

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# “Análisis del estado de la depuración de aguas residuales urbanas en la Comunidad Valenciana”

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

Autor/a:

**Salvador Benítez Roselló**

Tutor/a:

**Juan Andrés Gonzalez Romero**

**Jesús Mengual Cuquerella**

**GANDIA, 2019**

## **Resumen**

Actualmente, los sistemas de tratamiento implantados en la Comunidad Valenciana para la depuración de aguas residuales urbanas son variados, comprendiendo distintos caudales de diseño y depuración, distinta carga contaminante entrante, así como distintas fases de tratamiento o tipos de tratamiento o diferente capacidad de reutilización del efluente producido.

El presente trabajo pretende realizar un análisis de los datos de funcionamiento del conjunto de estaciones depuradoras existentes en la Comunidad Valenciana, incluyendo el caudal de agua residual y carga contaminante tratada, el coste y consumo eléctrico durante tratamiento, la calidad del agua depurada, el rendimiento en la eliminación de carga orgánica y nutrientes, la capacidad de reutilización del agua producida, así como la producción y aprovechamiento de los lodos generados en el proceso.

A partir del análisis realizado, se ha observado cómo afecta el porcentaje de saturación o el tamaño de las instalaciones al coste económico y consumo eléctrico, que tipos de tratamientos consumen más energía o cuestan más dinero, así como el destino de los fangos generados o cuanta cantidad de agua residual se reutiliza.

**Palabras clave:** Depuración, tratamiento, rendimiento, coste, consumo energético, reutilización.

## **Abstract**

Nowadays, the treatment systems implanted in the Valencian community for the depuration of urban wastewater are varied, understanding different design and depuration flow rates, different incoming pollutant charge, as well as different phases of treatment or types of treatment or different capacity for reuse of the t produced effluent.

The present work profess to perform an analysis of the operating data of the set of existing treatment plants in the Valencian Community, including the wastewater flow and contaminated load treated, the cost and electricity consumption during treatment, the quality of the purified water, the performance in the elimination of organic load and nutrients, the capacity of reuse of the produced water, as well as the production and use of the sludge generated in the process.

From the analysis performed, it has been observed how the saturation percentage or the size of the facilities affects at the economic cost and electricity consumption, which types of treatments consume more energy or cost more money, as well as the fate of the sludge generated or how quantity of residual water is reused.

**Keywords:** Depuration, treatment, performance, cost, energy consumption, reuse.

## Contenido

1. Introducción. ....	1
1.1 La depuración de las aguas residuales. ....	1
1.2 Estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). ....	2
1.2.1 Etapas de tratamiento.....	2
1.2.2 Pretratamiento.....	3
1.2.3 Tratamiento primario.....	3
1.2.4 Tratamiento secundario.....	3
1.2.5 Tratamiento terciario.....	3
1.2.6 Tratamiento de lodos.....	3
1.3 Esquema de tratamiento en función del tamaño de la población.....	4
1.4 Tecnologías de tratamiento. ....	5
1.4.1 Fangos activos. ....	5
1.4.2 Aireación prolongada. ....	6
1.4.3 Procesos biológicos de soporte sólido. ....	8
1.4.4 Tratamiento extensivo. ....	10
1.5 Esquemas para eliminación de nutrientes. ....	11
1.5.1 Eliminación biológica de nitrógeno.....	11
1.5.2 Eliminación de fósforo.....	12
1.5.3 Eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo.....	12
1.6 Requisitos de depuración.....	13
1.6.1 Requisitos para la reducción de materia orgánica.....	13
1.6.2 Requisitos para la reducción de nutrientes. ....	14
1.7 Reutilización de aguas depuradas.....	14
1.8 Tratamiento y disposición de lodos. ....	16
2. Objetivos. ....	17
3. Metodología. ....	18
3.1 Recogida de datos. ....	18
3.2 Tratamiento de datos.....	18
4. Resultados.....	20
4.1 Estado general de la depuración en la Comunidad Valenciana. ....	20
4.2 Distribución de las estaciones depuradoras de aguas. ....	20
4.2.1 Por provincias.....	20
4.2.2 Por tamaño población. ....	22
4.2.3 Por tipo de tratamiento. ....	22
4.3 Consumo energético de explotación y coste económico de depuración. ....	25
4.4 Saturación de las estaciones depuradoras de aguas residuales. ....	28
4.5 Rendimiento en la eliminación de materia orgánica. ....	31
4.6 Eliminación de nutrientes. ....	33

4.7 Reutilización. ....	35
4.8 Lodos. ....	37
5. Conclusiones.....	40
6. Bibliografía. ....	42

## 1. Introducción.

### 1.1 La depuración de las aguas residuales.

Según el artículo 2 de la Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, podemos diferenciar entre tres tipos de aguas residuales:

**-Aguas residuales domésticas:** son las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios y generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

**-Aguas residuales industriales:** son todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni agua de correntía pluvial.

**-Aguas residuales urbanas:** son las aguas residuales domésticas o mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de correntía pluvial.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales, conocidas normalmente como EDAR, son instalaciones dedicadas al tratamiento de las aguas residuales, ya sean industriales, urbanas o de ambos tipos. De esta forma, estas aguas pueden ser luego devueltas en forma de vertido o se pueden reutilizar las aguas. En las estaciones depuradoras de aguas residuales se llevan a cabo procesos de separación y eliminación de sustancias que contienen las aguas residuales. Los procesos para llevarlo a cabo pueden ser físicos, químicos o biológicos. s. A modo de ejemplo, en la figura 1 podemos ver la imagen de las distintas operaciones contenidas por una EDAR (EDAR de Alzira-Carcaixent).



Figura 1: EDAR de Alzira-Carcaixent. Fuente: EPSAR (2019).

A la hora de caracterizar el funcionamiento de una EDAR, principalmente, se tienen en cuenta aquellos parámetros relativos a la calidad del agua residual. Entre ellos, Los parámetros de caracterización más importantes en una EDAR son el la DQO, ella DBO<sub>5</sub> y los sólidos en suspensión (SS).

La DQO es una medida de la materia orgánica total, que se determina en calcular el oxígeno consumido en la oxidación química de la materia orgánica del agua residual.

La DBO<sub>5</sub> es una medida de la materia orgánica biodegradable del agua residual. Se determina midiendo el oxígeno que se consume durante 5 días por los microorganismos en una muestra de agua residual que se mantiene a una temperatura de 20 °C.

Los sólidos en suspensión son los sólidos que se retienen en un filtro de 0,45 µm al realizar la filtración de un agua residual.

## 1.2 Estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).

En las estaciones depuradoras de aguas residuales podemos encontrar distintos tipos de tratamiento o distintas fases.

### 1.2.1 Etapas de tratamiento.

Primero, se distinguen dos líneas diferentes de tratamiento que son la línea de agua y la línea de fangos (véase figura 2). En la línea de agua encontramos las fases de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, tal y como se muestra en la figura 3.

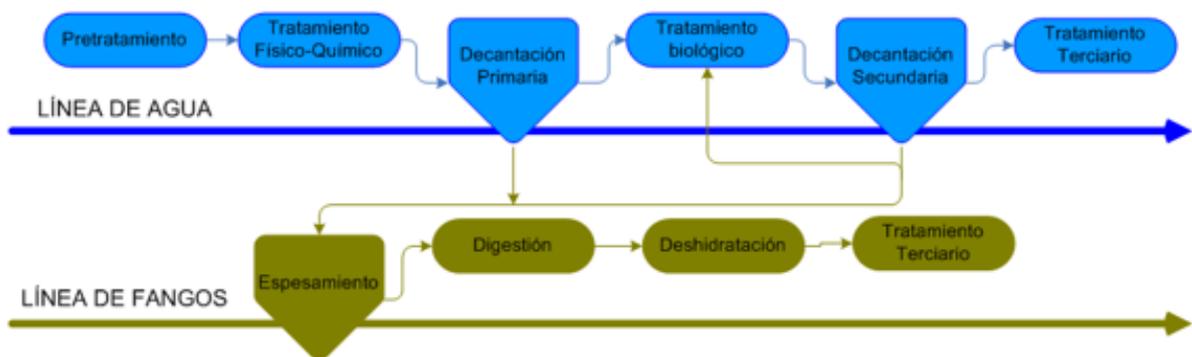


Figura 2: Esquema etapas de tratamiento de una EDAR. Fuente: WIKIMEDIA.

PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
<b>Objetivo</b> Eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas	<b>Objetivo</b> Eliminación de materia sedimentable y flotante	<b>Objetivo</b> Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal	<b>Objetivo</b> Eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos
<b>Operaciones básicas</b> - Desbaste - Tamizado - Desarenado - Desengrasado	<b>Operaciones básicas</b> - Decantación primaria - Tratamientos físico-químicos (coagulación-floculación)	<b>Procesos básicos</b> - Degradación bacteriana - Decantación secundaria	<b>Procesos básicos</b> - Floculación - Filtración - Eliminación de N y P - Desinfección
<b>Procesos físicos</b>	<b>Procesos físicos y químicos</b>	<b>Procesos biológicos</b>	<b>Procesos físicos, químicos y biológicos</b>

Figura 3: Etapas de la línea de aguas. Fuente: ALIANZAPORELAGUA.

### 1.2.2 Pretratamiento.

Antes del tratamiento primario se colocan varias estructuras para proteger el equipo de las plantas de tratamiento de las aguas residuales. Estas estructuras son consideradas tratamiento previo o pretratamiento.

El pretratamiento se trata de la fase en la que se eliminan los sólidos de mayor tamaño como arenas y grasas. Este procedimiento es siempre necesario, debido a que se realiza para evitar problemas en los tratamientos posteriores.

Algunas de las estructuras o dispositivos que se utilizan en el pretratamiento son las rejillas de barra, las cámaras de desarenado, desmenuzadores o estanques de igualación.

### 1.2.3 Tratamiento primario.

El tratamiento primario consiste en la eliminación de los contaminantes o sólidos que se asientan o flotan mediante procesos físicos y/o químicos. Este tratamiento no siempre es necesario, depende de la concentración de sólidos en suspensión.

En este tratamiento se suele proceder a la sedimentación primaria en un tanque de sedimentación, donde se eliminan los sólidos orgánicos suspendidos por gravedad.

En algunos casos se utilizan coagulantes y/o floculantes para acelerar el proceso de sedimentación.

### 1.2.4 Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario consiste en la utilización de procesos biológicos para proceder a la eliminación de la materia orgánica. Son siempre necesarios en las aguas residuales urbanas debido a que contienen materia orgánica biodegradable, aunque no lo sería si la EDAR vierte en zonas menos sensibles.

Los ingredientes más esenciales para este tratamiento es la disponibilidad de microorganismos, el contacto entre estos y el material orgánico, la disponibilidad del oxígeno y la conservación de otras condiciones como una temperatura y tiempo suficiente para que trabajen los microorganismos.

Algunos de los procesos más comunes son el filtro percolador o los fangos activos. También, si los flujos de aguas residuales son pequeños se utilizan técnicas de lagunaje.

### 1.2.5 Tratamiento terciario.

El tratamiento terciario suele ser conocido como tratamiento avanzado, y sirve para eliminar nutrientes que no se eliminan con otros procesos. Este tratamiento es obligatorio cuando la ley obliga a eliminar algún componente específico del agua residual o para evitar problemas de eutrofización.

En el tratamiento terciario podemos encontrar técnicas como son la filtración, adsorción por carbón, desinfección, etc.

### 1.2.6 Tratamiento de lodos.

Luego tenemos la línea de fango, donde se produce el tratamiento de los fangos generados en la línea de agua para acondicionarlos y evacuarlos de una forma óptima. En la línea de fangos distinguimos distintos procesos que son el espesado, estabilización, acondicionamiento, desaguado y reducción.

### 1.3 Esquema de tratamiento en función del tamaño de la población.

En base a la Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991 se define el término **“tratamiento adecuado”** como el tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante cualquier proceso y/o sistema de eliminación en virtud del cual, después del vertido de dichas aguas, las aguas receptoras cumplan los objetivos de calidad y las disposiciones pertinentes de la presente y de las restantes Directivas comunitarias.

En este sentido, los tratamientos utilizados pueden variar significativamente al tratarse de poblaciones de distinto tamaño. En el caso de las poblaciones de menor tamaño el número de etapas contenidas por la EDAR suele ser más reducido, tanto en la línea de aguas como en la de fangos.

En las figuras 4 y 5 podemos ver dos tipos de esquemas “típicos” en función de si la planta de tratamiento es para poblaciones pequeñas o grandes.

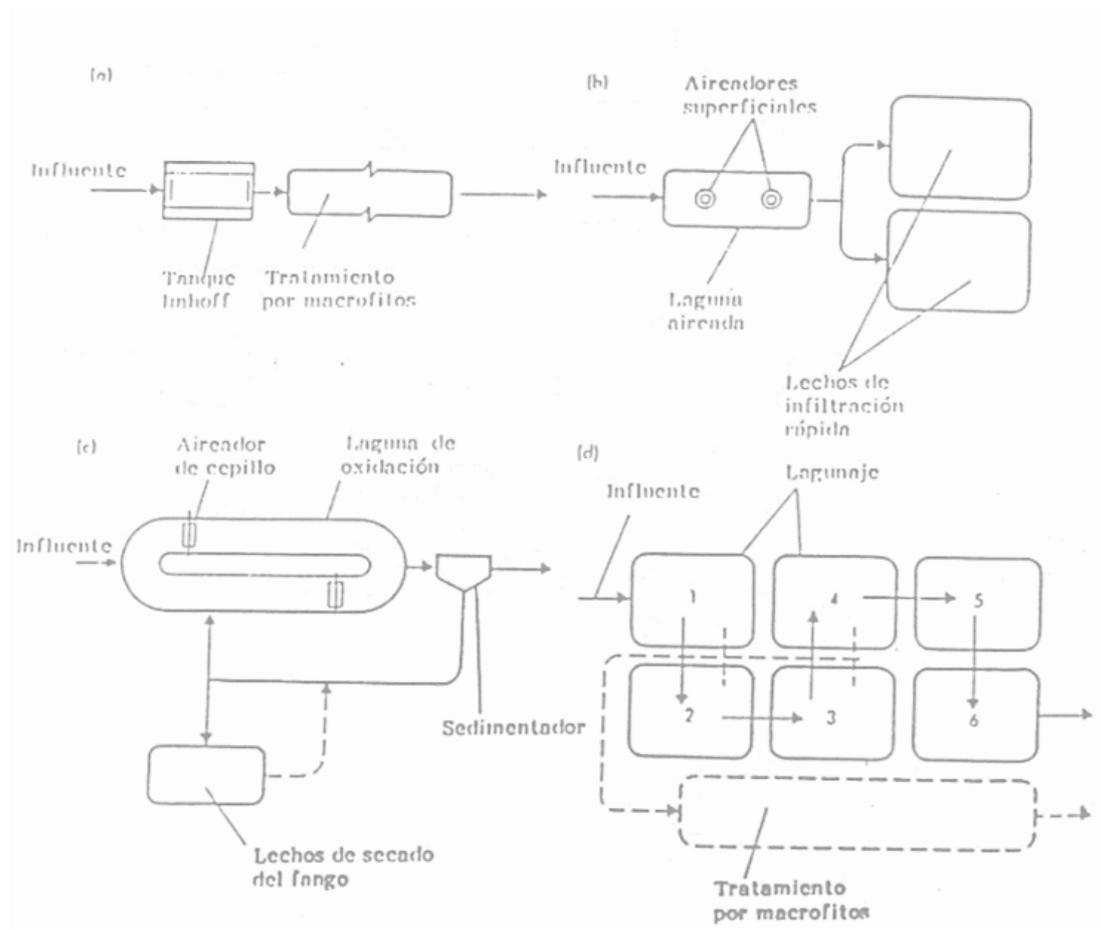


Figura 4: Esquemas típicos de plantas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones pequeñas a) Tratamiento por macrófitos b) Infiltración en el terreno c) Aireación prolongada d) Tratamiento por lagunaje. Fuente: Ferrer y Seco (1997).

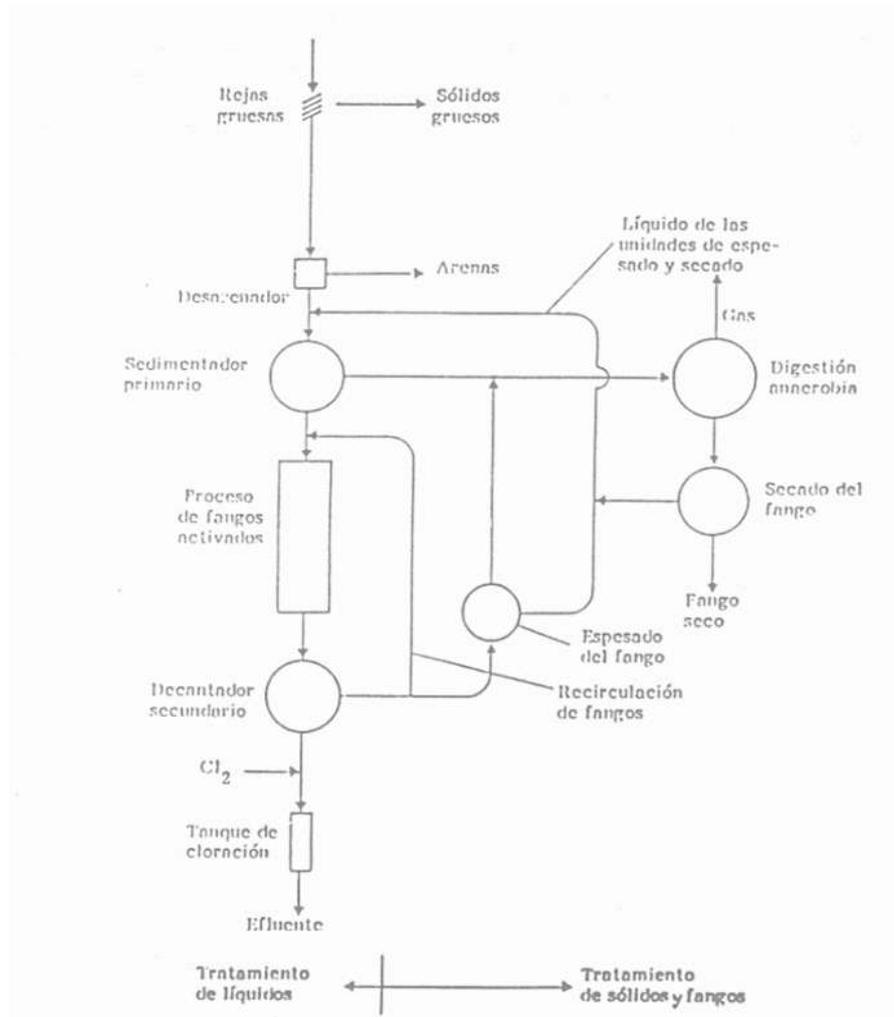


Figura 5: Esquema típico de una planta de tratamiento de aguas residuales para poblaciones grandes. Fuente: Ferrer y Seco (1997).

A la hora de evaluar el tamaño de una determinada EDAR, un concepto importante es la definición del término habitante equivalente (h.e.). Según la Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, 1 h.e. equivale a la carga orgánica biodegradable con una DBO<sub>5</sub> de 60 g de oxígeno por día. Se trata de una unidad de medida que hace referencia a la cantidad de contaminación emitida por persona y día.

#### 1.4 Tecnologías de tratamiento.

A continuación, se describen los principales esquemas de tratamiento biológico para el tratamiento de aguas residuales urbanas, como el proceso de fangos activos, los esquemas de aireación prolongada, los procesos biológicos de soporte sólido y los procesos extensivos.

##### 1.4.1 Fangos activos.

###### 1.4.1.1 Proceso convencional (media carga).

Son procesos aerobios que están provistos de un sistema de separación y recirculación de fangos. Los fangos que recirculan se llaman fangos activos y contienen los microorganismos que llevan a cabo la depuración biológica. En la figura 6 se muestra un ejemplo de proceso convencional (media carga).

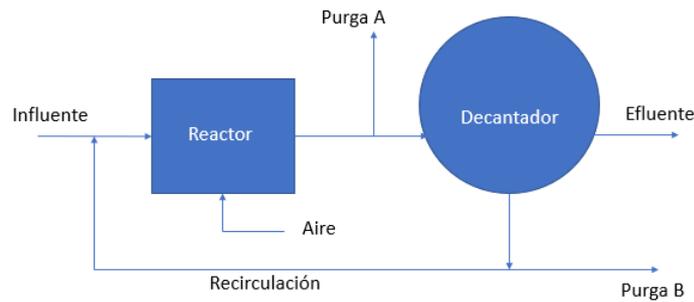


Figura 6: Esquema del proceso convencional de fangos activos (media carga). Fuente: Ferrer y Seco (2007).

#### 1.4.1.2 Doble etapa.

Es un sistema de tratamiento donde el agua residual circula por dos tanques de tratamiento biológico diferentes. Cada tanque tiene su propio sedimentador y su propia recirculación de fangos. Este proceso se muestra en la figura 7.

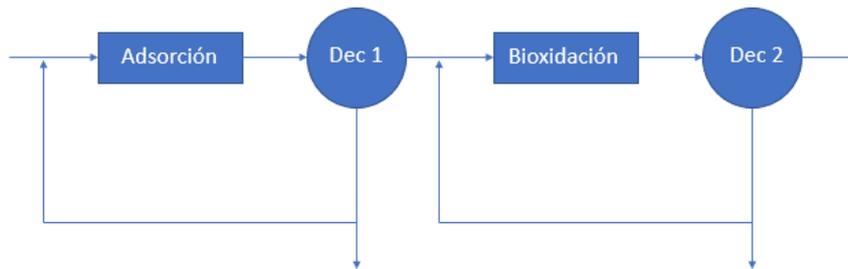


Figura 7: Esquema del sistema de doble etapa. Fuente: Ferrer y Seco (2007).

#### 1.4.2 Aireación prolongada.

##### 1.4.2.1 Carrusel.

En este proceso se hace circular el agua alrededor de un canal circular u oval, utilizando aireadores mecánicos de eje horizontal o sistemas de bombeo situados en uno o más puntos a lo largo del canal. La figura 8 nos muestra este proceso.

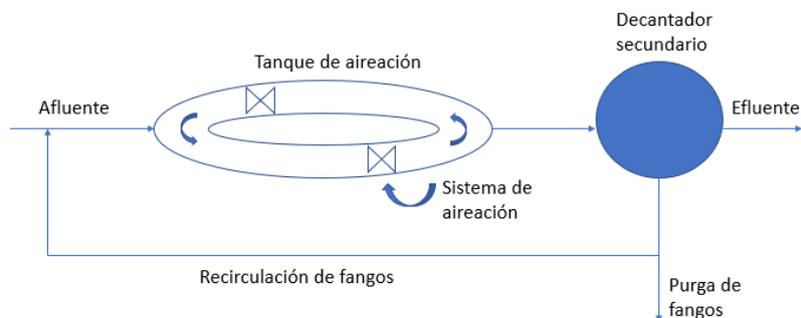


Figura 8: Esquema carrusel. Fuente: Ferrer y Seco (2007).

1.4.2.2 Aireación prolongada convencional.

También conocido como proceso de oxidación total, o baja carga. Es un proceso similar al esquema de fangos activos pero que opera con una carga másica inferior. En la tabla 1 se pueden ver sus valores.

Tabla 1: Valores medios de los parámetros en procesos de fangos activos. Fuente: Ferrer y Seco (2007).

Proceso	Edad del fango (días)	Carga sólidos (Kg SST/m <sup>3</sup> )	Tiempo de retención (días)	Relación de recirculación
Aireación prolongada	20-30	3-6	18-36	0,75-1,5
A.P. Carrusel	10-30	3-6	8-36	0,75-1,5
Alta carga	5-10	4-10	0,5-2	1-5
F.A. Convencional (mezcla completa)	5-15	2,5-4,5	3-9	0,25-1
F.A. Convencional (flujo en pistón)	5-15	1,5-3	4-8	0,25-0,5

1.4.2.3 Lagunaje.

Se trata de un proceso en el que las aguas se vierten en estanques de tierra impermeabilizados de configuraciones variadas, poco profundos y generalmente extensos, donde se tratan con métodos naturales. El oxígeno se obtiene por reaireación natural a través de la superficie y de la reacción que se produce en la fotosíntesis de las algas. El oxígeno producido por las algas sirve para la degradación de la materia orgánica presente mediante las bacterias aerobias. Se puede ver un ejemplo de lagunaje en la figura 9.

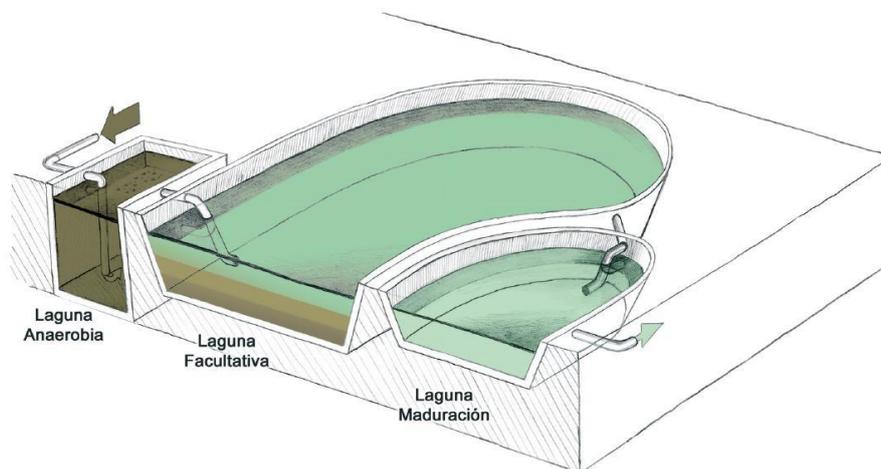


Figura 9: Proceso de lagunaje. Fuente: ITC.

1.4.2.4 SBR o reactores secuenciales.

Estos son reactores discontinuos donde el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. El sistema SBR consta de cinco procesos: llenado, reacción, reposo, sedimentación y vaciado, como se puede observar en la figura 10.

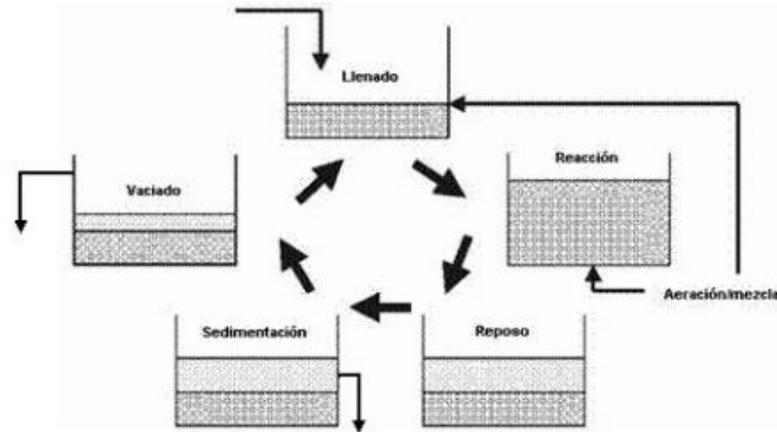


Figura 10: Etapas en un reactor SBR. Fuente: MADRIMASD.

#### 1.4.2.5 MBR o biorreactor de membranas.

Es la combinación de dos procesos, que son la degradación biológica y la separación, en un solo proceso, donde los sólidos en suspensión y los microorganismos que son responsables de la biodegradación son separados del agua tratada mediante la unidad de filtración por membrana. La figura 11 muestra un ejemplo de MBR.

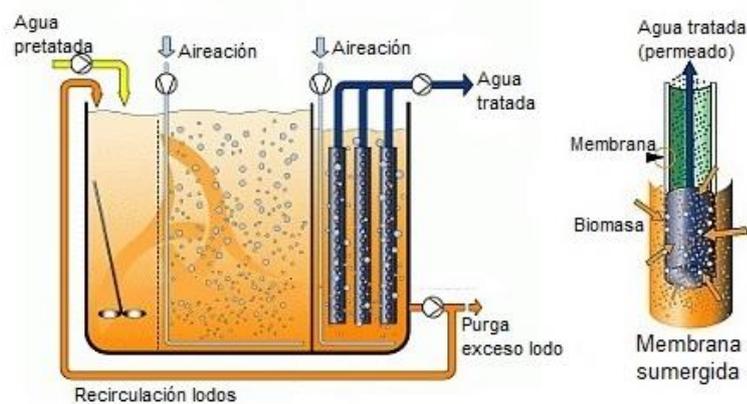


Figura 11: Biorreactor de membranas o MBR. Fuente: GEDAR.

#### 1.4.3 Procesos biológicos de soporte sólido.

##### 1.4.3.1 Lecho bacteriano.

También llamado filtro percolador, tiene un medio poroso a través del cual pasa el agua que hay que depurar. Es un tratamiento secundario que se aplica en las aguas que van a ser depuradas mediante un proceso biológico aerobio. En los lechos bacterianos la aireación es natural, de forma que el oxígeno circula por el lecho gracias a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Se puede ver la imagen de un lecho bacteriano en la figura 12.



Figura 12: Lecho bacteriano o filtro percolador. Fuente: MANANTIAL.

#### 1.4.3.2 Biodiscos.

Se trata de una serie de discos de 3 a 3,5 m de diámetro y montados en un eje horizontal, normalmente fabricados con plástico ligero. Los microorganismos se adhieren a estos biodiscos formando una película de biomasa microbiana, que se mantiene en condiciones aerobias. La aireación se produce gracias al giro de los discos. En la figura 13 se muestra un ejemplo.



Figura 13: Biodiscos. Fuente: IAGUA.

#### 1.4.3.3 MBBR o biorreactor lecho móvil.

Es un proceso biológico aerobio el cual consiste el uso de bacterias aerobias para la degradación de la materia orgánica. Las bacterias que se encargan de la depuración se encuentran en forma de biopelícula adherido a unos soportes de alta superficie específica. La figura 14 nos muestra un ejemplo de MBBR.

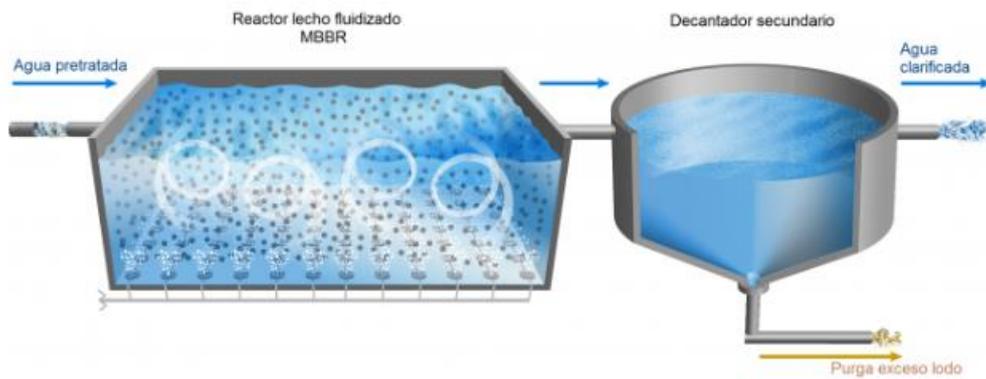


Figura 14: Esquema del funcionamiento del biorreactor MBBR más decantador secundario. Fuente: GEDAR.

#### 1.4.4 Tratamiento extensivo.

##### 1.4.4.1 Lecho de turba.

Combina procesos fisicoquímicos (filtración y adsorción) con procesos biológicos asociados a los microorganismos que están adheridos a la superficie de la turba. Es adecuado para poblaciones pequeñas (máximo 10.000 h.e.). La figura 15 nos muestra el esquema de los lechos de turba.

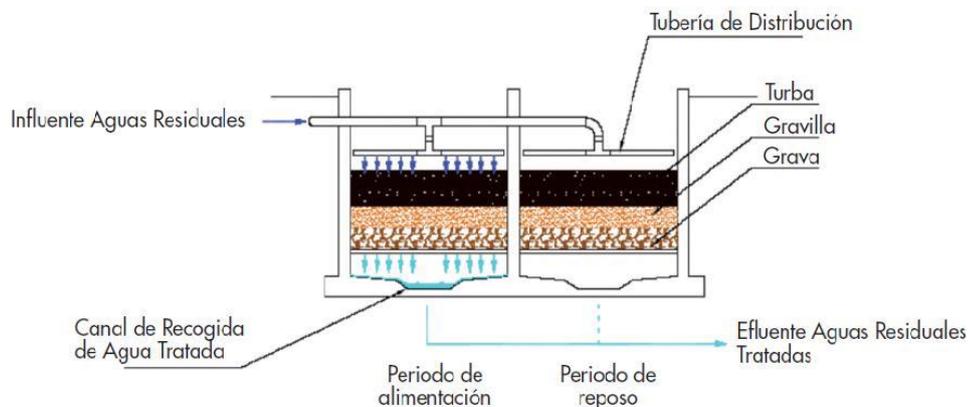


Figura 15: Lecho de turba. Fuente: PLANTANDOIDEASCRECENSOLUCIONES.

##### 1.4.4.2 Humedal Artificial.

Son sistemas de depuración que reproducen los procesos de tratamiento de agua, en este caso, la reducción de contaminantes que se tiene lugar en los humedales naturales. Los humedales artificiales pertenecen a las denominadas tecnologías de bajo consumo de tratamiento de agua residual. Podemos ver la imagen de un humedal artificial en la figura 16.

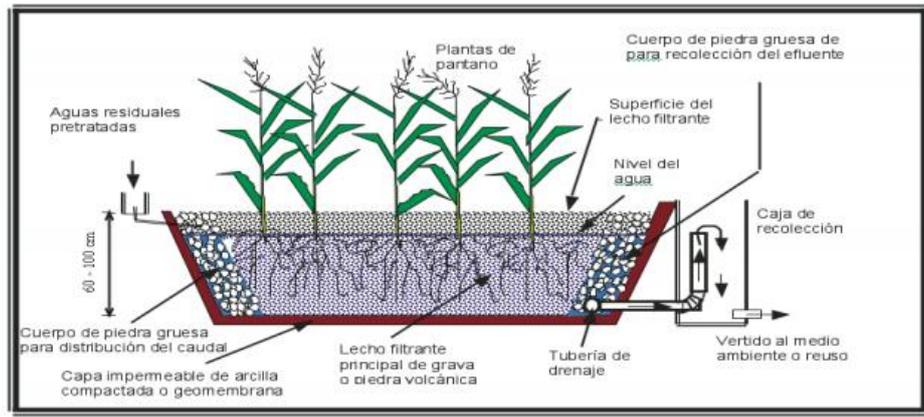


Figura 16: Humedal artificial. Fuente: BANCOMUNDIAL.

### 1.5 Esquemas para eliminación de nutrientes.

Se han elaborado esquemas para la eliminación biológica de nutrientes y materia orgánica, entre los que encontramos esquemas orientados a la eliminación de un solo nutriente bien sea nitrógeno o fósforo o los dos a la vez.

#### 1.5.1 Eliminación biológica de nitrógeno.

Para la eliminación biológica del nitrógeno, la instalación típica consiste en dos tanques en serie, llamado proceso Ludzack-Ettinger (figura 17).

El primer tanque recibe agua del tratamiento primario, de la recirculación de fangos y agua procedente de la recirculación interna del segundo tanque, donde el nitrógeno se encuentra en forma de nitratos. En el primer tanque se realiza parte de la degradación de la materia orgánica, donde los nitratos se reducen a nitrógeno gaseoso. El tanque se mantiene en condiciones anóxicas.

El segundo tanque se mantiene en condiciones aerobias, y en él se produce la degradación de la materia orgánica y la oxidación del nitrógeno a nitrato. Se recircula un caudal importante desde este tanque al primero. El agua que sale del segundo tanque, luego de su decantación, es el resultado del tratamiento biológico. Los fangos que se han decantado recirculan también al primer tanque.



Figura 17: Esquema del proceso Ludzack-Ettinger para la eliminación biológica de nitrógeno. Fuente: Ferrer y Seco (2007).

Otro esquema utilizado es el Bardenpho. Este esquema presenta una buena eliminación del nitrógeno si la recirculación de nitratos es la adecuada, y se trata de un sistema resistente a problemas de *bulking*.

### 1.5.2 Eliminación de fósforo.

En la eliminación del fósforo se utilizó al principio la precipitación química debido a la sencillez de su práctica. Pero poco a poco se ha ido introduciendo la eliminación biológica, debido a que supone un ahorro de reactivos, además de una producción menor de fangos y con mayor contenido en fósforo (apropiados para uso agrícola).

La eliminación biológica de fósforo requiere de una fase anaerobia y otra aerobia, y se lleva a cabo la eliminación de materia orgánica y fósforo. En el esquema de la figura 18 se puede ver el esquema básico para la eliminación conjunta de materia orgánica y fósforo a través de la vía biológica.



Figura 18: Esquema básico para la eliminación conjunta de materia orgánica y fósforo por vía biológica. Fuente: Ferrer y Seco (2007).

### 1.5.3 Eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo.

Los principales objetivos que se quiere conseguir en este proceso es una eficacia aceptable en la eliminación de nitrógeno y fósforo, una minimización del tamaño de los reactores y el control de problemas de *bulking*.

El esquema más sencillo es el A<sup>2</sup>/O (figura 19). Se introduce un tanque anóxico entre el tanque anaerobio y aerobio del proceso de eliminación de fósforo. En el tanque anóxico hay nitratos procedentes de la recirculación del caudal de agua desde el final de la zona aerobia, y estos nitratos se reducen por las bacterias a nitrógeno gas en el proceso de degradación de materia orgánica. El fango se recircula al tanque anaerobio, pero esto puede producir el aumento de la concentración de nitratos en el tanque.

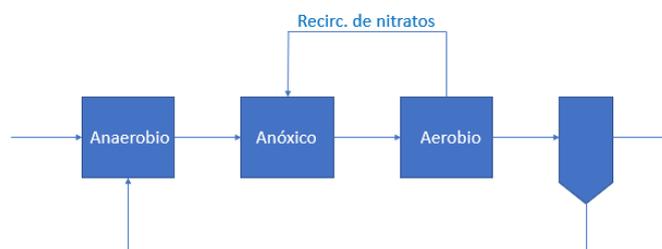


Figura 19: Esquema A<sup>2</sup>/O. Fuente: Ferrer y Seco (2007).

No obstante, existen otras variantes del esquema A<sup>2</sup>/O. Así, en el esquema UCT modificado se hace una compartimentación del tanque anóxico para que se pueda tratar de forma separada la desnitrificación de los fangos en recirculación y del licor mezcla que procede del tanque aerobio. Por otra parte, el esquema JHB es otro esquema

alternativo para tratar de forma separada los nitratos del licor mezcla y del fango recirculado. En este esquema el fango recirculado pasa por un reactor anóxico antes de ser llevado al tanque anóxico. Este fango es desnitrificado sin mezclar con el efluente.

### 1.6 Requisitos de depuración.

A la hora de establecer los requerimientos para la depuración de aguas residuales, en términos de legislación tendremos en cuenta la Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Según el artículo 2 de esta directiva, se definen tanto el tipo de tratamiento como la reducción mínima exigible para las etapas del tratamiento primario y secundario:

**-Tratamiento primario:** tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico y/o químico que incluya la sedimentación de los sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales que entren se reduzca por lo menos un 20 % antes del vertido y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca por lo menos en un 50 %.

**-Tratamiento secundario:** tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria, u otro proceso en el que se respeten los requisitos del cuadro 1 del Anexo I.

Según esta directiva, se aplicarán límites a ciertos parámetros, materia orgánica y/o nutrientes, de los vertidos de las instalaciones. Estos límites se explican en el Anexo I de la Directiva mencionada, tal y como se muestra en los siguientes apartados.

#### 1.6.1 Requisitos para la reducción de materia orgánica.

En la figura 20 se muestran los requisitos a los valores de materia orgánica para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO 5 a 20° C) sin nitrificación (2)	25 mg/l O <sub>2</sub>	70-90  40 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni descansar. Determinación del oxígeno disuelto antes y después de 5 días de incubación a 20° ± 1° C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de la nitrificación
Demanda química de oxígeno (DQO)	125 mg/l O <sub>2</sub>	75	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Dieromato potásico
Total de sólidos en suspensión	35 mg/l (3)  35 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (más de 10.000 e-h)  60 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (de 2.000 a 10.000 e-h)	90 (3)  90 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (más de 10.000 e-h)  70 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (de 2.000 a 10.000 e-h)	— Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105°C y pesaje  — Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos como mínimo, con una aceleración media de 2.800 a 3.200 g), secado a 105°C y pesaje.
(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada. (2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO 5 y el parámetro sustitutivo. (3) Este requisito es optativo.			

Figura 20: Requisitos por los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas sujetos a lo dispuesto en los artículos 4 y 5 de la Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción. Fuente: Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991.

### 1.6.2 Requisitos para la reducción de nutrientes.

En la figura 21 se muestran cuáles son los requisitos para vertidos procedentes de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles (propensas a eutrofización).

**CUADRO 2.** *Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles propensas a eutrofización tal como se identifican en el punto A. a) del anexo II. Según la situación local, se podrán aplicar uno o los dos parámetros. Se aplicarán el valor de concentración o el porcentaje de reducción (\*).*

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
Fósforo total	2 mg/l P (de 10 000 a 100 000 e-h) 1 mg/l (más de 100 000 e-h)	80	Espectrofotometría de absorción molecular
Nitrógeno total (2)	15 mg/l (de 10 000 a 100 000 e-h) (3) 10 mg/l (más de 100 000 e-h) (3)	70-80	Espectrofotometría de absorción molecular

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.  
 (2) Nitrógeno total equivalente a la suma de nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito.  
 (3) Estos valores de concentración constituyen medias anuales según el punto D.4.c) del anexo I. No obstante, los requisitos relativos al nitrógeno pueden comprobarse mediante medias diarias cuando se demuestre, de conformidad con el punto D.1 del anexo I, que se obtiene en mismo nivel de protección. En ese caso, la media diaria no deberá superar los 20 mg/l de nitrógeno total para todas las muestras, cuando la temperatura del efluente del reactor biológico sea superior o igual a 12 °C. En sustitución del requisito relativo a la temperatura, se podrá aplicar una limitación del tiempo de funcionamiento que tenga en cuenta las condiciones climáticas regionales.

Figura 21: Cuadro 2 del anexo I redactado por Directiva 98/15/CE de la Comisión de 27 de febrero de 1998, por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE del Consejo en relación con determinados requisitos establecidos en su anexo I («D.O.C.E.L.» 7 marzo). Vigencia: 27 marzo 1998. Fuente: Directiva 98/15/CE de la Comisión de 27 de febrero de 1998.

### 1.7 Reutilización de aguas depuradas.

Una gran problemática del agua efluente de los sistemas de tratamiento es el uso y gestión que se hace de ella. Por ello es importante la capacidad de reutilización del agua de las estaciones depuradoras de aguas residuales, ya que puede resultar una forma efectiva de combatir la escasez de agua.

La reutilización del agua es muy importante y su objetivo es conseguir agua que se puede usar en distintos usos como es el agrícola, industrial, municipal, etc.

La definición que hace el artículo 2 del *Real Decreto 1620/2007* sobre qué se entiende por reutilización de aguas es la siguiente: “aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad referida en función de los usos a que se van a destinar”.

Además, debemos tener en cuenta la diferencia entre los términos “aguas depuradas” y “aguas regeneradas”:

**-Aguas depuradas:** aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable.

**-Aguas regeneradas:** aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso que se destinan.

Según el artículo 4 del capítulo II del *Real Decreto 1620/2007*, se prohíbe la reutilización de aguas para los siguientes usos:

- Para el consumo humano, salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigido a dichas aguas y los usos.
- Para los usos propios de la industria alimentaria, tal y como se determina en el artículo 2.1 b) del Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de calidad del agua de consumo humano, salvo lo dispuesto en el anexo I.A.3.calidad 3.1 c) para el uso de aguas de proceso y limpieza en la industria alimentaria.
- Para el uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares.
- Para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura.
- Para el uso recreativo como agua de baño.
- Para el uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, excepto lo previsto para uso industrial en el anexo I.A.3.calidad 3.2.
- Para el uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos.
- Para cualquier otro uso que la autoridad sanitaria o ambiental considere un riesgo para la salud de las personas o un perjuicio para el medio ambiente.

Según el Anexo I.A del *Real Decreto 1620/2007*, se establecen unos criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos, los cuales son: usos urbanos, usos agrícolas, usos industriales, usos recreativos y usos ambientales. Estos usos se detallan en la tabla 2.

Tabla 2: Uso para la reutilización de las aguas. Fuente: Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991.

Usos	Tipos de uso
<b>Urbanos</b>	-Residencial: riego de jardines privados y descarga de aparatos sanitarios. -Servicios: riego de zonas verdes urbanas, baldeo de calles, sistemas contra incendios y lavado industrial de vehículos.
<b>Agrícolas</b>	-Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco. -Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles. -Riego de pastos para consumo de animales productores de carne o leche y acuicultura. -Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. -Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. -Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.
<b>Industriales</b>	-Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria y otros usos industriales; aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria. -Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
<b>Recreativos</b>	-Riego de campos de golf. -Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.
<b>Ambientales</b>	-Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno y por inyección directa, silvicultura y otros usos ambientales. -Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público.

## 1.8 Tratamiento y disposición de lodos.

Un problema a tener en cuenta en el tratamiento de aguas residuales es que durante este proceso se generan lodos, los cuales deben ser tratados. La cantidad de lodos a tratar dependerá del grado de tratamiento de las aguas.

Los lodos están formados por materiales que entran con las aguas residuales que están sin tratar y por sólidos que se generan durante el proceso de su tratamiento.

Por eso, para el tratamiento de lodos se utilizan procesos para separar grandes cantidades de agua y residuos sólidos.

El proceso de tratamiento y disposición del lodo puede ser la operación individual más costosa y compleja en los sistemas de tratamientos de aguas residuales.

El tratamiento de lodos tiene distintos procesos que son:

**-Espesado:** separación del agua por flotación o gravedad

**-Estabilización:** convertir los sólidos orgánicos a formas más inertes para que se puedan manejar sin causar molestias ni riesgos para la salud, mediante procesos de digestión

**-Acondicionamiento:** tratamiento de los lodos con reactivos o calor para que se pueda separar el agua con facilidad

**-Desaguado:** separación del agua sometiendo el lodo a vacío, secado o presión

**-Reducción:** convertir los sólidos a una forma estable por incineración u oxidación en húmedo

Tras el tratamiento de los lodos debe valorarse qué se hace con ellos, es decir, su disposición y/o utilización. En este sentido, los destinos más frecuentes del lodo generado por las EDAR son su disposición sobre el terreno para su uso agrícola, su utilización para la producción de compost, su aprovechamiento en otra EDAR y, por último, su deposición en vertedero y/o su secado térmico.

Entre los modos de aprovechamiento cabe destacar la disposición en el terreno para uso agrícola y el compostaje. La disposición sobre el terreno es la práctica de aprovechar residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales para recuperar agua o nutrientes. También se pueden utilizar para la elaboración de abonos orgánicos mediante procesos de compostaje.

## 2. Objetivos.

El objetivo principal del presente trabajo es realizar un análisis del estado de funcionamiento del conjunto de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana en función del tipo de tratamiento utilizado, del tamaño de población servida, así como del grado de sobreexplotación de la instalación.

Como objetivos secundarios se pretende:

- Analizar la distribución de EDAR en función del tamaño, el tipo de tratamiento y provincia.
- Establecer el coste económico de la depuración, así como el consumo energético de explotación, en función del caudal procesado y/o del tamaño de población.
- Analizar el cumplimiento de los requisitos de depuración exigidos, en especial, en la reducción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo.
- Establecer la influencia del tipo de tratamiento sobre la eliminación de nutrientes y/o materia orgánica.
- Analizar la capacidad de reutilización de las aguas generadas en función del tratamiento recibido.
- Establecer la influencia del grado de sobreexplotación sobre el funcionamiento de las EDAR.
- Analizar el destino y/o aprovechamiento de los lodos producidos.
- Establecer la producción de lodos en función del tipo de proceso y tamaño de la instalación.

### 3. Metodología.

#### 3.1 Recogida de datos.

Para la realización del trabajo, se han utilizado datos que se han recogido de la página de *Entitat de Sanejament d'aigües de la Generalitat Valenciana* (EPSAR). Se han recogido datos de las características y funcionamiento de cada una de las 483 estaciones depuradoras en servicio de la Comunidad Valenciana en el año 2018.

En la tabla 3 se indican las 50 variables para las que se ha recogido información.

Tabla 3: Listado de variables con información para cada EPSAR.

1	EDAR	26	Entrada de DBO
2	Provincia	27	Salida de DBO
3	Municipio	28	Rendimiento de DBO
4	Comarca	29	Entrada de DQO
5	Municipios servidos	30	Salida de DQO
6	Aireación prolongada(convencional)	31	Rendimiento de DQO
7	Aireación prolongada (carrusel)	32	Entrada de nitrógeno total
8	Aireación Prolongada (laguna aireada)	33	Salida de nitrógeno total
9	Soporte Sólido (lecho bacteriano)	34	Rendimiento de nitrógeno total
10	Soporte Sólido (CBR o biodiscos)	35	Entrada de fósforo total
11	Fangos Activos (carga media)	36	Salida de fósforo total
12	Fangos Activos (doble etapa)	37	Rendimiento de fósforo total
13	Tratamiento Extensivo (lecho de turba)	38	Destino de lodos (agrícola) en KgMH/año
14	Tratamiento Extensivo (humedal artificial)	39	Destino de lodos (agrícola) en KgMS/año
15	Eliminación de nitrógeno	40	Destino de lodos (vertedero) en KgMH/año
16	Eliminación de fósforo	41	Destino de lodos (vertedero) en KgMS/año
17	Tratamiento terciario	42	Destino de lodos (otra EDAR) en KgMH/año
18	Línea de fango	43	Destino de lodos (otra EDAR) en KgMS/año
19	Volumen depurado(m3/año)	44	Destino de lodos (compostaje) en KgMH/año
20	Volumen depurado(m3/día)	45	Destino de lodos (compostaje) en KgMS/año
21	he tratados	46	Destino de lodos (secado térmico) en KgMH/año
22	Kwh/año	47	Destino de lodos (secado térmico) en KgMS/año
23	Entrada de sólidos suspendidos	48	Total de lodos evacuados (KgMH/año)
24	Salida de sólidos suspendidos	49	Total de lodos evacuados (KgMS/año)
25	Rendimiento de sólidos suspendidos	50	Euros/año

#### 3.2 Tratamiento de datos.

A partir del listado de variables de la tabla 3, se ha determinado variables categóricas y calculado nuevas variables derivadas, por lo que para cada una de las 483 EDAR se ha dispuesto de 74 variables de información, que constituyen, aproximadamente, unos 35.700 valores de información. Para el análisis de estos datos, se ha utilizado tanto el software Microsoft Excel (para Office MSO) como el software SPSS *para Windows, Version 16.0*.

En la tabla 4 se muestra el listado total de variables utilizadas.

Tabla 4: Listado total de variables (originales, categóricas y derivadas).

1	Numero de la EDAR	38	Rendimiento de fósforo total
2	Nombre de la EDAR	39	Euros/m3
3	Nombre de la provincia	40	Euros/he
4	Codigo de la provincia	41	Euros/Kg de DQO
5	Codigo del tipo	42	Kwh/m3
6	Eliminación de nitrógeno	43	Kwh/año y he
7	Eliminación de fósforo	44	Kwh/Kg de DQO
8	Eliminación de nitrógeno y fósforo	45	Kg de DQO por año
9	Tratamiento terciario	46	Grupos de saturación
10	Secado	47	Codigo de grupos por tipo
11	Estabilización	48	Codigo de grupos de estabilización
12	Caudal del proyecto	49	Codigo de digestión
13	Porcentaje de saturación	50	Agrícola(KgMH/año)
14	Codigo de sobreexplotacion	51	Agrícola(KgMS/año)
15	Porcentaje de no saturación	52	Agrícola(Porcentaje de humedad)
16	Caudal (m3/año)	53	Vertedero(KgMH/año)
17	Caudal (m3/dia)	54	Vertedero(KgMS/año)
18	habitantes equivalentes (he)	55	Vertedero(Porcentaje de humedad)
19	Codigo del tamaño	56	Otra EDAR(KgMH/año)
20	Kw instalados	57	Otra EDAR(KgMS/año)
21	Kwh por año	58	Otra EDAR(Porcentaje de humedad)
22	Kwh por año instalado	59	Compostaje(KgMH/año)
23	Porcentaje de saturación de energia	60	Compostaje(KgMS/año)
24	Entrada de sólidos suspendidos	61	Compostaje(Porcentaje de humedad)
25	Salida de sólidos suspendidos	62	Secado termico(KgMH/año)
26	Rendimiento de sólidos suspendidos	63	Secado termico(KgMS/año)
27	Entrada de DBO	64	Secado termico(Porcentaje de humedad)
28	Salida de DBO	65	Lodos generados(KgMH/año)
29	Rendimiento de DBO	66	Lodos generados (KgMS/año)
30	Entrada de DQO	67	Lodos generados(Porcentaje de humedad)
31	Salida de DQO	68	Código lodos agrícola
32	Rendimiento de DQO	69	Código lodos vertedero
33	Entrada de nitrógeno total	70	Código lodos de otra EDAR
34	Salida de nitrógeno total	71	Código lodos compostaje
35	Rendimiento de nitrógeno total	72	Código lodos secado térmico
36	Entrada de fósforo total	73	Numero destinación lodos
37	Salida de fósforo total	74	Lodos generados (KgMH/m3)

## 4. Resultados.

### 4.1 Estado general de la depuración en la Comunidad Valenciana.

En la Comunidad Valenciana hay un total de 483 estaciones depuradoras de aguas residuales en servicio.

En la tabla 5 se muestra la suma, media, mínimo, máximo y desviación típica de las siguientes variables de las instalaciones: el caudal de agua residual tratada(m<sup>3</sup>/año), la población servida (h.e.), la energía consumida en el proceso (Kwh/año), la reducción de la carga contaminante alcanzada (Kg DQO/año) y los lodos generados (KgMS/año).

Tabla 5: Estado general de la depuración en la comunidad valenciana.

Variable	Suma	Media	Mínimo	Máximo	Desviación típica
<b>Agua tratada (m<sup>3</sup>/año)</b>	455.259.225	942.565	221	77.983.280	4.518.715
<b>Población servida (h.e.)</b>	6.184.959	12.805	2	998.349	58.209
<b>Energía consumida (Kwh/año)</b>	164.953.065	341.517	0	14.972.668	1.087.006
<b>Reducción de la carga contaminante (KgDQO/año)</b>	232.520.000	481.401	84,3840	36.106.000	2.129.787
<b>Lodos generados (KgMS/año)</b>	74.893.187	155.058	0	9.113.360	599.373

En la tabla 5 podemos ver que en la Comunidad Valenciana hay una gran cantidad de agua que pasa por las EDAR, más de 455 Hm<sup>3</sup>/año, por lo que hay un alto grado de depuración. Entre todas las EDAR dan servicio a una población superior a 6 millones de h.e. En estas instalaciones se produce una importante reducción de la materia orgánica de las aguas residuales, como se puede ver en la reducción de la carga contaminante, que es de 232,5 millones de Kg de DQO/anuales. Además, debemos tener en cuenta que las EDAR generan lodos, siendo en el caso de la Comunidad Valenciana una cantidad cercana a 75 millones de Kg de materia seca anuales. Por último, hay que destacar que para que estas instalaciones funcionen están consumiendo una energía de 165 MKwh al año.

Debido a que entre unas estaciones depuradoras a otras se presenta una gran variabilidad, tal y como se puede observar en los elevados valores de desviación típica que se han obtenido, los valores medios mostrados pueden no ser representativos.

### 4.2 Distribución de las estaciones depuradoras de aguas.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales pueden diferir según distintos criterios. Como se ha mencionado anteriormente, los tipos de tratamiento de las instalaciones pueden variar según el tamaño de la población a servir.

A continuación, se realizará un análisis para ver las diferencias que hay entre las estaciones de la Comunidad Valenciana según distintos criterios: provincias donde están ubicadas las instalaciones, por tamaño de población y por tipo de tratamiento.

#### 4.2.1 Por provincias.

La Comunidad Valenciana se divide en tres provincias: Alicante, Castellón y Valencia. Por eso, puede resultar interesante ver cuál es la distribución de estaciones depuradoras en la comunidad teniendo en cuenta las provincias, como se puede ver en la figura 22.

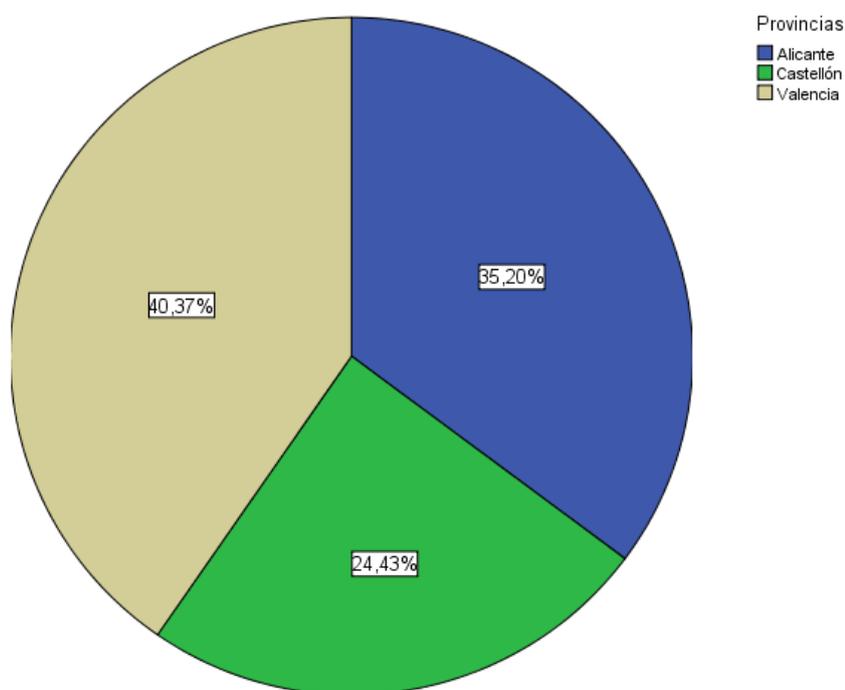


Figura 22: Porcentaje de EDAR en la Comunidad Valenciana por provincia.

Como se puede comprobar en la figura 22, la provincia que más porcentaje de EDAR presenta es la provincia de Valencia con un 40,37 %. Seguida por la provincia de Alicante con un 35,20 % y la provincia de Castellón con un 24,43 %. Esta distribución en el número de estaciones se corresponde con los núcleos de población de cada provincia, siendo la provincia de Valencia la más poblada y la que también cuenta con mayor número de municipios, seguida de la de Alicante y luego Castellón.

En la tabla 6 podemos ver el número de EDAR, el caudal de agua residual tratado y la población servida en cada provincia, además del total de la Comunidad Valenciana.

Tabla 6: Número de EDAR, caudal tratado (m<sup>3</sup>/año) y población servida(h.e.) por provincias

Provincias	Número de EDAR	Agua tratada (m <sup>3</sup> /año)	Población servida (h.e.)	Agua tratada promedio (m <sup>3</sup> /año)	Agua tratada (m <sup>3</sup> /año/h.e.)
Alicante	170	131.255.600	2.515.817	772.092	52,17
Castellón	118	54.562.435	598.152	462.394	117,99
Valencia	195	269.441.190	3.070.990	1.381.750	87,74
Comunidad Valenciana	483	455.259.225	6.184.959	942.566	73,61

El número total de estaciones depuradoras de aguas residuales en la Comunidad Valenciana es de 483. En la tabla 6 se observa que la provincia de Valencia presenta un valor 5 veces superior (en agua tratada y h.e.) que la provincia de Castellón, aunque ni siquiera llega a tener el doble de estaciones depuradoras. Esto se puede deber a que generalmente el tamaño de las instalaciones en Castellón es pequeño, mientras que en Valencia encontramos poblaciones con instalaciones de mayor tamaño. Por otra parte, se observa que las EDAR de la provincia de Castellón tratan una cantidad superior de

agua residual por h.e. (118 m<sup>3</sup>/h.e. anuales) que el resto de las provincias, superando el doble del valor promedio en las EDAR de la provincia de Alicante (52m<sup>3</sup>/h.e. anuales).

#### 4.2.2 Por tamaño población.

A la hora de tener en cuenta la población en las estaciones depuradoras, se ha distinguido entre 5 rangos de población servida, siendo los rangos los siguientes: menos de 2.000 h.e., entre 2.000 h.e. y 10.000 h.e., entre 10.000 h.e. y 50.000 h.e., entre 50.000 h.e. y 100.000 h.e. y más de 100.000 h.e.

En la tabla 7 se puede ver la distribución de las estaciones depuradoras según el rango de población servida y la provincia.

Tabla 7: Número de EDAR según población servida (h.e.) y provincia.

Población servida (h.e.)	Número de EDAR	Provincias		
		Alicante	Castellón	Valencia
<2.000	324	111	95	118
2.000-10.000	82	24	10	48
10.000-50.000	51	23	11	17
50.000-100.000	12	6	1	5
>100.000	14	6	1	7
<b>Total</b>	<b>483</b>	<b>170</b>	<b>118</b>	<b>195</b>

De las 483 instalaciones que hay en la Comunidad Valenciana, encontramos mayoritariamente un mayor número de EDAR menores a 2.000 h.e., en concreto 324 estaciones; y 82 estaciones entre 2.000 h.e. y 10.000 h.e., lo que constituye el 84% del total. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los municipios en la Comunidad Valenciana tienen menos de 10.000 habitantes, muchos de ellos teniendo menos de 1.000 habitantes. En las tres provincias, el número de instalaciones menores a 2.000 es similar, aunque hay un menor número en Castellón: 111 instalaciones en Alicante, 95 instalaciones en Castellón y 118 instalaciones en Valencia. En el caso de instalaciones entre 2.000 h.e. y 10.000 h.e. encontramos los siguientes números: 24 instalaciones en Alicante, 10 instalaciones en Castellón y 48 instalaciones en Valencia, habiendo bastantes más en esta última que las otras dos provincias. Hay que destacar también que en Castellón solo encontramos 2 instalaciones de más de 50.000 h.e., mientras que en Alicante y Valencia hay 12 instalaciones de más de 50.000 h.e. en cada una. No obstante, las instalaciones correspondientes a más de 50.000 h.e. únicamente constituyen el 5% del total de las instalaciones de la Comunidad Valenciana.

#### 4.2.3 Por tipo de tratamiento.

No todas las estaciones depuradoras de aguas utilizan los mismos tipos de tratamientos, sino que varían según las necesidades del agua residual a tratar. De esta forma, podemos distinguir primero diferentes tipos de tecnologías de tratamiento: aireación prolongada, procesos biológicos de soporte sólido, fangos activos, tratamiento extensivo y los procesos mixtos que combinan algunos tipos de los anteriores.

En la tabla 8 se muestra el número y porcentaje de EDAR según el tamaño, provincia y tipo de tecnología.

Tabla 8: Número y porcentaje de EDAR según tipo de tecnología, población servida y provincia.

Tipo de tecnología		Total	Población servida (h.e.)					Provincias		
			<2000	2000-10000	10000-50000	50000-100000	>100000	Alicante	Castellón	Valencia
Aireación Prolongada	Recuento	367	253	71	35	7	1	144	67	156
	% del total	76,0%	52,4%	14,7%	7,2%	1,4%	0,2%	29,8%	13,9%	32,3%
Soporte Sólido	Recuento	53	48	4	1	0	0	6	34	13
	% del total	11,0%	9,9%	0,8%	0,2%	0,0%	0,0%	1,2%	7,0%	2,7%
Fangos Activos	Recuento	41	5	4	14	5	13	17	8	16
	% del total	8,5%	1,0%	0,8%	2,9%	1,0%	2,7%	3,5%	1,7%	3,3%
Tratamiento Extensivo	Recuento	12	12	0	0	0	0	0	4	8
	% del total	2,5%	2,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	1,7%
Procesos Mixtos	Recuento	10	6	3	1	0	0	3	5	2
	% del total	2,1%	1,2%	0,6%	0,2%	0,0%	0,0%	0,6%	1,0%	0,4%
Total	Recuento	483	324	82	51	12	14	170	118	195
	% del total	100,0%	67,1%	17,0%	10,6%	2,5%	2,9%	35,2%	24,4%	40,4%

Como se puede comprobar en la tabla 8, la mayoría de los procesos son de aireación prolongada, en este caso son un 76% del total de EDAR. La aireación prolongada se utiliza como se puede ver en la tabla en instalaciones pequeñas, siendo un 52,4% de las instalaciones para menos de 2.000 h.e., y un 17,7% de las instalaciones para una población servida entre 2.000 h.e. y 10.000 h.e. Los procesos de soporte sólido suponen un 11% del total de instalaciones, y como se puede observar se utilizan prácticamente en su totalidad en pequeñas poblaciones; en este caso se puede ver que el 9,9% del total de instalaciones utilizar procesos de soporte sólido para menos de 2.000 h.e. En cambio, los procesos de fangos activos, que suponen un 8,5% del total se utilizan mayoritariamente en poblaciones grandes o medianas. Finalmente, los tratamientos extensivos y los procesos mixtos apenas suponen, en conjunto, un 4,6% del total, y se utilizan prácticamente para poblaciones pequeñas.

A continuación, se muestra un análisis más detallado, considerando cada uno de los procesos de tratamiento empleados.

En la tabla 9 y en la figura 23 aparecen el número de EDAR que contiene cada tipo de tratamiento, diferenciando también según la provincia.

Tabla 9: Número de EDAR por tipo de tratamiento y provincia.

Tipo de tratamiento	Provincia			
	Alicante	Castellón	Valencia	Total
Aireación Prolongada: Convencional (carga baja)	72	32	94	198
Aireación Prolongada: Canal de oxidación	67	34	56	157
Aireación Prolongada: Laguna aireada	1	0	3	4
Aireación Prolongada: SBR o Reactores Secuenciales	0	1	2	3
Aireación Prolongada: MBR o Biorreactor de Membranas	4	0	1	5
Soporte Sólido: Lecho Bacteriano	2	6	2	10
Soporte Sólido: CBR o Biodiscos	4	28	11	43
Fangos Activos: Carga media	12	8	14	34
Fangos Activos: Doble Etapa	5	0	2	7
Tratamiento Extensivo: Lecho de turba	0	2	7	9
Tratamiento Extensivo: Humedal Artificial	0	2	1	3
Aireación Prolongada y Soporte Sólido	2	3	1	6
Aireación Prolongada / Soporte Sólido y Humedal Artificial	1	2	1	4

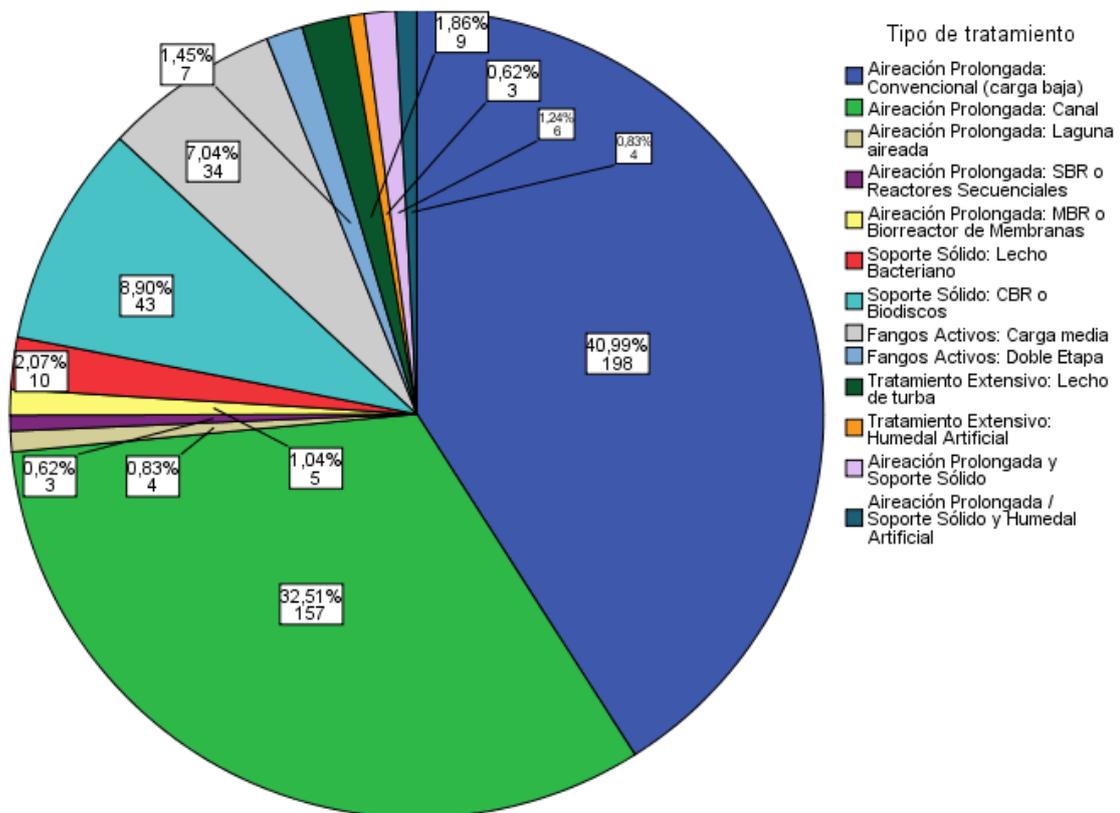


Figura 23: Número y porcentaje de EDAR según tipo de tratamiento.

Tal y como puede observarse, los tratamientos de aireación prolongada son, en general, los más comunes. En primer lugar, los tratamientos de aireación prolongada como son el proceso convencional de aireación prolongada (carga baja) y el canal de oxidación, resultando minoritaria la presencia de lagunas aireadas, de reactores secuenciales (SBR) y de membrana (MBR). Entre los procesos de soporte sólido, donde encontramos el lecho bacteriano y los CBR o biodiscos, los CBR resultan más frecuentes que los lechos bacterianos. Además, los fangos activos son mayoritariamente de una etapa, si bien existe presencia de algunas estaciones con doble etapa. Por otra parte, los tratamientos extensivos más frecuentes son los lechos de turba, existiendo pocas EDAR basadas en humedales artificiales. Finalmente, encontramos también la presencia de algunas plantas con procesos combinados del tipo aireación prolongada y soporte sólido, así como procesos combinados de aireación prolongada y/o soporte sólido con humedal artificial.

#### 4.3 Consumo energético de explotación y coste económico de depuración.

A la hora de recoger los datos del coste económico de depuración, hay que tener en cuenta que no se han encontrado los datos económicos de todas las estaciones. En este caso, se han recogido los datos de 90 estaciones depuradoras de aguas residuales. Por ello, en cuanto al coste económico, solo se han considerado para el análisis aquellas estaciones depuradoras de las que se dispone información.

En este apartado se ha analizado tanto el consumo energético de explotación de la EDAR, como el coste económico derivado en el proceso de depuración para distintos tipos de tratamientos y tamaños de población. Así mismo, se ha analizado la relación entre coste y consumo energético.

En primer lugar, en la figura 24 se muestra el coste económico anual de depuración en función de la población servida para cada tipo de tratamiento.

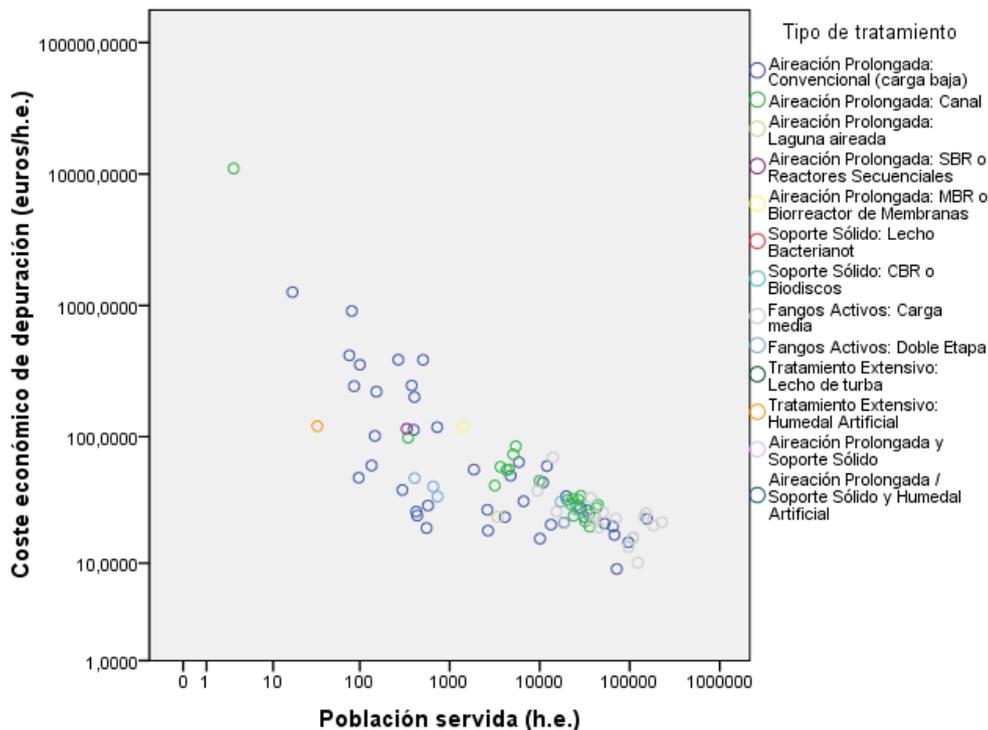


Figura 24: Coste económico de depuración en función de la población servida para cada tipo de tratamiento.

A partir de los resultados obtenidos se observa que el coste económico de depuración se reduce al aumentar el tamaño de la población. Es decir, que con relación a los euros/h.e., sale más económico cuando la población servida es mayor. Por ejemplo, para una población servida de 100.000 h.e. el coste sería de entre 10 euros/h.e. y 50 euros/h.e., mientras que para una población servida menor como en el caso de 1.000 h.e., podemos encontrar que el coste se situaría entre los 50-100 euros/h.e. Para poblaciones inferiores a 100 h.e. el coste sobrepasaría los 100-200 euros/h.e.

En segundo lugar, en la figura 25 se muestra el consumo energético de explotación en función de la población servida para cada tipo de tamaño.

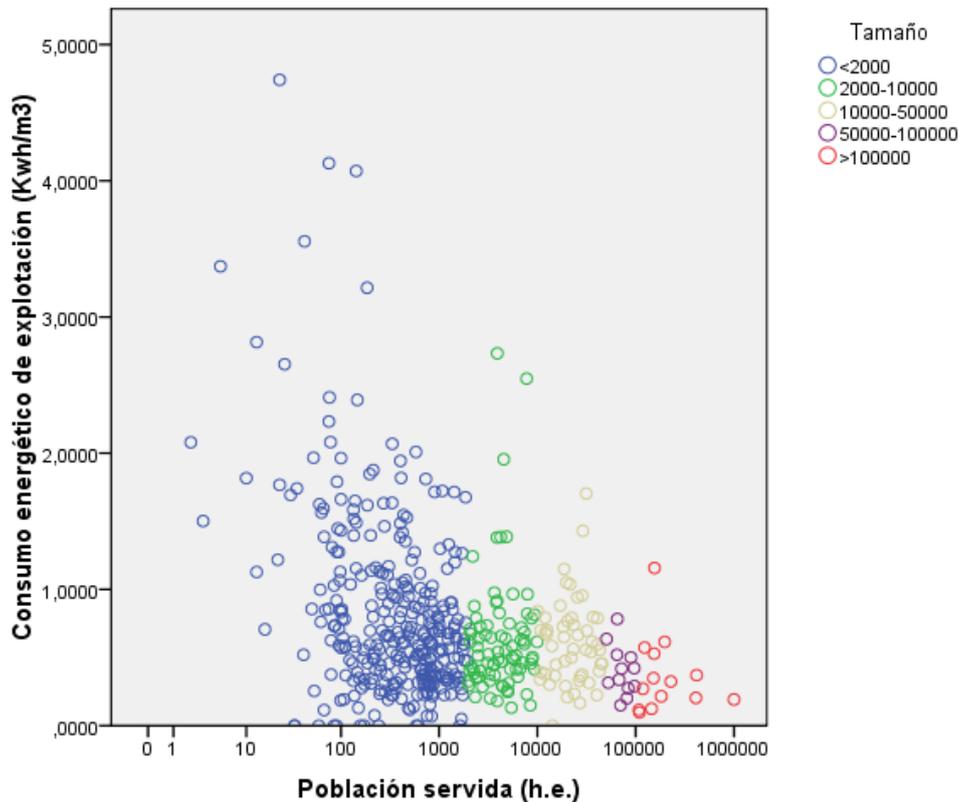


Figura 25: Consumo energético de explotación en función de la población servida para cada tipo de tamaño.

A partir de los resultados obtenidos se observa que el consumo energético varía en un rango más amplio al disminuir el tamaño de la población, mientras que para mayor tamaño de población la variabilidad es menor. Por ejemplo, para un valor de 1.000 h.e. el consumo energético de explotación estaría entre 0,2-2,5 Kwh/m<sup>3</sup>. En cambio, para 100.000 h.e. estaríamos hablando de unos valores entre 0,2-0,8 Kwh/m<sup>3</sup>. No obstante, cabe destacar una alta variabilidad, probablemente asociada al tipo de tratamiento utilizado en cada EDAR.

Esta variabilidad en el consumo energético es menor en instalaciones para poblaciones grandes y mayor en aquellas de menor tamaño.

Por dicho motivo, en la figura 26 se ha estudiado la influencia del tipo de tratamiento en el consumo energético en función del tamaño de población.

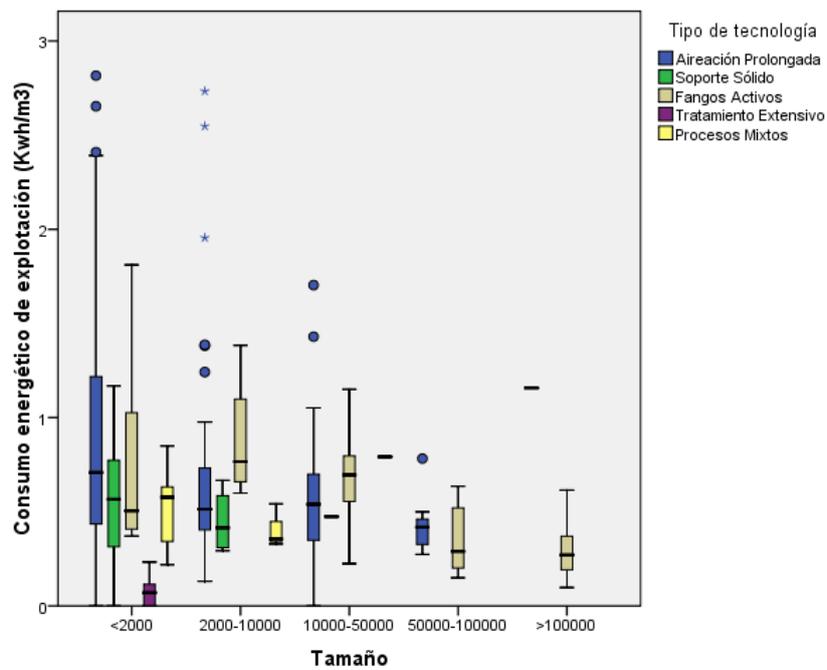


Figura 26: Consumo energético de explotación en función del tamaño de población para cada tipo de tecnología.

En la figura 26 podemos destacar que los tratamientos extensivos son los que presentan, destacadamente, un menor consumo energético. Por otra parte, los procesos de fangos activos y aireación prolongada son los que presentan un consumo energético superior. En general, para un determinado tipo de tratamiento, dicho consumo energético es más elevado en poblaciones pequeñas que en aquellas más grandes.

Por último, se ha tratado de establecer la relación entre el coste económico de depuración y el consumo energético de explotación en función del tamaño de población (figura 27 y figura 28).

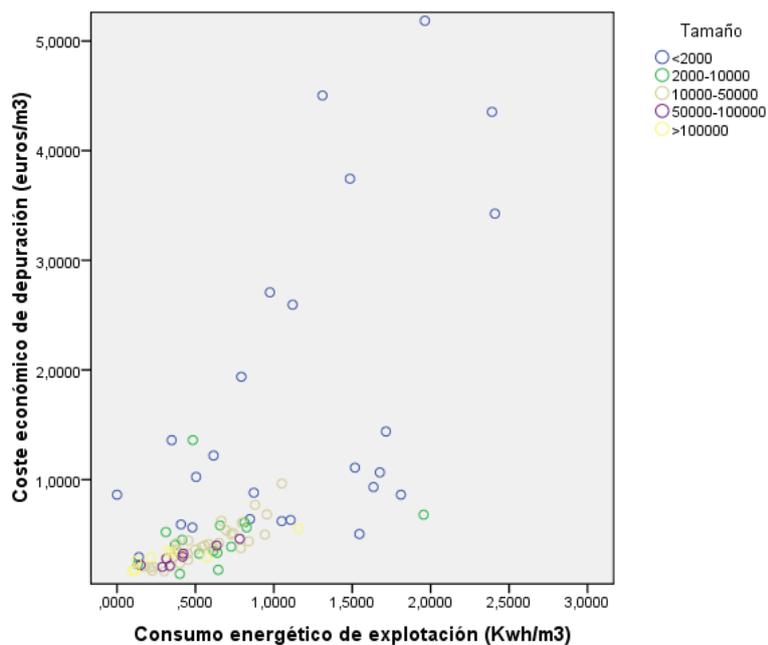


Figura 27: Coste económico de depuración en función del consumo energético de explotación para cada tipo de tamaño de población.

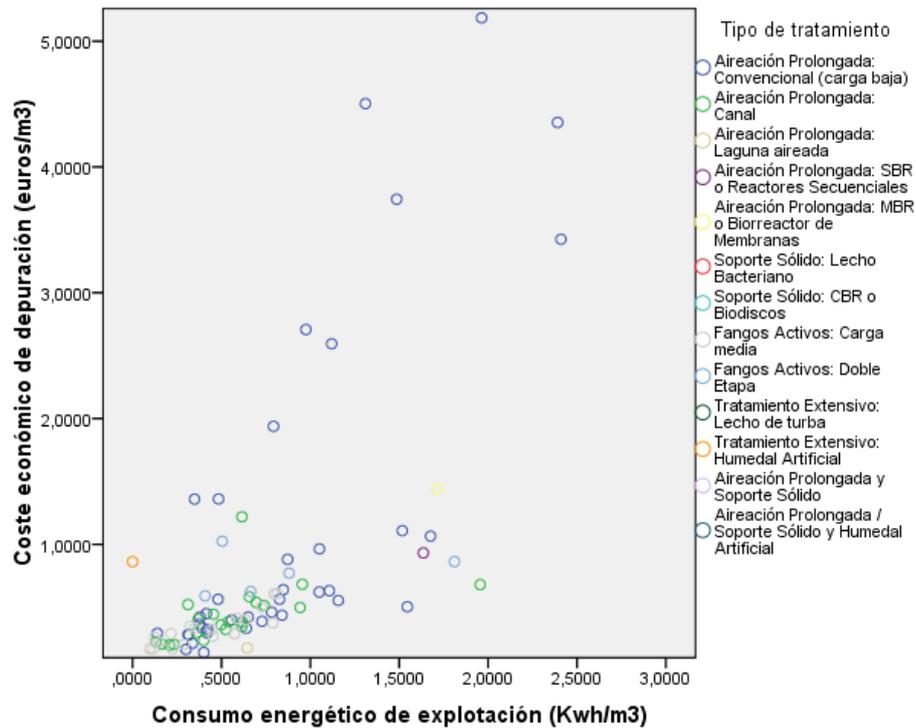


Figura 28: Coste económico de depuración en función del consumo energético de explotación para cada tipo de tratamiento.

Como se puede comprobar en las figuras 27 y 28, existe una relación o tendencia donde a mayor consumo energético de explotación ( $\text{Kwh/m}^3$ ) mayor es también el coste económico de depuración ( $\text{euros/m}^3$ ). Cabe mencionar que en la figura 27 las EDAR que aparecen con mayor coste son todas de tamaño pequeño, lo que significa que las estaciones pequeñas son más costosas en relación con el coste específico de depuración ( $\text{euros/m}^3$ ).

#### 4.4 Saturación de las estaciones depuradoras de aguas residuales.

Es importante conocer el estado del grado de explotación de las diferentes EDAR. Cabe considerar que una estación depuradora se construye con un caudal de diseño para el que presentaría unas condiciones óptimas de funcionamiento. No obstante, el caudal procesado puede ser diferente al proyectado en un momento dado. Por lo tanto, dependiendo del caudal que procese la EDAR, su funcionamiento podría verse afectado.

En este sentido se ha establecido el grado de saturación como la relación porcentual entre el caudal procesado y el caudal de proyecto o de diseño de la EDAR. En base a los resultados, podemos encontrar EDAR que funcionen cerca del 100% (condiciones óptimas), pero también podemos encontrar algunas que superen el porcentaje de saturación, es decir, están sobreexplotadas; o algunas que tengan una saturación demasiado baja.

En este apartado se pretende analizar la influencia del grado de saturación de las EDAR de la Comunidad Valenciana sobre su funcionamiento.

En la figura 29 se puede ver el número de EDAR según su porcentaje de saturación.

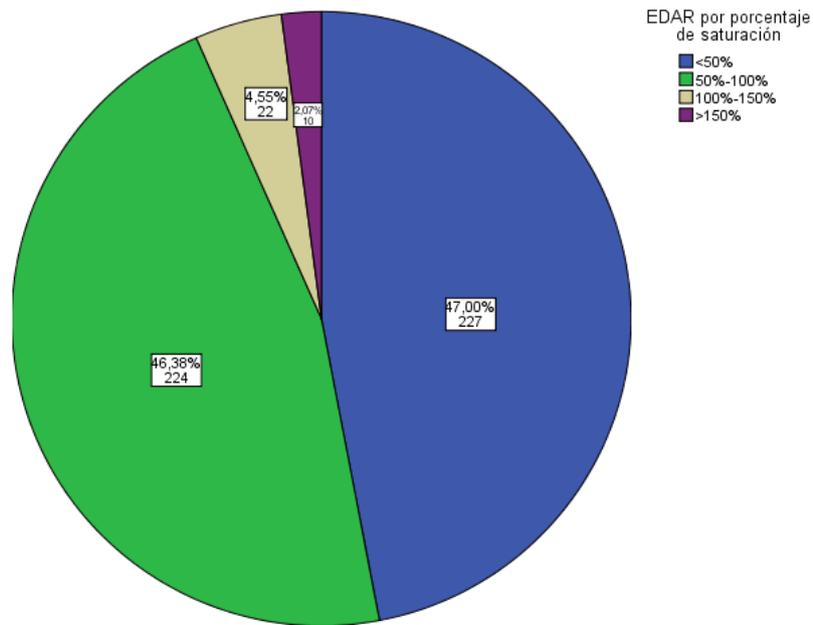


Figura 29: Número y porcentaje de EDAR según su porcentaje de saturación.

El 93.4% de las estaciones funcionan por debajo del 100 %, por lo cual no estarían sobreexplotadas. De estas, el 46.4% (224 instalaciones) tendrían una capacidad superior al 50%, mientras que el 47% (227 instalaciones) se presentan una saturación inferior al 50%, estando lejos de sus condiciones óptimas de funcionamiento. El 6.6% restante de las EDAR estaría operando por encima de su capacidad. En concreto, el 4.5% (22 instalaciones) se encuentran entre 100% y 150%, y el 2.1% superaría (10 instalaciones) funcionan con más de 150% de porcentaje de saturación. Estas últimas podemos decir que están saturadas o sobreexplotadas. En la figura 30 se muestra un histograma que permite ver la distribución de EDAR en función de la saturación de su capacidad de tratamiento.

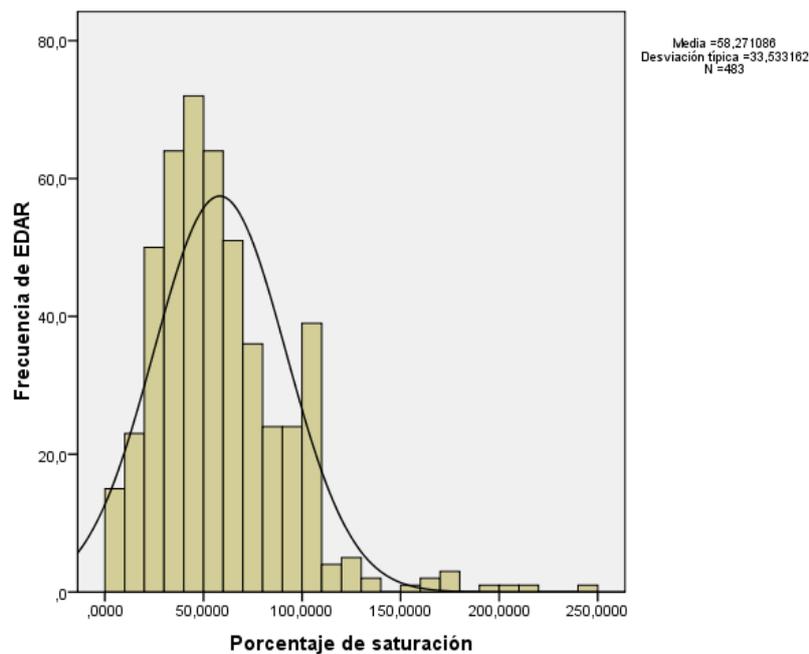


Figura 30: Frecuencia de EDAR en función de su porcentaje de saturación.

En la figura 30 se puede observar que una gran parte de las estaciones están entre un 30% y 70% de porcentaje de saturación, y la media estaría en el 58% de saturación. Con ello, puede deducirse que, en general, la capacidad de depuración disponible es alta y permitiría cubrir las necesidades futuras asociadas a un incremento en el caudal o población.

En la figura 31 se ha relacionado el consumo energético por habitante y año con el porcentaje de saturación de cada EDAR. Por otra parte, en la figura 32 se relaciona el consumo energético por Kg DQO eliminada con dicho porcentaje de saturación.

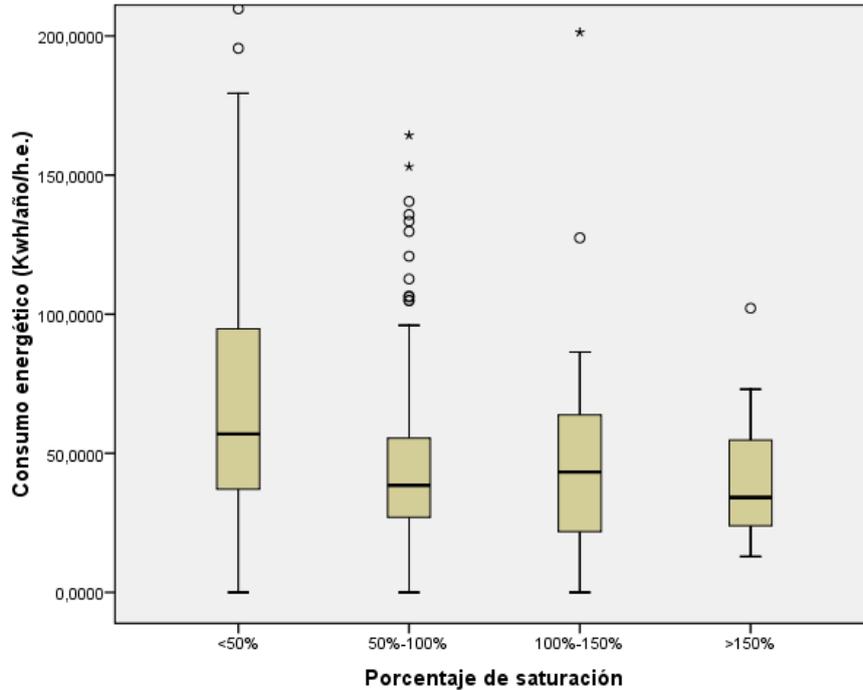


Figura 31: Consumo energético, por habitante y año en función del porcentaje de saturación.

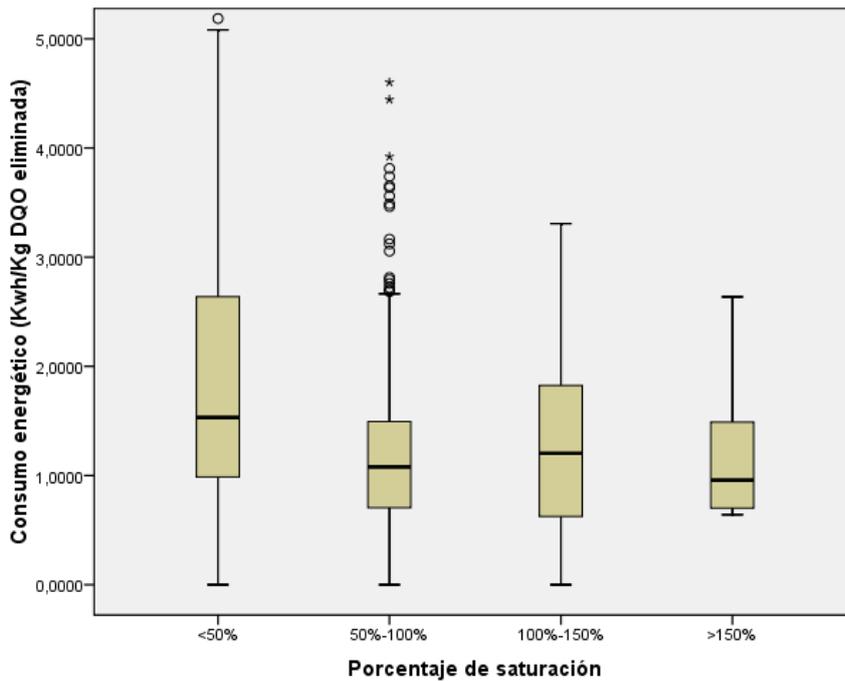


Figura 32: Consumo energético, por Kg DQO eliminada en función del porcentaje de saturación.

En la figura 31, se puede observar que la media de consumo energético por habitante y año es más alta en las instalaciones que tienen un porcentaje de saturación inferior al 50% y también, aunque en menor medida, en las EDAR con un porcentaje de saturación entre 100% y 150%.

En la figura 32, al igual que en el caso anterior, el valor medio del consumo energético por Kg DQO eliminada (rendimiento de depuración) más alto lo presentan las EDAR con un porcentaje de saturación menor del 50% y aquellas con una saturación en el rango entre 100% y 150%. El mayor consumo energético se produce, generalmente, en aquellas EDAR que operan en condiciones bastante por debajo de su capacidad real de funcionamiento, saturación inferior al 50% de su capacidad.

En la figura 33 se relaciona el coste económico del proceso con el porcentaje de saturación de la capacidad operativa de la planta.

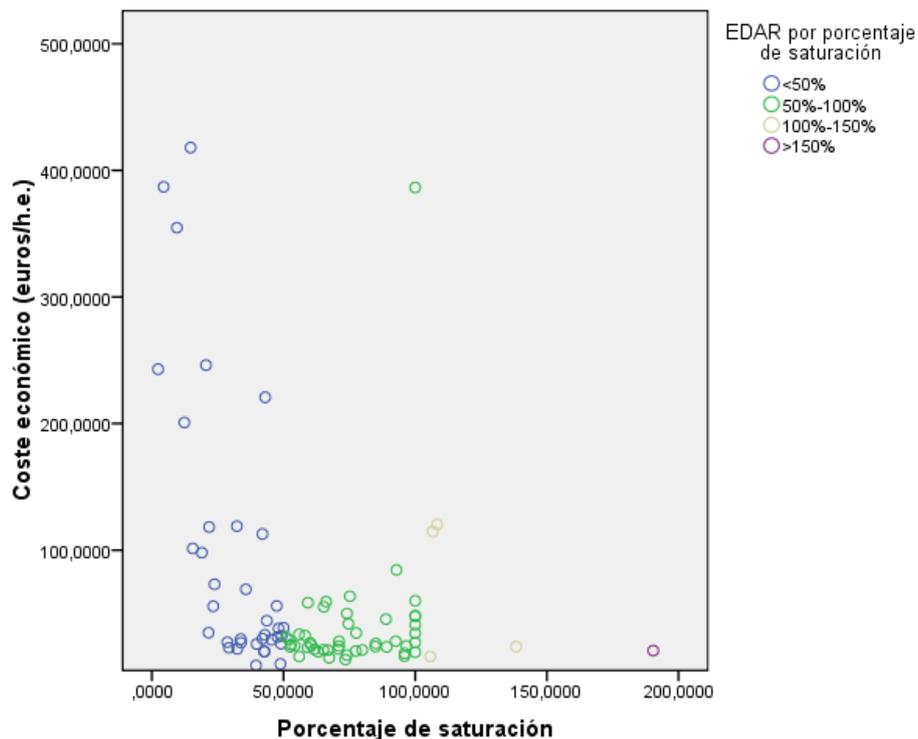


Figura 33: Coste económico en función del porcentaje de saturación.

En la figura 33 se observa que en general, hay mayor coste económico en las EDAR que tienen un porcentaje de saturación menor. Con ello podemos concluir que, en general, económicamente son más costosas las estaciones que tienen un porcentaje de saturación menor a 50%, seguidas por aquellas que superan el 100%.

#### 4.5 Rendimiento en la eliminación de materia orgánica.

En la figura 20 se muestra los requerimientos porcentuales en la eliminación de la carga contaminante entrante en los sistemas de depuración. En concreto, en este apartado, se ha evaluado el rendimiento en la reducción de los parámetros DQO y DBO<sub>5</sub>, que caracterizan la materia orgánica presente en el agua residual influente.

En la figura 34, se ha analizado el rendimiento en la eliminación de DBO<sub>5</sub> en función de los distintos tipos de tecnologías de las estaciones depuradoras.

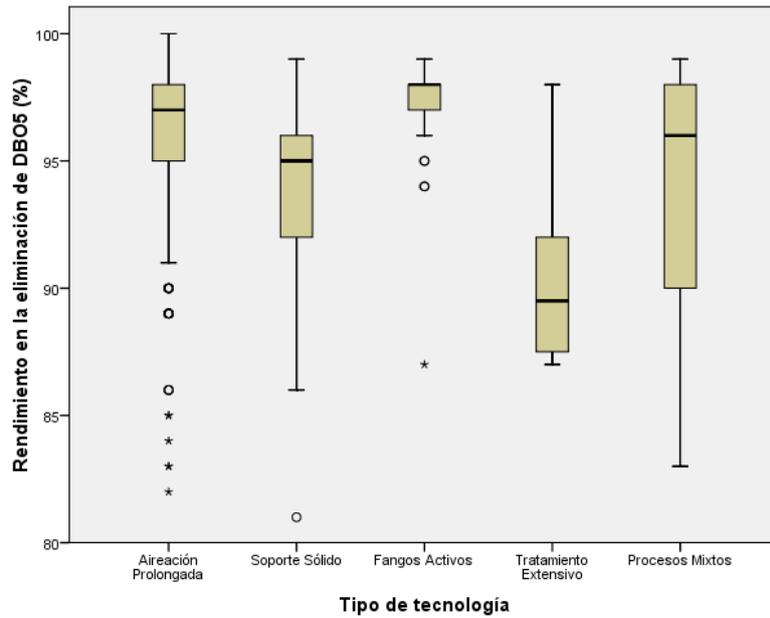


Figura 34: Rendimiento en la eliminación de DBO<sub>5</sub> y en función del tipo de tecnología.

Dado que, para cumplir con la legislación, el rendimiento de DBO<sub>5</sub> debe ser por lo menos del 70%, o 40% de conformidad según el apartado 2 del artículo 4 de la Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, cabe destacar que se comprueba que en todos los casos se cumple con los límites impuestos por el apartado 2 del artículo 4 de la Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991.

En concreto, las EDAR que utilizan los fangos activos y la aireación prolongada obtienen una media de rendimiento en la eliminación de DBO<sub>5</sub> superior a los demás tipos de tecnologías. Los tratamientos extensivos son los que presentan un menor rendimiento. No obstante, dicho rendimiento aumenta en los procesos mixtos que los incluyen.

En la figura 35 se ha representado el rendimiento en la eliminación de la DQO. En este caso, según cita la Directiva, para cumplir con la legislación, el rendimiento de la DQO debe ser por lo menos del 75%.

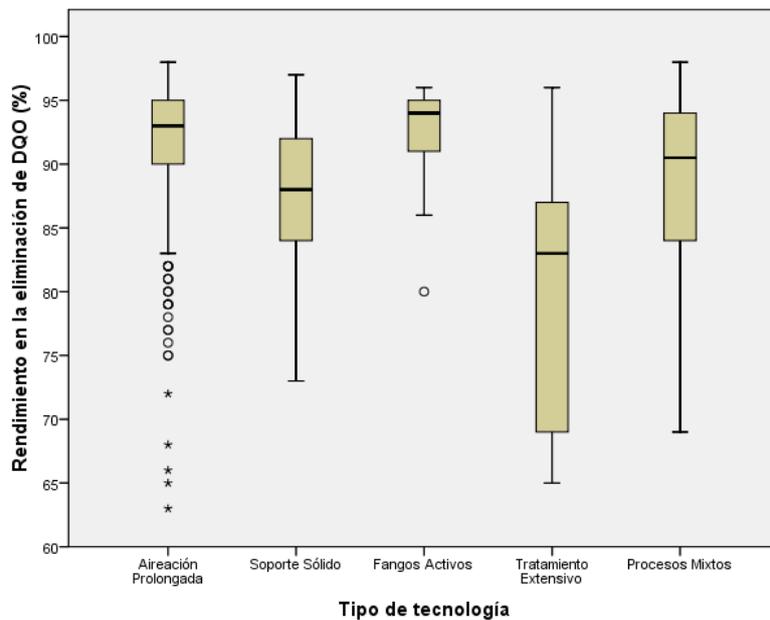


Figura 35: Rendimiento en la eliminación de DQO en función del tipo de tecnología.

En la figura 35 se observa que los tipos de tratamiento que presentan mejor rendimiento en la eliminación de DQO son la aireación prolongada y fangos activos como en el caso anterior, con una media ambos cercana al 95% de rendimiento. En el caso de las estaciones con aireación prolongada, encontramos unos pocos casos en los que el rendimiento no llega al mínimo establecido por la legislación (75%). De todos los tipos, el que tiene un rendimiento más bajo en general es el tratamiento extensivo, en el cual también podemos ver que hay estaciones que rinden por debajo de lo permitido. Este rendimiento mejora al combinarlos en procesos mixtos.

En la figura 36 se ha comparado el rendimiento en eliminación de DQO promedio y el consumo energético promedio para los distintos tipos de tratamiento.

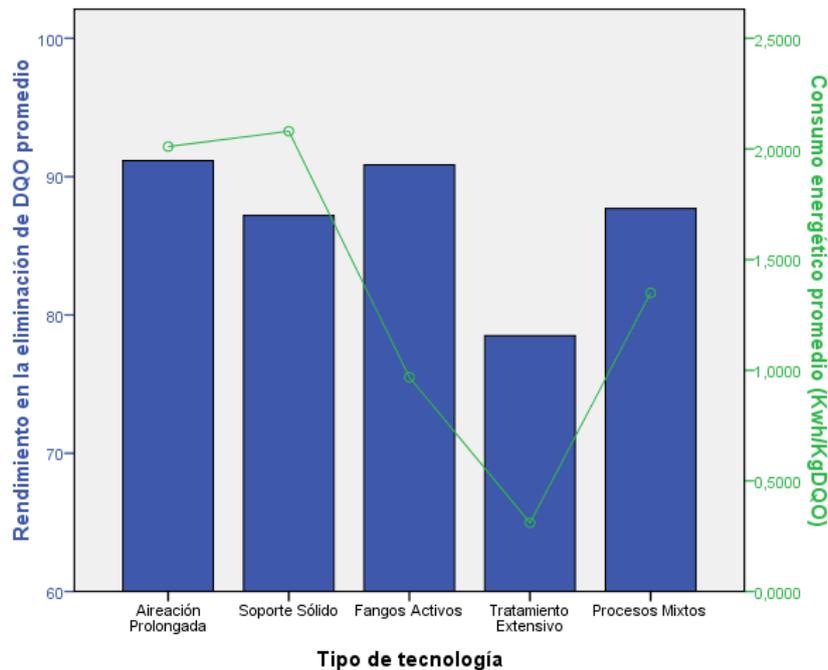


Figura 36: Rendimiento en eliminación de DQO promedio y consumo energético promedio para las distintas tecnologías.

En la figura 36 puede que la aireación prolongada presenta un alto rendimiento en la depuración, pero su consumo energético es superior. Por su parte, los procesos de fangos activos presentan un alto rendimiento con un menor consumo. Los tratamientos extensivos resultan los más económicos, pero su rendimiento en la depuración es menor que el resto. En este sentido, su combinación con otros tratamientos (aireación prolongada o soporte sólido) resultan en una buena alternativa, ya que mejora el rendimiento de la depuración sin aumentar excesivamente el consumo energético.

#### 4.6 Eliminación de nutrientes.

En este apartado se analizará la capacidad de las EDAR para la eliminación de nutrientes, que en este caso hace referencia a la eliminación de nitrógeno y la eliminación de fósforo.

Cabe señalar que, en este sentido, podemos encontrar distintos esquemas de tratamiento orientados hacia la eliminación de nitrógeno y fósforo. Hay que tener en cuenta que son aquellas EDAR que vierten a zonas sensibles las que están obligadas a eliminar nutrientes.

Así, algunas EDAR presentan esquemas para eliminar conjuntamente nitrógeno y fósforo, mientras que otras sólo tratan de eliminar alguno de estos nutrientes (nitrógeno o fósforo). Por último, existen EDAR cuyos esquemas no están orientados hacia la eliminación de nitrógeno ni de fósforo.

En la tabla 10, se muestra la distribución de EDAR en función del tipo de eliminación de nutrientes que presentan sus esquemas de tratamiento.

Tabla 10: Número y porcentaje de EDAR según la eliminación de nutrientes que presentan.

Eliminación de nutrientes	Frecuencia	Porcentaje
No elimina nitrógeno ni fósforo	137	28,4
Elimina nitrógeno	205	42,4
Elimina fósforo	22	4,6
Elimina nitrógeno y fósforo	119	24,6
<b>Total</b>	<b>483</b>	<b>100,0</b>

Aproximadamente, la cuarta parte de la EDAR (24,6%) posibilitan la eliminación de nitrógeno y fósforo simultáneamente. Además, casi la mitad de las EDAR eliminan alguno de los nutrientes, (un 42,4% eliminan nitrógeno y, un 4,6% eliminan fósforo). Por último, el 28,4% de las estaciones depuradoras presentan esquemas que no posibilitarían la eliminación de nitrógeno ni fósforo.

Sin embargo, generalmente en los procesos biológicos se produce cierta eliminación de nutrientes, aunque esta podría ser insuficiente y no alcanzar los requerimientos legislativos, en especial, para zonas sensibles a la eutrofización.

En la figura 37 se muestra la influencia del esquema de tratamiento sobre el rendimiento en la eliminación de nitrógeno total.

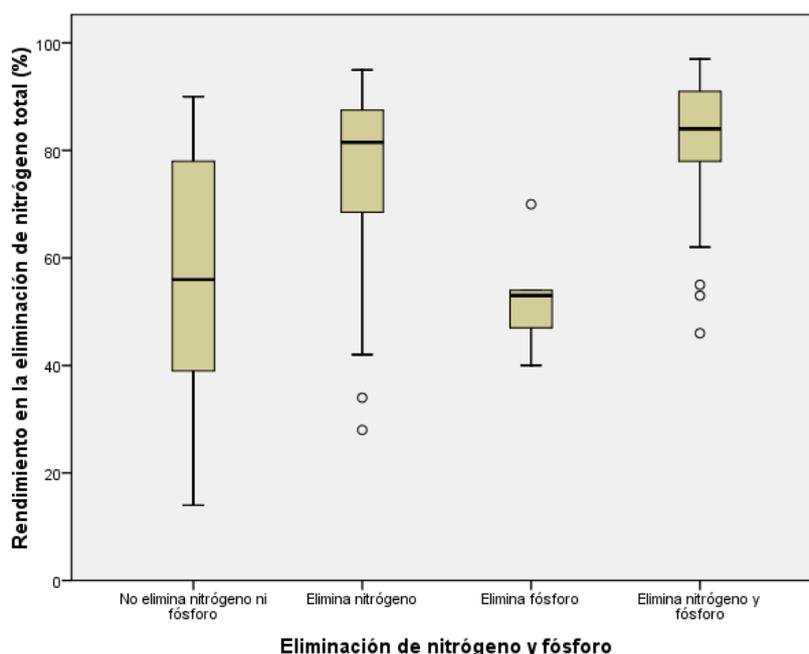


Figura 37: Relación entre el rendimiento en la eliminación de nitrógeno total y el esquema de tratamiento.

En la figura 37 se puede observar que el rendimiento en la eliminación de nitrógeno total es superior en las EDAR con esquemas de tratamiento orientados hacia la eliminación de este nutriente (eliminación de nitrógeno o conjunta). En ambos casos la media de rendimiento está alrededor del 80%. Cabe mencionar que la exigencia de depuración es del 70-80% de eliminación de nitrógeno para aquellas instalaciones que vertieran en zonas sensibles con una población servida mayor a 100.000 h.e. Por otra parte, las EDAR con esquemas no orientadas a eliminar nitrógeno presentan cierto grado de eliminación de nitrógeno, aunque su rendimiento disminuye bastante situándose el valor por debajo del 60%.

De modo similar, la figura 38 muestra la influencia del esquema de tratamiento sobre el rendimiento en la eliminación de fósforo total.

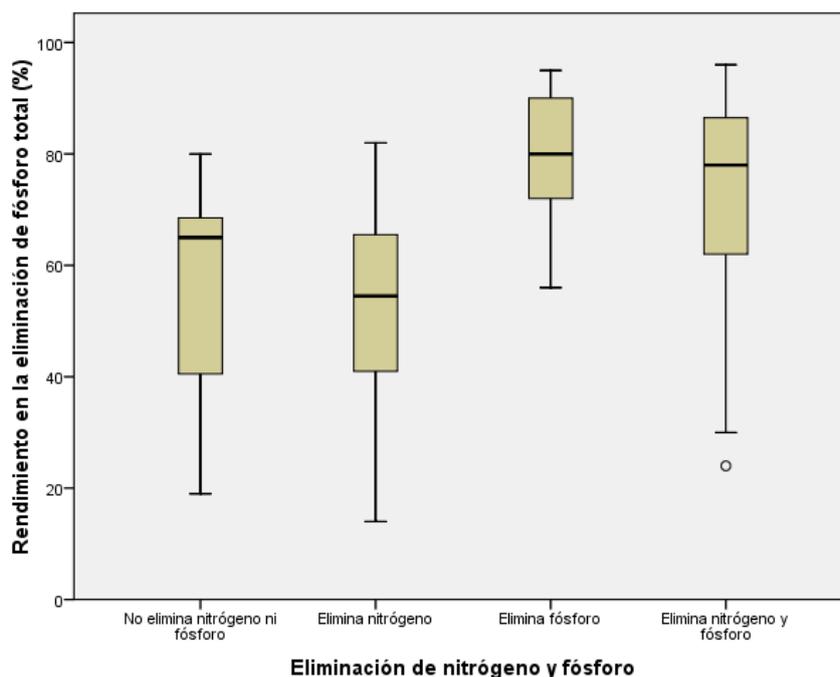


Figura 38: Relación entre el rendimiento en la eliminación de fósforo total y el esquema de tratamiento.

De forma similar a lo observado para el nitrógeno, el rendimiento de fósforo total es más alto en los esquemas orientados a su eliminación (de forma individual o conjunta), presentando un valor medio alrededor del 80%, aunque ligeramente inferior para esquemas con eliminación conjunta de fósforo y nutrientes. Los requerimientos legislativos para las instalaciones que vertieran en zonas sensibles con una población servida mayor a 100.000 h.e. es del 80% de eliminación del fósforo.

#### 4.7 Reutilización.

En este apartado se analiza la potencialidad para la reutilización de las aguas residuales de las estaciones depuradoras. En este sentido, se ha analizado la disponibilidad de tratamientos terciarios en los esquemas de depuración de las EDAR que posibilitarían dicha reutilización.

El tratamiento terciario de las estaciones depuradoras de aguas residuales no es un tratamiento obligatorio como se ha mencionado antes, sino que solo lo es cuando la ley obliga a eliminar algún componente específico del agua residual. La tabla 11 muestra el número de estaciones que presentan tratamiento terciario.

Tabla 11: Número y porcentaje de EDAR con y sin tratamiento terciario.

Tratamiento	EDAR		Agua depurada	
	Número	Porcentaje	(m <sup>3</sup> /año)	Porcentaje
Sin tratamiento terciario	439	90,9	179.651.504	39,5
Con tratamiento terciario	44	9,1	275.607.721	60,5
Total	483	100,0	455.259.225	100

De las 483 estaciones depuradoras que hay en la Comunidad Valenciana, solo 44 tienen tratamiento terciario, o lo que es lo mismo, el 9,1% de las estaciones de la comunidad. Esto se debe a que como se ha dicho antes, es un tratamiento no obligatorio que solo hay que aplicar en ciertas condiciones. Sin embargo, aunque el número de EDAR que utilizan el tratamiento terciario es pequeño, se trata de EDAR para grandes poblaciones por lo que producen un 60,5% del caudal total depurado; mientras que el 90,9% restante de las EDAR, sin tratamiento terciario, solo constituyen un 39,5% del total de agua depurada. En este sentido, la capacidad para la regeneración de agua se situaría en el 60% del agua residual tratada.

En la figura 39 se muestra la distribución de las EDAR que presentan o no, el tratamiento terciario en función del caudal de agua depurada(m<sup>3</sup>/día).

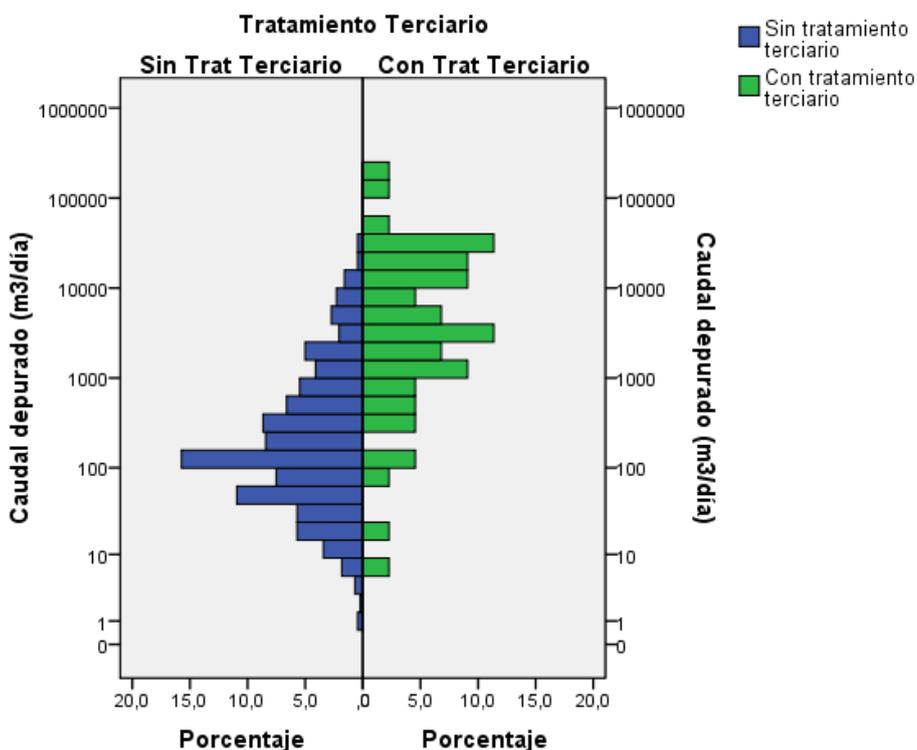


Figura 39: Distribución de EDAR en función del tipo de tratamiento terciario y el caudal depurado.

Podemos ver que la gran parte de EDAR con tratamiento terciario tienen caudales elevados (m<sup>3</sup>/día), mientras que las EDAR sin tratamiento terciario presentan caudales de agua depurada bastante menores. Esto es debido a que la gran parte de las EDAR

que tienen tratamiento terciario son de tamaño mediano y grande, y las estaciones de pequeño tamaño que tienen tratamiento terciario son pocas.

#### 4.8 Lodos.

Por último, se pretende hacer un estudio de la producción y aprovechamiento de los lodos o fangos producidos en las EDAR.

En primer lugar, cabe considerar que los esquemas de tratamiento de la línea de fangos dependen del tipo de tratamiento llevado a cabo en la línea de aguas. Así, es posible encontrar diferentes tipologías. Una diferenciación importante es la presencia, o no, de etapas de estabilización en la línea de fangos. En la figura 40, se muestra la distribución de EDAR en función del caudal de proyecto ( $m^3/día$ ) para esquemas con y sin estabilización de fangos.

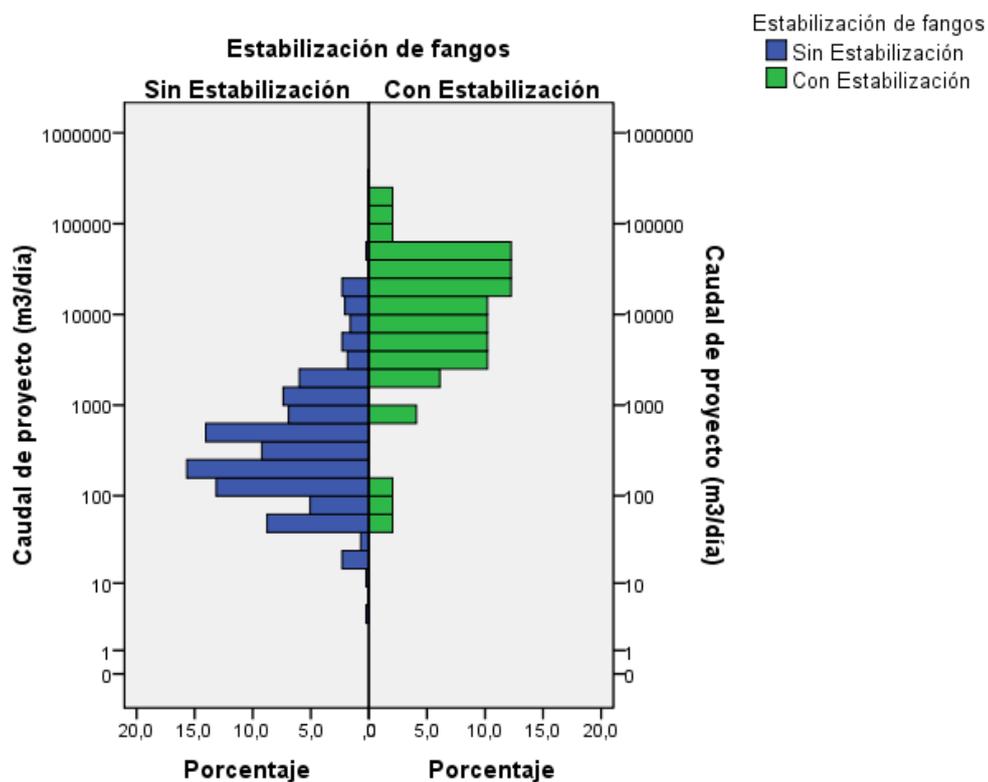


Figura 40: Caudal de proyecto ( $m^3/día$ ) con relación a si las EDAR tienen o no estabilización de fangos.

Como se puede observar en la figura 40, existe etapa de estabilización de fangos en las EDAR con un caudal superior. Lo que significa que la estabilización de fangos se utiliza principalmente en las EDAR más grande. En cambio, las EDAR de pequeño tamaño no presentan estabilización de fangos. Dado que, como se ha discutido en capítulos anteriores, la mayoría de EDAR en la Comunidad Valenciana presentan esquemas de aireación prolongada, por lo que no suele precisarse una estabilización posterior de los lodos.

En relación con el aprovechamiento de lodos producidos, en la tabla 12 se muestra la cantidad de fangos y los distintos usos que tienen los fangos generados. Estos usos son: su disposición sobre el terreno para su uso agrícola, su utilización para la

producción de compost, su aprovechamiento en otra EDAR y, por último, su deposición en vertedero y/o su secado térmico.

Tabla 12: Lodos generados, en Kg de materia húmeda anual y sus usos.

Uso	N.º de EDAR	Lodos (10 <sup>6</sup> KgMH/año)	Porcentaje
Agrícola	324	311,03	78,97
Compostaje	72	26,56	6,74
Otra EDAR	116	18,85	4,79
Secado Térmico	15	37,31	9,47
Vertedero	3	0,13	0,03
<b>Lodos Totales</b>	<b>483</b>	<b>393,88</b>	<b>100,00</b>

Entre los usos para los que se aprovechan los fangos generados, se aprecia que la mayoría de los fangos se aprovechan para uso agrícola, en concreto un 79%. También es el uso que utilizan la mayoría de las EDAR (324 EDAR). El uso de los fangos para la producción de compost también se utiliza en bastantes EDAR, en concreto 72, aunque el porcentaje de lodos generados que mueve es solo del 6,7%. Además, 116 EDAR utilizan los fangos generados para el aprovechamiento en otra EDAR, aunque solo supone un 4,8% del total de los fangos generados en todas las EDAR. Por otra parte, el secado térmico se utiliza solo en 15 EDAR, aunque mueve un porcentaje elevado de fangos generados (9,5%). Por último, el uso que menos se utiliza es la disposición en vertedero, ya que esta técnica solo se utiliza en 3 EDAR de toda la Comunidad Valenciana, y solo mueve un 0,03% de los lodos generados.

A continuación, se ha analizado la relación entre la producción de lodos y el caudal procesado, como se puede ver en la figura 41.

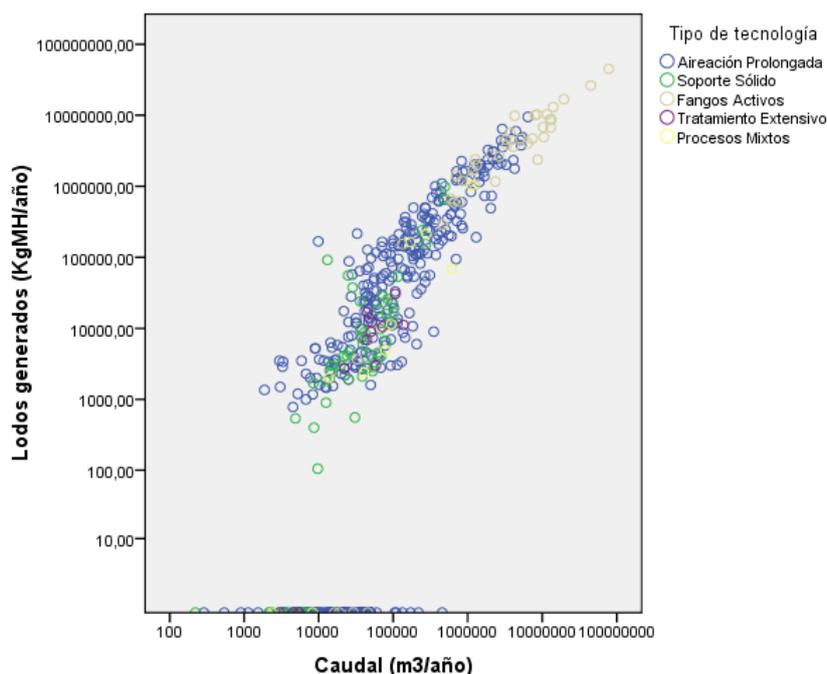


Figura 41: Lodos anuales generados en función del caudal depurado para distintos tipos de tecnología.

Se observa una buena correlación entre la producción de lodos y el caudal de agua residual procesado. Así, al aumentar el caudal tratado, incrementa también la cantidad de lodos generados, indistintamente del tipo de tecnología.

En la figura 42, se muestra los lodos generados (en Kg de materia húmeda anual) en función del tipo de tecnología utilizada.

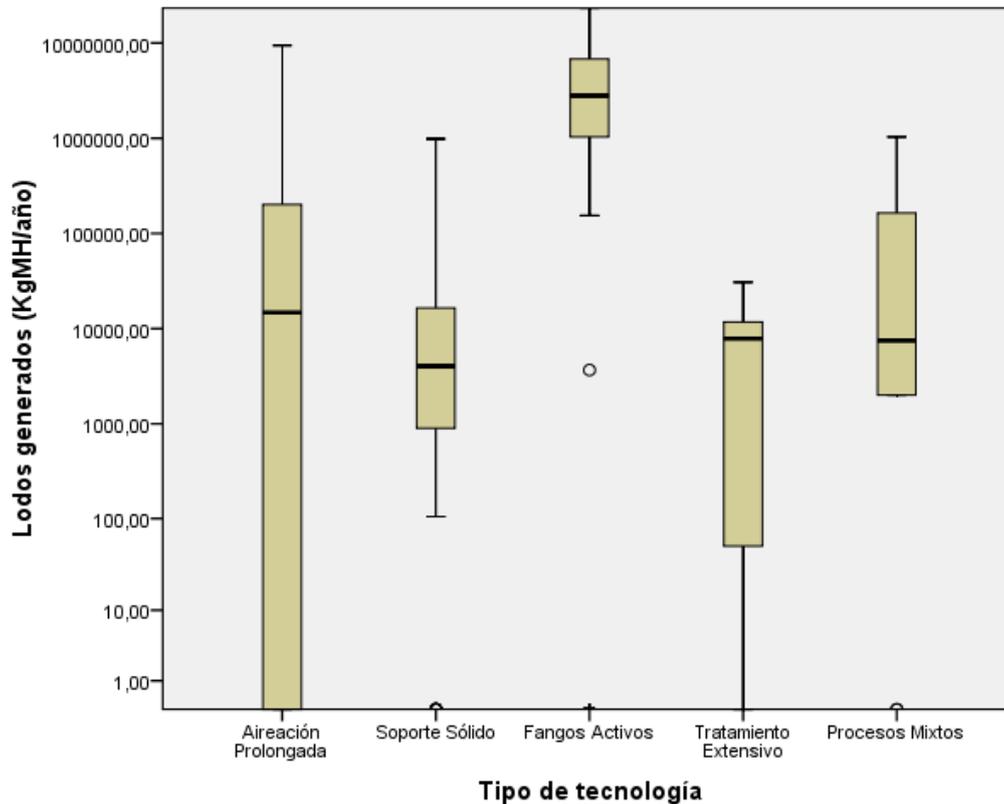


Figura 42: Lodos anuales generados (en Kg de materia húmeda) en función del tipo de tecnología.

Los datos nos muestran que las EDAR que usan los fangos activos presentan una mayor producción de lodos, con una media superior a 1 millón de Kg de materia húmeda anual. En cambio, las EDAR que utilizan procesos de soporte sólido o de tratamientos extensivos producen una cantidad de fangos mucho menor, con una media inferior a 10.000 KgMH/año. Ello estaría asociado a que se trata de tecnologías que, generalmente, se aplican en poblaciones de distinto tamaño y, en consecuencia, distinto caudal de agua residual (véase figura 41).

## 5. Conclusiones.

A partir de los resultados obtenidos, podemos obtener las siguientes conclusiones respecto a las estaciones depuradoras de agua de la Comunidad Valenciana:

- El conjunto de EDAR de la Comunidad Valenciana tratan un gran volumen de agua residual, por lo que hay un alto grado de depuración. La distribución territorial de las EDAR obedece a las poblaciones existentes y a su tamaño, siendo la mayoría de EDAR para poblaciones pequeñas. En las provincias de Valencia y Alicante se encuentran casi todas las EDAR para poblaciones grandes.
- La mayoría de las EDAR, al tratarse de pequeñas instalaciones, utilizan procesos de aireación prolongada, en especial tratamientos de baja carga y en canal de oxidación. En las poblaciones de gran tamaño, el proceso de fangos activos es el más utilizado.
- El coste económico específico (por m<sup>3</sup> de agua residual tratada) de depuración se reduce al aumentar el tamaño de la población servida y puede asociarse al consumo energético asociado al funcionamiento. No obstante, existe cierta variabilidad que es mayor en instalaciones para poblaciones pequeñas. Los tratamientos que tienen un coste energético menor son los tratamientos extensivos, mientras que los procesos de aireación prolongada presentan un mayor consumo energético.
- El 93,4% de las estaciones depuradoras funcionan por debajo del 100% de su capacidad, por lo que no estarían sobreexplotadas. En cambio, un 6,6% estaría operando por encima de su capacidad. En la Comunidad Valenciana, la capacidad de depuración disponible es alta y podrían cubrirse las necesidades en caso de un incremento en la demanda. No obstante, un porcentaje de saturación bajo constituye un mayor consumo energético y coste asociado.
- La eficiencia en la depuración es elevada. El rendimiento en la reducción de materia orgánica cumple con los límites establecidos en la legislación. Los procesos de fangos activos y aireación prolongada son los que mejor rendimiento presentan. En cambio, los tratamientos extensivos son los que presentan un menor rendimiento, pudiendo no alcanzarse los rendimientos mínimos. En cambio, su uso en combinación con otras tecnologías presenta destacables resultados.
- La eliminación de nutrientes es buena en aquellas EDAR con esquemas orientados a su eliminación y disminuye con el resto de EDAR (el 25% posibilita la eliminación de nitrógeno y fósforo, el 47% la de alguno de ellos y el 28% restante no elimina nutrientes).
- Aunque únicamente un 10% de las EDAR de la Comunidad Valenciana presentan un tratamiento terciario, al tratarse de poblaciones grandes, suponen un 60% del agua depurada, potencialmente reutilizable.
- Al aumentar el caudal depurado, aumenta también la cantidad de lodos generados. Los procesos utilizados en EDAR de tamaño mediano y grande (fangos activos) son los que producen más lodos, mientras que las basadas en

procesos de aireación prolongada o soporte sólido (pequeñas poblaciones) producen menos lodos.

- Los esquemas utilizados para el acondicionamiento de los lodos, generalmente, no incluyen la estabilización en poblaciones pequeñas, utilizándose generalmente en las EDAR grande. Aproximadamente, el 79% de los fangos generados se utilizan en uso agrícolas. El resto de los usos son el compostaje (5%), el aprovechamiento en otra EDAR (6%) y el secado térmico (10%).

## 6. Bibliografía.

AEAS A. 2017. Informe sobre aguas residuales en España.

<<https://www.asoaeas.com/?q=content/informe-depuraci%C3%B3n-aeas-d%C3%ADa-mundial-del-agua-2017>> [Consulta: 30 de junio de 2019]

ALIANZA POR EL AGUA. *Manual de depuración de aguas residuales urbanas.*

<<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>> [Consulta: 23 de julio de 2019]

BANCO MUNDIAL. *Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades.*

<<http://documentos.bancomundial.org/curated/es/943351468247792589/pdf/360810WSP0rev0biofiltro01PUBLIC1.pdf>> [Consulta: 5 de julio de 2019]

Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. 8 de diciembre de 2007, núm. 294, pp. 50639 a 50661.

Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. 21 de mayo de 1991, pp. 40-52.

Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Directiva 98/15/CE de la Comisión, de 27 de febrero de 1998, por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE del Consejo en relación con determinados requisitos establecidos en su anexo I. 7 de marzo de 1998, pp. 29-30.

EPSAR. *Entitat de Sanejament d'aigües.*

<<http://www.epsar.gva.es/sanejament/index.aspx>> [Consulta: 11 de junio de 2019]

FERRER POLO, J. y SECO TORRECILLAS, A. (1997). *Tratamientos de aguas. Tomo 1. Introducción a los tratamientos de aguas.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

FERRER POLO, J. y SECO TORRECILLAS, A. (2007). *Tratamientos biológicos de aguas residuales.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

GEDAR. *Gestión de aguas y residuos.*

<<https://www.gedar.com/>> [Consulta: 15 de julio de 2019]

PLANTANDO IDEAS CRECEN SOLUCIONES. G S, B. (2012) "TNC: Lechos de turba" en *Plantando ideas crecen soluciones*, 23 de marzo.

<<http://plantandoideascrecensoluciones.blogspot.com/2012/03/tnc-lechos-de-turba.html>> [Consulta: 26 de junio de 2019]

IAGUA. *Depuración para principiantes XI: Imhoff-Biodiscos*.

<<https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/depuracion-principiantes-xi-imhoff-biodiscos-ejemplo>> [Consulta: 5 de junio de 2019]

ITC. *Instituto Tecnológico de Canarias*. <<http://www.itccanarias.org/web/>> [Consulta: 11 de junio de 2019]

MANANTIAL. *Filtros percoladores*.

<<http://www.manantial.cl/detalle/productos/aguas-residuales/sistemas-de-tratamiento-aerobicos/46/filtros-percoladores>> [Consulta: 22 de julio de 2019]

Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales con Contaminantes no Biodegradables. (2006). "Reactores biológicos secuenciales (SBR): una tecnología versátil para el tratamiento de aguas residuales industriales" en *madrimasd*, 1 de diciembre.

<<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/12/01/53336>> [Consulta: 8 de julio de 2019]

TECPA. *Los procesos de depuración en aguas residuales*.

<<https://www.tecpa.es/tratamientos-procesos-depuracion-aguas-residuales/>> [Consulta: 15 de agosto de 2019]

WIKIMEDIA. *Esquema etapas de tratamiento de una EDAR*.

<[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Croquis\\_edar.png#mediaviewer/Archivo:Croquis\\_edar.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Croquis_edar.png#mediaviewer/Archivo:Croquis_edar.png)> [Consulta: 3 de junio de 2019]