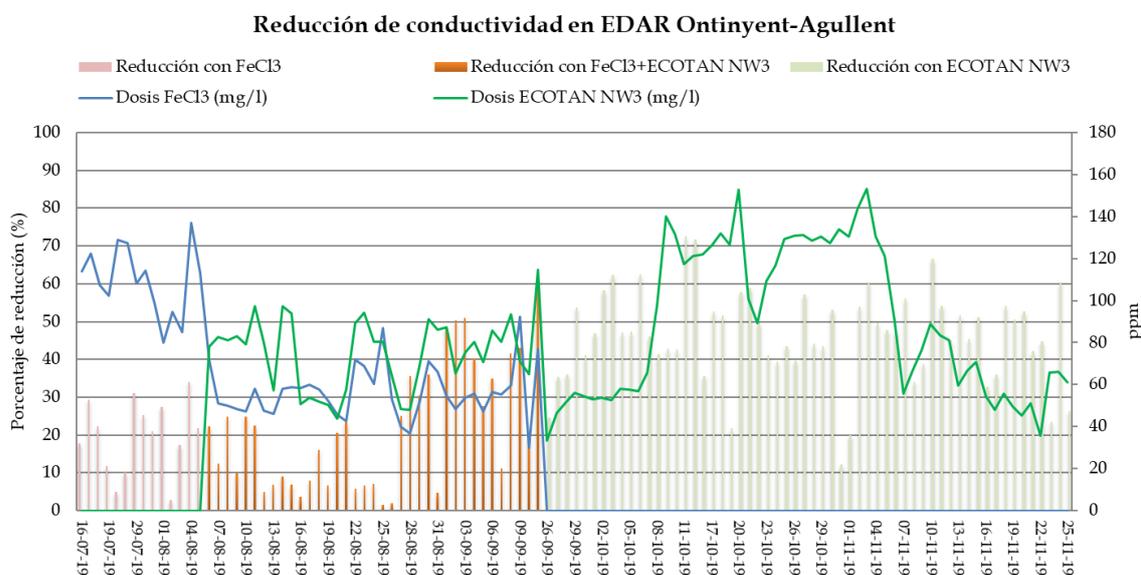
Esto podría deberse a algún tipo de interacción productora de una reducción de la efectividad, que pueda hacer referencia al complejo que se forma entre ambos compuestos cuando no están a una distancia considerable; hecho que puede ser interesante en estudios posteriores.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.3.1.2.1 Conductividad y Cloruros.

Como datos adicionales, se presentan las variaciones de conductividad y presencia de cloruros en las aguas residuales industriales.

Primeramente, se muestra la variación entre los valores de conductividad entre una muestra tomada en el tanque de aireación cuando las soplantes están en marcha, y la muestra del efluente, es decir, agua de salida de planta.



**Gráfica 5. Evolución de la reducción de conductividad con las dosis de coagulantes correspondientes a lo largo del tiempo de estudio. (Elaboración propia).**

Como se observa, la presencia de un coagulante inorgánico como el cloruro férrico, aumenta los valores de conductividad del agua depurada, siendo sinónimo de menor porcentaje de reducción.

De esta manera, se determina que el porcentaje medio de reducción del parámetro de conductividad de las aguas utilizando el coagulante de cloruro férrico es de un 19,79%, con un valor máximo reductivo de 34,08%, seguido de un porcentaje medio de 21,81% que hace referencia al proceso de dosificación de ambos productos cuyo máximo rendimiento de reducción es de 61,02%. Y, finalmente, se obtienen un porcentaje medio de reducción del 46,16% cuando se utiliza el coagulante ECOTAN NW3, cuyo máximo alcanzado es de 72,58% alcanzado el día 11-10-2019.

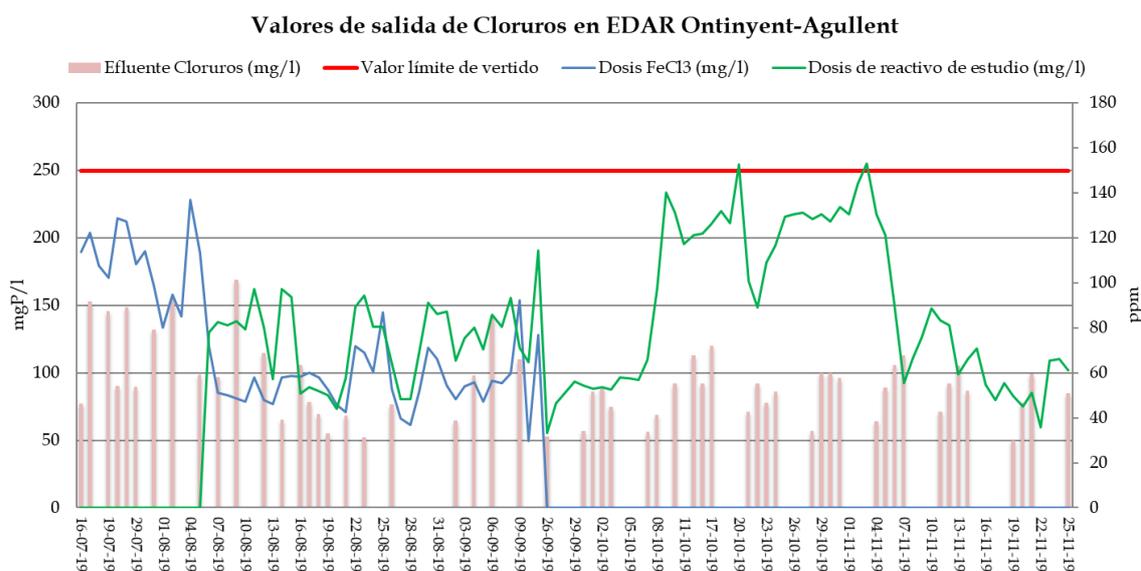
### III. Desarrollo proyecto

Con todo esto, se determina que, en esta última fase referente al uso del coagulante natural, se establece un patrón de reducción de conductividad elevado respecto a las otras fases de trabajo.

Seguidamente, se analiza los valores de cloruros a la salida de planta, ya que, debido a la elevada concentración de sales que llegan a la planta, provenientes principalmente de la actividad industrial, los valores de concentraciones de cloruros suelen ser elevados; más que en cualquier depuradora donde solo se traten aguas residuales domésticas. Además de tener en cuenta el carácter aditivo que puede tener el cloruro férrico sobre este parámetro.

En este mismo sentido, la presencia de estos iones impide una óptima reutilización tanto de fangos generados como de agua que esté destinada al riego en agricultura, puesto que su uso deteriora la calidad del suelo agrícola. Además, un alto contenido de cloruros puede dañar la infraestructura metálica de la planta de depuración, afectando a tuberías, sistemas de distribución y equipos industriales, ya que es altamente corrosivo.

De acuerdo a esto, la Confederación Hidrográfica del Júcar establece a las estaciones depuradoras de aguas residuales un límite de vertido de 250 mg/L de cloruros [46].



### **III. Desarrollo proyecto**

---

#### **Gráfica 6. Valores de cloruros en el efluente de planta con las dosis de coagulantes correspondientes. (Elaboración propia).**

De esta manera, se establece que el valor máximo de cloruros a la salida de planta usando solo cloruro férrico es de 156 mg/l, el asociado al uso de ambos productos tiene un valor máximo de cloruros de 169 mg/l, y el referente al coagulante natural, 120 mg/l.

De la misma forma, los valores medios de cada fase se establecen como 126,8 mg/l para la primera fase, 91,01 mg/l para la segunda y un valor medio de cloruros de 84,5 para la tercera fase.

Se observa que en ningún momento se sobrepasó el límite de vertido, aun así, eligiendo el coagulante natural, se determina el posicionamiento en un marco de seguridad más eficiente ya que, evitando los posibles problemas asociados y principalmente el que se refiere a la producción de fango con bajo contenido de metales y cloruros, puede verse asociado a una disminución sustancial de costes de gestión de residuos.

### **III.3.2. EDAR Canals-L'Alcúdia de Crespins.**

#### **III.3.2.1. A nivel de laboratorio.**

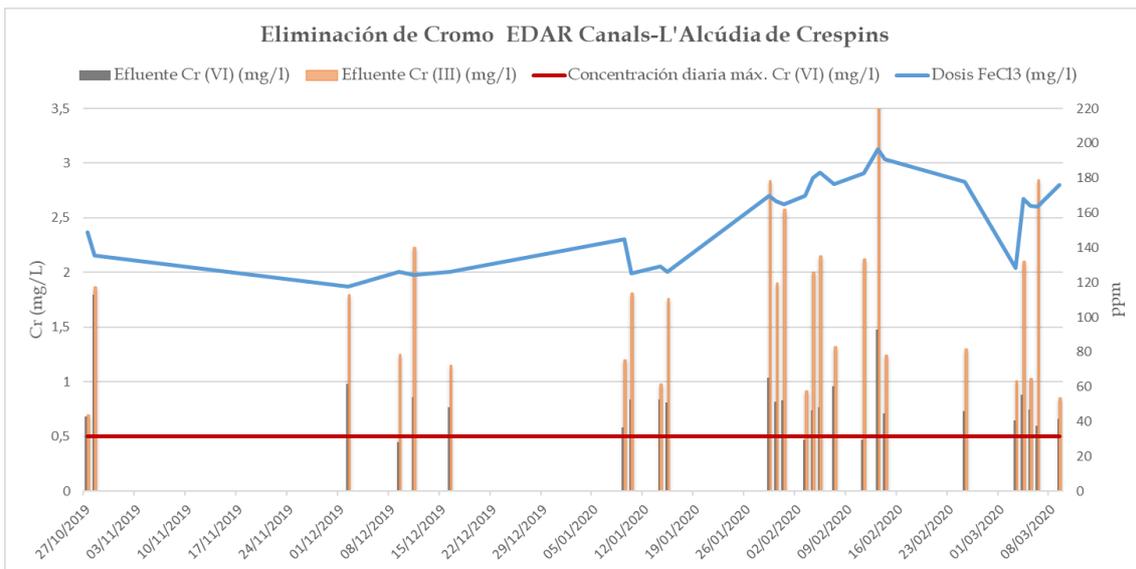
En este caso, el plan de actuación venía dispuesto empezarlo en febrero del 2020. Al estar en dependencias de GLOBAL OMNIUM, ellos se anticiparon al estado de alarma provocado por el COVID-19, y restringieron la entrada a todo aquel personal que no fuera estrictamente necesario. Es por ello que, aunque la empresa líder, tras el periodo de confinamiento, ha intentado volver al estado anterior; la empresa explotadora de esta no está apta aun para dejar ingresar a personal ajeno a la empresa.

En adición, teniendo en cuenta que hubo dos incidencias a la hora de implementar el coagulante natural en la EDAR de Ontinyent-Agullent, al tener que estar más pendiente de esa EDAR, no dio tiempo a recopilar datos significativos de esta.

Por tanto, el producto, no se llegó a implementarse en la EDAR de Canals.

### III. Desarrollo proyecto

Una de las calibraciones que se hizo a nivel de planta determinó que las salidas de cromo hexavalente no cumplen la concentración máxima diaria permitida de salida. Si bien no es un límite de vertido por el cual haya represalias legales, denota una escena a mejorar en la eliminación de cromo.



Gráfica 7. Valores de salida de cromo mediante el uso convencional del cloruro férrico. (Elaboración propia).

### III. Desarrollo proyecto

---

## III.6. ESTUDIO ECONÓMICO.

### III.6.1. Desglose de la subvención europea.

En este apartado se tendrán en cuenta las acciones del proyecto a propias de este estudio:

B3. Validación industrial de la eficiencia de los coagulantes de origen natural en plantas de tratamiento de agua residual industrial.

B3.1. Demostración industrial en la instalación 3 (Ontinyent).

B3.2. Demostración industrial en la instalación 4 (Canals). Eliminación de fósforo.

B3.3. Demostración industrial en la instalación 4 (Canals). Eliminación de cromo.

#### III.6.1.1. Presupuesto de la mano de obra.

A continuación, se presenta el precio de mano de obra teniendo en cuenta la durabilidad de 4 años de proyecto en la tasa diaria aproximada para cada designación de personal.

La tabla con todas las especificaciones, se encuentra en el apéndice como **Tabla 19. Especificaciones de los gastos generados por la mano de obra.**

**Tabla 6. Resumen del coste de mano de obra.** (Elaboración propia).

Designación	Personas por día	Gastos totales directos de personal (€)
Varias	1050	201.773

#### III.6.1.2. Presupuesto de los desplazamientos.

En este apartado se encuentran los viajes realizados por los miembros del proyecto en esta fase que nos compete:

### III. Desarrollo proyecto

Tabla 7. Coste por desplazamientos. (Elaboración propia).

Beneficiario	Especificación	Tasa de viaje y dietas	Número de viajes	Gastos totales de viajes y dietas (€)
SERVYECO	De Alcora (ES) a Canals (ES). Viajes técnicos para monitorear la planta en Canals (1 persona).	70	12	840
SERVYECO	De Alcora (ES) a Ontinyent (ES). Viajes técnicos para monitorear la planta en Ontinyent (1 persona).	70	12	840
EGEVASA	De Ontinyent (ES) a Canals (ES). Viajes técnicos para monitorear la planta en Canals (2 persona).	15	12	180
EGEVASA	En Ontinyent (ES). Viajes técnicos para monitorear la planta en Ontinyent (2 personas).	32	12	384
<b>TOTAL</b>				<b>2.244</b>

#### III.6.1.3. Presupuesto de la asistencia externa.

Se presenta el coste de acondicionamiento de ambas estaciones depuradoras ante la llegada del producto de estudio:

Tabla 8. Coste por el acondicionamiento de las instalaciones. (Elaboración propia).

Beneficiario	Descripción	Coste (€)
SEASA	Acondicionamiento del lugar de pruebas en EDAR Canals	3.500
EGEVASA	Acondicionamiento del lugar de pruebas en la EDAR de Ontinyent.	3.500
<b>TOTAL</b>		<b>7.000</b>

#### III.6.1.4. Presupuesto de bienes duraderos.

### III. Desarrollo proyecto

---

En este caso, se especifica la gestión de coste ante la adquisición de nuevo equipamiento como las bombas, una en cada planta, y el equipo de muestreo necesario en la EDAR de Canals-L'Alcúdia de Crespins:

**Tabla 9. Coste por la adquisición de nuevo equipamiento.** (Elaboración propia).

Beneficiario	Descripción	Precio actual (€)	Amortización (coste subencionable)
SEASA	Bomba de membrana para asegurar el flujo de agua necesario durante la dosificación coagulante en EDAR de Canals (tratamiento primario-secundario).	1.440	720
SEASA	Equipo de muestreo portátil y automático de 24 botellas. EDAR Canals. R (2 unidades)	5.200	1.300
EGEVASA	Bomba de membrana para asegurar el flujo de agua necesario durante la dosificación de coagulante en la EDAR de Ontinyent.	1.250	625
<b>TOTAL</b>		<b>7.890</b>	<b>2.645</b>

#### III.6.1.5. Presupuesto de bienes consumibles.

Seguidamente, se presenta el presupuesto para los reactivos químicos y material de laboratorio necesario para la realización de las acciones de trabajo:

**Tabla 10. Coste por adquisición de bienes consumibles.** (Elaboración propia).

Beneficiario	Descripción	Coste (€)
SEASA	Reactivos químicos, consumibles de laboratorio (kits reactivos, filtros, vaso de vidrio...). EDAR de Canals.	2.750
EGEVASA	Consumibles para análisis de muestras (kits reactivos, guantes...). EDAR Ontinyent.	2.750
<b>TOTAL</b>		<b>5.500</b>

#### III.6.1.6. Presupuesto destinado a otros gastos.

Por último, se especifican otras finalidades de destinación del presupuesto no reunidos en ninguna categoría anterior. Entre ellos están la adquisición o renovación de un nuevo tanque de almacenamiento para cada EDAR y material de seguridad ante una emergencia.

### III. Desarrollo proyecto

Tabla 11. Coste asociado a material de seguridad. (Elaboración propia).

Beneficiario	Descripción de los materiales de ensayo	Coste (€)
SEASA	Depósito de fibra de vidrio (19m3). EDAR Canals.	3.650
SEASA	Escalera de seguridad. EDAR Canals.	710
SEASA	Duchas de seguridad y lavajos. EDAR Canals.	900
EGEVASA	Duchas de seguridad y lavajos. EDAR Ontinyent.	900
EGEVASA	Depósito de fibra de vidrio (19m3). EDAR Ontinyent.	3.500
EGEVASA	Escalera de seguridad. EDAR Ontinyent.	700
<b>TOTAL</b>		<b>10.360</b>

Es así como, conocido el total del presupuesto asignado, se establece la cantidad total de presupuesto destinado a esta acción:

Tabla 12. Coste de la acción B frente al coste total (Elaboración propia).

Presupuesto por categorías	Coste Total (€)	% del Coste Total
1. Personal	201.773	16%
2. Viajes y dietas	2.244	5%
3. Asistencia externa	7.000	3%
4. Bienes duraderos		
Equipo	2.645	13%
Prototipo	0	0%
6. Consumibles	5.500	1%
7. Otros gastos	10.360	14%
<b>TOTAL</b>	<b>229.522</b>	<b>53%</b>

De donde el total asciende a la suma de **2.260.073 €**, cuya parte subvencionable, regida por la normativa de subvenciones del programa de la UE, es **2.246.048 €**.

En este último se incluye, el beneficio industrial, los gastos generales y los honorarios profesionales. Lo que no está incluido son las tasas, impuestos o tributos.

#### III.6.2. Presupuesto comparativo entre el coagulante inorgánico y el natural.

### III. Desarrollo proyecto

---

Este estudio concreto solo se ha podido realizar en base a posibilidad de actuación, resolución y finalización completa de la validación del ECOTAN NW3. Es por ello, que se va a presentar el aumento o disminución de precio de uno respecto al otro y su relativo coste de explotación.

De esta manera, se recopilan los resultados extraídos del desarrollo del proyecto en la EDAR de Ontinyent-Agullent III.3.1.2 A nivel industrial.:

**Tabla 13. Resumen de la validación industrial en la EDAR de Ontinyent.** (Elaboración propia).

Coagulante	Dosis (ppm)	Q (m <sup>3</sup> /día)
ECOTAN NW3	89	22.933
FeCl <sub>3</sub>	109	14.194
NW3 + FeCl <sub>3</sub>	75	13.130
	57	

Teniendo los datos de dosis necesarias de cada producto para tratar para tratar el caudal recolectado de cada fase y estableciendo un precio medio, tanto de cloruro férrico como de ECOTAN NW3, se obtiene el coste de explotación en el la eliminación del fósforo, con cada uno de ellos.

El precio del cloruro férrico padece constantes variaciones de precio según ás características de mercado, pero la política de precios establecida para este estudio es:

**Tabla 14. Precio estimado de cada coagulante.** (Elaboración propia).

Producto	Precio (€/Ton)	Precio medio (€/Ton)
ECOTAN NW3	150-400	396
FeCl <sub>3</sub>	250-900	575

Es así como relacionando realizando un producto de las variables expuestas, en la misma magnitud de unidades y teniendo en cuenta la conversión de toneladas a gramos, se obtiene:

**Tabla 15. Coste de explotación asociado a cada fase de actuación en el proyecto.** (Elaboración propia).

### III. Desarrollo proyecto

---

Producto	Coste explotación (€/año)
ECOTAN NW3	428.363
FeCl <sub>3</sub>	223.624
NW3 + FeCl <sub>3</sub>	206.674
	108.175

Finalmente, teniendo en cuenta el caudal medio de entrada a la EDAR, mencionado en el apartado de descripción de la I.2.5.2. EDAR Ontinyent - Agullent., de 18.116 m<sup>3</sup>/día, se establece el coste de explotación medio estandarizado, en cuya relación se determina que en caso de dosificar ambos productos el coste aumenta un 52% respecto al uso actual del cloruro férrico, lo que podría deberse a una sobredosificación de productos puesto la suma de ambas dosis resulta 132 ppm.

Por otra parte, también se establece que, si se pasase a utilizar en la planta, el ECOTAN NW3, el coste aumentaría un 19% respecto al coagulante actual.

**Tabla 16. Coste de explotación real.** (Elaboración propia).

Producto	Coste estimado (€/año)	Variación porcentual respecto a FeCl <sub>3</sub>
ECOTAN NW3	338.386	19%
FeCl <sub>3</sub>	285.415	
NW3 + FeCl <sub>3</sub>	434.411	52%

### **III. Desarrollo proyecto**

---

## **III.7. CONCLUSIONES.**

El presente proyecto tiene el objetivo de demostrar una tecnología innovadora, eficaz y eficiente, para el tratamiento de aguas residuales y disminuir así su impacto potencial sobre los ecosistemas acuáticos, evitando la degradación de los recursos hídricos y la pérdida asociada de la biodiversidad.

Debido a que la etapa de implementación se ha visto interrumpida por la situación sanitaria mundial, las conclusiones pueden verse afectadas o inacabadas.

Según lo que se ha podido realizar, se determina que, aunque dependa mucho de la calidad de la entrada de agua a la planta, los estudios a nivel de laboratorio arrojaron unos resultados prometedores. Se observa que el coagulante natural de estudio elimina de manera más eficaz el fósforo total que la forma más simple de fósforo, el ortofosfato.

Se determinó que la dosis óptima de coagulante natural para implementarlo en la planta de Ontinyent, era de 90 ppm y, finalmente, se demostró mediante el estudio de la fase 3 del proyecto de dosificación a nivel industrial, que la dosis media referente al caudal de entrada diario, se encontraba en 89 ppm, y, además, de manera puntual, el producto permitió una correcta precipitación química hasta con una concentración de trabajo de 60 ppm.

Por otra parte, se estableció un único rango de valores superiores al límite de vertido de fósforo, 1 mg/l, pero se descartó que estuviese relacionado con el proyecto puesto que días antes, un vertido industrial incumplió la normativa de desechos que van a la red de saneamiento. Y en cuanto al cumplimiento del porcentaje mínimo de reducción de fósforo, se vio más afectada la fase en la que actuaban los dos coagulantes, que el natural, únicamente.

Los valores de conductividad y concentraciones de cloruros se vieron favorecidos por el uso del producto ya que en el primer caso se incrementa la reducción de valores de conductividad en un 5% respecto a los valores medios de estudio de las fases

### **III. Desarrollo proyecto**

---

correspondientes a cada coagulante usado. Y, en el caso de los cloruros, reduce sus valores de salida promedios en un 33% respecto al uso del producto inorgánico.

Con todo esto, se establece que existe una viabilidad técnica alcanzable en el uso del coagulante natural. Por el contrario, en el estudio económico se determina un aumento del 19% sobre el coste del cloruro férrico, cosa que, en términos de competitividad de mercado, no es una buena opción. Por ello, este estudio obliga a reducir los costes de producción del ECOTAN NW3 de fases previas.

No obstante, en caso de el papel fundamental era la eliminación de fósforo total y se cumple, pero bajo ciertas condiciones incontrolables. Se observa que, en temporadas menos calurosas, el proceso responde mejor con el producto de origen natural, puesto que, a elevadas temperaturas, se produce una reducción mínima de sus propiedades como agente coagulante. Una buena adaptación a la situación sería estudiar el impacto económico en un rango de tiempo que permita discernir si es rentable usar el coagulante inorgánico en época estival, y el coagulante natural en los meses donde la temperatura no sea tan alta.

Así pues, la gestión a nivel industrial del producto constituiría una solución eficiente y medioambientalmente sostenible, siguiendo la línea de lo estipulado por la Directiva 2000/60/CE, puesto que se eliminaría un coagulante tóxico y corrosivo que conlleva más gastos de gestión a la hora del tratamiento de fangos producidos; al no haber aporte de metales, se facilita su valorización como abono agrícola.

Además, el tiempo de vida de la instalación con partes metálicas, se verá incrementado, logrando tiempos de amortización más largos, y mejorará la seguridad tanto de los trabajadores de planta, como las de las personas implicadas en las acciones de transporte, almacenamiento y mantenimiento del coagulante inorgánico; evitando riesgos potencialmente graves, ya que no es necesaria ninguna precaución especial a la hora de manipular el coagulante objeto de estudio.

## **IV. APÉNDICES**

# APÉNDICES



## IV. Apéndices

---

### IV.1. REFERENCIAS

- [1] UNESCO, «World Water Development Report 2012- Managing Water,» 2012.
- [2] G. Girbau, Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Masón, 2002.
- [3] Universidad Central, Varios autores., *El agua en la ciudad y los asentamientos humanos.*, Bogotá: Comité Editorial de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas., 2018.
- [4] AQUASTAT, «Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO),» 2016. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>.
- [5] International Resource Panel, «Global Resources Outlook - Natural resources for the future we want,» The United Nations Environment Programme (UNEP), 2019.
- [6] ONU, *Objetivo 6: Agua limpia y Saneamiento*, 2015.
- [7] International Resource Panel, «Options for Decoupling Economic Growth from Water Use and Water Pollution,» The United Nations Environment Programme (UNEP), 2017.
- [8] UNESCO, «World Water Development Report 2020 - Water and Climate Change,» 2020.
- [9] Servyeco, S.L., «Gestión Integral del Agua,» [En línea]. Available: <https://www.servyeco.com/coagulantes-definiciones-y-tipos-servyeco.html>.

## IV. Apéndices

---

- [10] INDUKERN, S.A. QI., «Ficha de Datos de Seguridad del Cloruro Férrico.,» Barcelona, 2015.
- [11] M. Molinos Senante y F. y. S. G. R. Hernández Sancho, «Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional.,» vol. 32, nº 1, 2012.
- [12] Locken, «¿Quién (y para qué) reutiliza más agua en España?,» 2019.
- [13] S. E. Manahan, Introducción a la química ambiental, Reverté , 2006, pp. 17-160.
- [14] E. R., Estimating the environmental suitability of wall materials: preliminary results from Sri Lanka., vol. 39, 2004, pp. 1253 - 1261.
- [15] X. E. Castells, Reciclaje de Residuos Industriales. Vías de Tratamiento y Valorización de Fangos de Depuradora., Díaz de Santos, 2012, pp. 940-951.
- [16] J. Moreno y M. Á. Ramos, «Impactos sobre la biodiversidad animal».
- [17] J. Villaseñor Camacho, Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas., vol. Tesis Doctorales nº 122, Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2001.
- [18] A. S. Torrecillas, *Tratamiento de Aguas, MIA.*, vol. T.1. Introducción al tratamiento de aguas., 2020.
- [19] LENNTECH, «Lenntech Water Treatment,» [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/p.htm>.
- [20] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)., The OECD list of social indicators., Washington, D.C.: Paris, 1982.

## IV. Apéndices

---

- [21] Comisión Europea, «Informe de la CE al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación de la Directiva 91/676/CEE relativa a la protección de las aguas.» Bruselas, 2013.
- [22] J. A. Sainz Sastre, *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales.*, Madrid: Fundación EOI., 2005.
- [23] N. L. Nemerow y D. Avijit, *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*, Díaz de Santos, 1998, p. 428.
- [24] X. E. Castells, *Reciclaje de Residuos Industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora.*, vol. 2, Díaz de Santos, 2012, p. 195.
- [25] G. Salas Colotta, «Reuso de Cromo en el Tratamiento de Efluentes de una Curtiembre,» *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 8, nº 2, p. 61, 2005.
- [26] L. D. B. e. Â. D. B. Dantas, *Métodos e técnicas de tratamento de água*, vol. 1, 1993.
- [27] J. Suárez, A. Jácome y P. Ures, «Ficha técnica de Coagulación-Floculación.» 2014.
- [28] R. Sans Fonfría y J. d. P. Ribas, *Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos.*, Marcombo, S.A., 1989, p. 105.
- [29] R. Méndez, G. Vidal, K. E. Lorber y F. Márquez, *Producción limpia en ña industria de curtiembre.*, Universidad de Santiago de Compostela., 2007, p. 183.
- [30] R. Marín Galvin, *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas.*, Madrid: Díaz de Santos, 2003, pp. 215-217.

## IV. Apéndices

---

- [31] Red Española de Compostaje., Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica., J. Moreno, R. Moral, J. García-Morales, J. Pascual y M. Bernal, Edits., Ediciones Mundi-Prensa., 2015.
- [32] «Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.» [En línea]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=ES>.
- [33] «Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1996/BOE-A-1996-7159-consolidado.pdf>.
- [34] «Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/2000/327/L00001-00073.pdf>.
- [35] «Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/1998/10/20/pdfs/A34635-34636.pdf>.
- [36] «Ley 2/1992, de 26 de marzo, del Gobierno Valenciano, de saneamiento de aguas residuales de la Comunitat Valenciana.» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1992/BOE-A-1992-12147-consolidado.pdf>.
- [37] Servyeco, «Acerca de Servyeco,» Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.servyeco.com/servyeco-presentacion.html>.

## IV. Apéndices

---

- [38] E. Comisión, «LIFE programme,» [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/easme/en/life>.
- [39] G. d. España, «Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico,» [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/ayudas-subvenciones/programa-life/que-es-life/>.
- [40] Parlamento Europeo y del Consejo, Reglamento (UE) N° 1293/2013, Diario Oficial de la Unión Europea, 2013, 11 de diciembre.
- [41] J. Beltrán-Heredia, J. Sánchez-Martín y M. A. Dávila-Acedo, «Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract,» vol. 186, n° 2-3, pp. 1704-1712, 2011.
- [42] Web Oficial de la UE., «Registro de sustancias y mezclas químicas,» 10 2020. [En línea]. Available: [https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index\\_es.htm](https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index_es.htm).
- [43] O. Delgadillo, A. Camacho, L. F. Pérez y M. Andrade, Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, Cochabamba: Centro AGUA, 2010.
- [44] IMPIVA. Generalitat Valenciana., *Legislación para la Industria. Vertido de Aguas Residuales.*, Valencia, 2003.
- [45] «Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/06/02/995/dof/spa/pdf>.

## IV. Apéndices

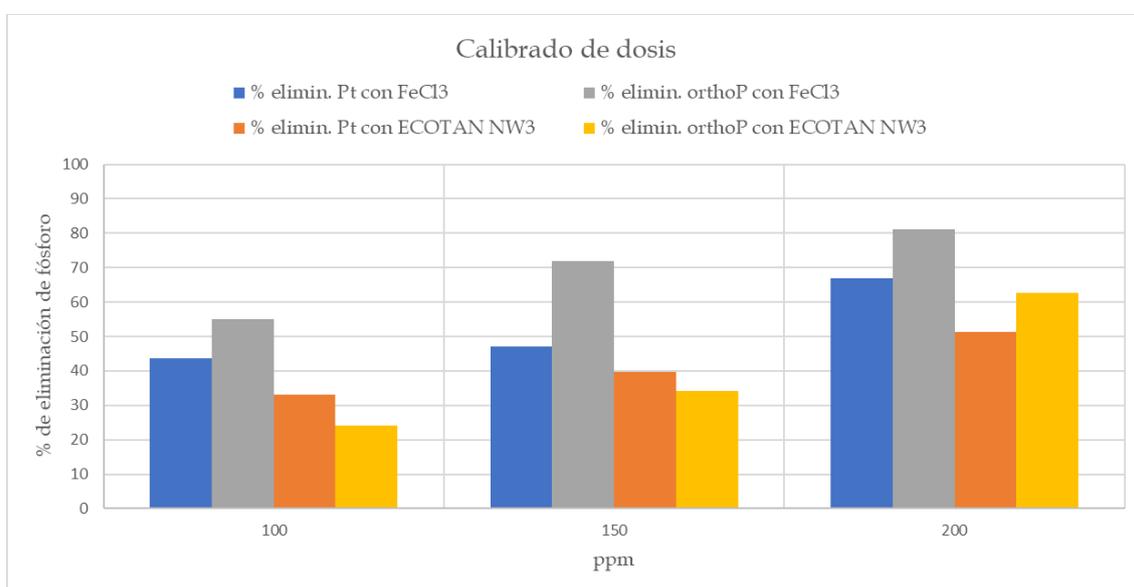
---

- [46] «DISPOSICIONES NORMATIVAS DEL PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.,» 2915-2021. [En línea]. Available: [https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/normativaphjucaranexoxird1\\_2016\\_tcm30-98544.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/normativaphjucaranexoxird1_2016_tcm30-98544.pdf).
- [47] Julio, «<http://hispagua.cedex.es/node/61332>,» Julio 2012. [En línea].
- [48] «Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad.,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-1139-consolidado.pdf>.
- [49] T. Valverde, J. A. Meave y J. y. C.-S. Z. Carabias, *Ecología y Medio Ambiente*, 1ª ed., G. T. Mendoza, Ed., Naucalpan de Juárez: Pearson Educación de México, 2005, pp. 124-125.
- [50] J. M. Evans y H. Perlman, «Khan Academy, ciclos biogeoquímicos.,» [En línea]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-phosphorous-cycle>.

## IV. Apéndices

### IV.2. TABLAS Y GRÁFICOS ADICIONALES.

#### IV.2.1. Resultados



Gráfica 8. Calibración de las dosis de coagulantes para la eliminación de fósforo\_2. (Elaboración propia).

Tabla 17. Ensayo a 90, 140 y 200 ppm de ECOTAN NW3. (Elaboración propia)

Productos/ppm	1	2	3	Sin Producto
ECOTAN NW3	90	140	200	--
Turbidez	9	8	8	7
Velocidad decantación	--	--	--	--
Velocidad agitación (rpm)	60	60	60	60
Tiempo agitación lenta (min)	2'	2'	2'	2'
Volumen fango	50	50	50	70
Fósforo total	0,477	0,348	0,3	1,05
Ortofosfato	0,202	0,159	0,098	0,498

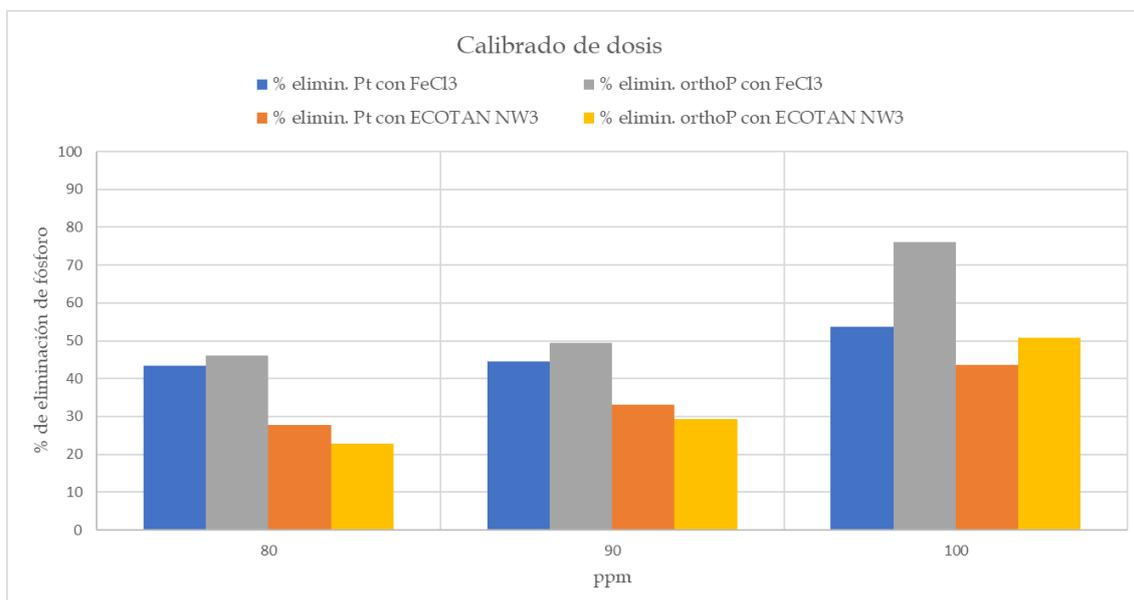
## IV. Apéndices

Rend % (Pt)	<b>54,57</b>	<b>70,76</b>	<b>74,79</b>	
Rend % (OrthoP)	<b>59,44</b>	<b>68,07</b>	<b>80,32</b>	

Tabla 18. Ensayo a 40, 100 y 150 ppm de ECOTAN NW3. (Elaboración propia)

Productos/ppm	1	2	3	Sin Producto
ECOTAN NW3	50	100	150	--
Turbidez	9	9	9	6
Velocidad decantación	--	--	--	--
Velocidad agitación (rpm)	60	60	60	60
Tiempo agitación lenta (min)	2'	2'	2'	2'
Volumen fango	50	50	50	70
Fósforo total	0,99	0,506	0,457	1,58
Ortofosfato	0,399	0,357	0,281	0,537

Rend % (Pt)	<b>37,34</b>	<b>67,97</b>	<b>71,08</b>	
Rend % (OrthoP)	<b>25,70</b>	<b>33,52</b>	<b>47,67</b>	



Gráfica 9. Calibración de las dosis de coagulantes para la eliminación de fósforo\_3. (Elaboración propia).

## IV. Apéndices

### IV.2.2. Estudio económico

Tabla 19. Especificaciones de los gastos generados por la mano de obra.

Beneficiario	Acción	Designación	Tasa diaria aprox.	Personas por día	Gastos directos de personal (€)
SERVYECO	B 3	Técnico de laboratorio	100	140	14.000
SERVYECO	B 3	Técnico de mantenimiento	146	60	8.760
SERVYECO	B 3	Director del proyecto	185	160	29.600
SERVYECO	B 3	Técnico superior	214	380	81.320
SEASA	B 3	Ayudante de operario 2	135	8	1.080
SEASA	B 3	Director del proyecto	205	25	5.125
SEASA	B 3	Gerente de mantenimiento	201	10	2.010
SEASA	B 3	Ayudante de operario 1	131	8	1.048
SEASA	B 3	Soporte técnico	237	45	10.665
SEASA	B 3	Ayudante de coordinador técnico	178	28	4.984
SEASA	B 3	Operador cualificado	154	10	1.540
SEASA	B 3	Coordinador técnico	180	26	4.680
EGEVASA	B 3	Director del proyecto	426	8	3.408
EGEVASA	B 3	Coordinador técnico	244	29	7.076
EGEVASA	B 3	Operador de campo 1	151	8	1.208
EGEVASA	B 3	Gerente de mantenimiento	302	4	1.208
EGEVASA	B 3	Apoyo al director de proyecto	336	40	13.440

## IV. Apéndices

EGEVASA	B 3	Técnico de laboratorio (Químico)	166	32	5.312
EGEVASA	B 3	Técnico de laboratorio	173	9	1.557
EGEVASA	B 3	Operador cualificado	212	12	2.544
EGEVASA	B 3	Operador de campo 2	151	8	1.208
TOTAL				1050	201.773

## IV.3. NORMATIVA

### IV.3.1. Ficha técnica cloruro férrico.

Ficha de datos de seguridad  
según 1907/2006/CE (REACH), 453/2010/EC, 2015/830/EU  
**CLORURO FÉRRICO 40%**




**SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA**

**1.1 Identificador del producto:** CLORURO FÉRRICO 40%

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados:**  
Usos pertinentes: Tratamiento de agua. Uso exclusivo profesional.  
Usos desaconsejados: Todo aquel uso no especificado en este epígrafe ni en el epígrafe 7.3

**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad:** GERMÁN RODRÍGUEZ DROGAS INDUSTRIALES, S.A. (GERDISA)  
C/ La Pintura Nº 4, Polígono Industrial Miralcampo  
15200 Azaqueca de Henares - Guadalajara - España  
Tfno.: 949 26 00 62 -  
Fax: 949 26 26 71  
calidad@gerdisa.com  
www.gerdisa.com  
949260062 (Disponible sólo en horas de oficina)

**1.4 Teléfono de emergencia:**

**SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

**2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla:**  
**Reglamento nº1272/2008 (CLP):**  
La clasificación de este producto se ha realizado conforme el Reglamento nº1272/2008 (CLP).  
Acute Tox. 4: Toxicidad aguda por ingestión, Categoría 4, H302  
Eye Dam. 1: Lesiones oculares graves, Categoría 1, H318  
Met. Corr. 1: Corrosivo para los metales, Categoría 1, H290  
Skin Irrit. 2: Irritación cutánea, categoría 2, H315

**2.2 Elementos de la etiqueta:**  
**Reglamento nº1272/2008 (CLP):**  
Peligro  
  
**Indicaciones de peligro:**  
Acute Tox. 4: H302 - Nocivo en caso de ingestión  
Eye Dam. 1: H318 - Provoca lesiones oculares graves  
Met. Corr. 1: H290 - Puede ser corrosivo para los metales  
Skin Irrit. 2: H315 - Provoca irritación cutánea  
**Consejos de prudencia:**  
P234: Conservar únicamente en el recipiente original  
P264: Lavarse concienzudamente tras la manipulación  
P280: Llevar guantes/lentes/gafas/máscara de protección  
P302+P352: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua  
P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando  
P310: Llamer inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico  
P330: Enjuagarse la boca  
P501: Elimínese el contenido y/o su recipiente de acuerdo con la normativa sobre residuos peligrosos o envases y residuos de envases respectivamente

**2.3 Otros peligros:**  
No relevante

**SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**

**3.1 Sustancia:**  
No aplicable

**3.2 Mezclas:**  
**Descripción química:** No definida

- CONTIENE EN LA SIGUIENTE PÁGINA -

Emisión: 14/08/2014      Revisión: 06/08/2015      Versión: 3 (sustituye a 2)      **Página 1/11**

## IV. Apéndices

### IV.3.2. KIT de medición LCK 349 Fósforo total / Ortofosfato.

#### LCK349 Fósforo total / Fosfato orto DOC312.61.94021

0.05–1.50 mg/L PO<sub>4</sub>-P, 0.15–4.50 mg/L PO<sub>4</sub> o 0.15–3.50 mg/L P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> LCK349

**Campo de aplicación:** Para aguas superficiales, agua potable, agua de calderas, aguas residuales y análisis de procesos.



#### Preparación para el análisis

#### Almacenamiento del test

Temperatura de almacenamiento: 15–25 °C (59–77 °F)

#### pH/temperatura

El pH de la muestra de agua debe estar entre pH 2–10.

La temperatura de la muestra de agua y los reactivos debe estar entre 15–25 °C (59–77 °F).

#### Antes de comenzar

**¡ATENCIÓN!**—;Información importante para la evaluación!

**Sin hidrólisis**, solo se mide el ortofosfato (disuelto). El resultado de la determinación de ortofosfato puede indicarse como: mg/L PO<sub>4</sub>-P (p. ej. para analítica de procesos), mg/L PO<sub>4</sub> (p. ej. para análisis de agua potable y agua de calderas), mg/L P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (p. ej. para análisis de suelos).

**Con hidrólisis**, se mide todo el fósforo (P Total, P<sub>Total</sub>). El resultado de la determinación de fósforo total puede indicarse como: mg/L P<sub>tot</sub> = indicación mg/L PO<sub>4</sub>-P (p. ej. para el control de valores umbrales en aguas residuales), mg/L PO<sub>4</sub> (p. ej. para análisis de agua potable y agua de calderas), mg/L P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (p. ej. para análisis de suelos).

**Si se invierte la cubeta tras la hidrólisis, los resultados serán más fiables.**

Determinación de ortofosfato: filtre la muestra antes de realizar el análisis.

**En caso de no trabajar a la temperatura recomendada, pueden obtenerse resultados erróneos.**

Leer las Indicaciones de Seguridad y la Fecha de Caducidad en el envase.

Consulte las hojas de datos de seguridad (MSDS/SDS) de los productos químicos que utilice. Utilice el equipo de protección personal recomendado.

Deseche las soluciones reaccionadas conforme a las regulaciones locales, estatales y federales. Consulte las hojas de datos de seguridad para obtener información sobre la eliminación de los reactivos no utilizados. Consulte con el personal encargado de medioambiente, salud y seguridad en sus instalaciones y/o organismos reguladores locales para obtener más información acerca de la eliminación.

## IV. Apéndices

### IV.3.3. KIT de medición LCK 313 Cromo total / Cromo (VI).

#### LCK 313 Cromo total y VI

DOC312.61.94041

0.03–1.00 mg/L Cr

LCK 313

Campo de aplicación: Para aguas residuales y analítica de proceso.



#### Preparación para el análisis

#### Almacenamiento del test

Temperatura de almacenamiento: 2–8 °C (35–40 °F)

#### pH/temperatura

El pH de la muestra de agua debe estar entre 3–9.

La temperatura de la muestra de agua y los reactivos debe estar entre 15–25 °C (59–77 °F).

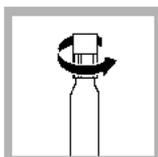
#### Antes de comenzar

El cromo no disuelto no se determina con la determinación de cromo VI.  
Los resultados de las concentraciones superiores a 20 mg/L caen dentro de la gama de medición antes mencionada. En estos casos se recomienda llevar a cabo un control de verosimilitud mediante dilución.  
Durante la determinación de cromo total las muestras de agua presentan, en casos contados, turbideos después del proceso de digestión. Estas muestras deben ser sometidas a un tratamiento previo con el set LYW 513.  
La concentración de cromo III se obtiene matemáticamente de la diferencia entre el cromo total y el cromo VI.  
Leer las Indicaciones de Seguridad y la Fecha de Caducidad en el envase.  
Consulte las hojas de datos de seguridad (MSDS/SDS) de los productos químicos que utilice. Utilice el equipo de protección personal recomendado.  
Deseche las soluciones reaccionadas conforme a las regulaciones locales, estatales y federales. Consulte las hojas de datos de seguridad para obtener información sobre la eliminación de los reactivos no utilizados. Consulte con el personal encargado de medioambiente, salud y seguridad en sus instalaciones y/o organismos reguladores locales para obtener más información acerca de la eliminación.

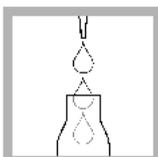
#### Procedimiento Cromo total



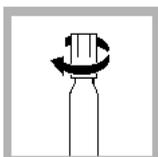
1. Retirar con sumo cuidado el precinto de papel de aluminio del DosiCap Zip enrollado.



2. Desenroscar el DosiCap Zip.



3. Pipetear cuidadosamente 2,0 mL de muestra.



4. Enroscar inmediatamente el DosiCap Zip con la parte estriada hacia arriba.

1