

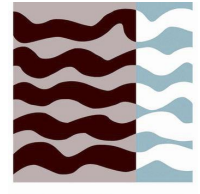


Universidad
Politécnica
de Cartagena



UPCT

Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Agronómica



ETSIA

*Grado en Ingeniería Agroalimentaria
y de Sistemas Biológicos*

Estudio de la problemática de las aguas residuales
de un matadero: opciones tecnológicas

Autora: Dña. Alba M^º Ruiz Martín

Dirección: D. José Manuel Moreno Angosto

Codirección: D. José Antonio Fernández López

Cartagena, abril de 2019

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1.INTRODUCCIÓN.....	2
2.ANTECEDENTES.....	3
2.1 Mataderos avícolas	3
2.1.1 Estructura.....	3
2.1.2 Principales etapas de generación de aguas residuales.....	3
2.1.3 Impacto ambiental de la industria.....	4
2.2 Agua	5
2.2.1 El agua como recurso	5
2.2.2 El agua como residuo	6
2.2.3 Calidad del agua	7
2.2.4 Necesidades de depuración.....	8
2.3 Tratamiento de las aguas residuales.....	9
2.3.1 Tecnología de depuración.....	10
2.3.2 Selección de alternativas	12
2.4 Legislación.....	14
3.OBJETIVOS.....	16
4.DIAGRAMA DE FLUJO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	17
4.1 Diagrama de flujo de la producción de aguas residuales	17
4.2 Etapas de consumo de agua y de producción de vertidos	18
4.3 Características de las aguas residuales generadas	18
5.TECNOLOGÍAS	20
5.1 Tecnologías disponibles para la disminución del consumo de agua	20
5.2 Tecnologías disponibles para la disminución de la generación de aguas residuales	21
5.3 Tecnologías disponibles de depuración	22
5.3.1 PRETRATAMIENTO	22
5.3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO	26
5.3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	30
5.2.4 TRATAMIENTO TERCIARIO	34
6.COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	36
6.1 Alternativas propuestas.....	37
6.2 Criterios de selección de las alternativas	38
6.3 Ponderación de los criterios seleccionados.....	39
6.4 Evaluación del comportamiento de cada alternativa para cada criterio	39
6.5 Análisis multicriterio de las alternativas	40
6.6 Justificación de los resultados obtenidos	41
7.EJEMPLO PRÁCTICO: DIMENSIONAMIENTO	41
8.CONCLUSIONES.....	44
9.BIBLIOGRAFÍA.....	45
10.ANEXOS	46

ANEXO 1: Diagrama de flujo matadero avícola tipo	46
ANEXO 2: Magnitud impacto ambiental residuos matadero	47
ANEXO 3: Calidad del agua	48
ANEXO 4: Legislación.....	50
ANEXO 5: Descripción de MTDs.....	51
ANEXO 6: Datos obtenidos en el cálculo del dimensionamiento	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de los sistemas de depuración de vertidos procedentes de mataderos avícola..	13
Tabla 2. Comparación de sistemas de depuración para vertidos procedentes de mataderos avícolas.....	14
Tabla 3. Parámetros del agua residual de mataderos avícolas.....	19
Tabla 4. Parámetros del agua residual y sus principales fuentes de contaminación.	20
Tabla 5. MTDs para la disminución del consumo de agua en mataderos	21
Tabla 6. MTDs para la disminución del consumo de agua en mataderos.	21
Tabla 7. Propuesta de alternativas a evaluar	38
Tabla 8. Criterios de selección ponderados.....	39
Tabla 9. Relación entre alternativas y criterios propuestos.....	39
Tabla 10 . Análisis mediante media ponderada.....	40
Tabla 11 . Análisis mediante producto normalizado.....	40
Tabla 12. Análisis mediante producto ponderado exponencial.....	41
Tabla 13. Parámetros del agua residual de mataderos avícolas.....	42
Tabla 14. Parámetros del agua residual en mataderos avícolas.....	42
Tabla 15. Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación para el municipio de Cartagena.....	42
Tabla 16. N° de aves por día procesables en función del requerimiento de agua, rendimiento de la canal y el caudal	43
Tabla 17. Clasificación operaciones en función del orden de impacto ambiental. Fuente: Santillini (2012).....	47
Tabla 18. Clasificación de usos de agua para definir criterios de calidad del recurso agua.	48
Tabla 19. Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación para la Región de Murcia (Anexo III).....	50
Tabla 20. Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación para el municipio de Cartagena (Borm 15/07/1986).....	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del agua dulce.	5
Figura 2. Distribución del agua en el planeta.....	5
Figura 3. Diagrama de las etapas comunes para depuración de vertidos procedentes de mataderos avícolas.....	11
Figura 4. Producción de residuos en matadero avícola.....	17
Figura 5. Diagrama de flujo de un matadero de tipo avícola.	46

RESUMEN

La generación de las aguas residuales provenientes de la industria agroalimentaria supone un reto en gestión de los vertidos generados. Estas aguas residuales, más concretamente las de las procedentes de mataderos avícolas, se generan en grandes volúmenes y poseen una alta carga de contaminantes. Es por esto que la depuración va a ser fundamental para acondicionar y cumplir límites legislativos antes de su vertido al medio receptor, disminuyendo el impacto generado.

El objetivo de este estudio es el análisis de la problemática de las aguas residuales en mataderos avícolas, las características y composición de estas aguas, y de la tecnología disponible para su depuración. Así como la modelización y dimensionado de la depuración para vertidos con origen avícola. Para llevar a cabo los objetivos marcados, se realizó una revisión bibliográfica de guías y manuales de depuración y gestión de aguas residuales. Así mismo, una vez caracterizadas tanto la composición de las aguas residuales de esta industria como las mejores tecnologías disponibles para su depuración, se propusieron diferentes alternativas de tratamiento y se determinaron criterios para su posterior análisis. El análisis llevado a cabo fue de tipo multicriterio o multivariable, mediante tres métodos estadísticos: media ponderada, producto normalizado y producto ponderado exponencial. Una vez obtenida la alternativa más adecuada, se procedió a la simulación de dos variables de la misma mediante el uso de una hoja de cálculo Excel.

Se obtuvo como alternativa más adecuada para el tratamiento de aguas residuales provenientes de mataderos avícola aquella que incluía un pretratamiento (desbaste de gruesos y finos, tamizado y homogeneización en línea), un tratamiento físico, un tratamiento secundario (fangos activos convencionales de media carga) y tratamiento terciario (cloración mediante hipoclorito). La simulación se realizó teniendo en cuenta coeficientes de media carga próxima tanto a la alta carga (simulación 1) y a la baja carga (simulación 2).

ABSTRACT

The generation of wastewater from the agri-food industry is a challenge in terms of wastewater management. These wastewaters, more specifically those from poultry slaughterhouses, are generated in large volumes and have a high load of pollutants. For this reason, treatment will be essential to condition and comply with legislative limits before discharge into the receiving environment, thus reducing the impact generated.

The objective of this study is the analysis of the problems of wastewater in poultry slaughterhouses, the characteristics and composition of this water, and the technology available for its treatment. As well as the modeling and sizing of the purification for poultry wastewater discharges.

In order to achieve the objectives set, a bibliographic review of guides and manuals on wastewater treatment and management was carried out. Likewise, after characterizing both the composition of the wastewater from this industry and the best available technologies for its treatment, different treatment alternatives were proposed and criteria were determined for their subsequent analysis. The analysis carried out was of the multicriteria or multivariable type, using three statistical methods: weighted average, normalized product and exponential weighted

product. Once the most suitable alternative was obtained, two of its variables were simulated using an Excel spreadsheet.

The most suitable alternative for the treatment of wastewater from poultry slaughterhouses was obtained as that which included pretreatment (coarse and fine roughing, screening and in-line homogenization), physical treatment, secondary treatment (conventional medium-load activated sludge) and tertiary treatment (hypochlorite chlorination). The simulation was carried out taking into account coefficients of medium load close to both high load (simulation 1) and low load (simulation 2).

1. INTRODUCCIÓN

En todas las industrias se generan residuos procedentes de la actividad que se lleva a cabo en ellas. Estos residuos generados deben ser tratados de una forma eficiente y optimizada, mediante el uso de los tratamientos más adecuados para cada residuo siempre y cuando sea posible.

Siendo las tecnologías disponibles, *el instrumento para alcanzar los límites admisibles permitidos e incluso valores muy inferiores en cuanto a materia de vertidos*. Asimismo, los contaminantes o vertidos más comunes en la industria alimentaria son los referidos a emisiones atmosféricas y olores, residuos sólidos y aguas residuales.

En el caso actual que acontece, mataderos avícolas, **el principal problema en cuanto a contaminantes y a generación de residuos viene dado por las aguas residuales**. Por consiguiente, van a presentar una serie de restricciones tanto de **producción** como de **vertido** a diferentes medios receptores.

Ante todos los problemas que ocasionan la poca o **ineficiente gestión** de los residuos originados en los mataderos de aves, más concretamente de las aguas residuales, surge la necesidad de tratar estas aguas mediante distintas técnicas o tratamientos de depuración acordes al uso o fin que se les va a proporcionar.

Por ello el presente trabajo fin de grado se va a centrar en **el estudio de la problemática actual ocasionada por la generación de aguas residuales en mataderos de aves**. El cual se realizará mediante un análisis detallado de las técnicas disponibles de gestión de los vertidos, tanto técnicas convencionales como las más actuales e innovadoras en el sector avícola. Seleccionando aquellas que mejor se adecuen a las características del sistema de producción estudiado, atendiendo a su vez a diferentes criterios de selección.

Además, se va a abarcar **la importancia de tratar convenientemente estos vertidos** en aras de minimizar la problemática ambiental en el medio receptor, así como la importancia del cumplimiento de la legislación vigente en materia de vertidos.

Asimismo, se estudiará la posibilidad de reutilización de los residuos generados pudiendo mejorar la **economía** de la industria y reducir el impacto en el medio ambiente.

Por último, se realizará un **ejemplo práctico** de dimensionado de un sistema de gestión de vertidos de un matadero avícola tipo. Para ello, se tendrá en cuenta temas como la optimización y eficiencia del sistema de tratamiento propuesto, así como parámetros de selección como puede ser el factor costo-rendimiento de los equipos a utilizar; todo ello sin dejar de lado la posibilidad de introducir la economía circular en esta industria, mediante el uso de subproductos derivados

de la gestión de las aguas residuales o las aguas ya gestionadas si estas tienen la calidad suficiente para su uso en otro sector. Todo ello teniendo muy presente la importancia de una gestión adecuada de residuos procedentes de la creciente industria agroalimentaria.

2. ANTECEDENTES

En un matadero avícola como en cualquier industria, se generan vertidos que deben ser correctamente gestionados ya que suelen ser producidos en importantes volúmenes y con alta carga contaminante (alta DBO5, DQO, sales, etc.).

El fin de estos vertidos también debe ser contemplado, no recibirán el mismo tratamiento si estos van a ser devueltos al medio receptor, si se van a reutilizar completamente o se van a obtener subproductos.

La situación donde se encuentre la industria es también importante a la hora de aplicar ciertos tratamientos o barajar opciones de uso de los residuos producidos, en zonas áridas donde la escasez de recursos hídricos es alta (p.eg el sureste español) la opción de la reutilización de estos vertidos tiene más peso a la hora de paliar esta escasez y optimizar los recursos disponibles.

La gestión de los vertidos generados se debe ser lo más optimizada posible, aplicando las diferentes tecnologías disponibles para la depuración de estos. Se van a poder aplicar desde pretratamiento, tratamiento primario (físico o físico-químicos), tratamiento secundario (con múltiples opciones disponibles) y tratamiento terciario.

El tratamiento terciario va a ser de gran importancia a la hora de cumplir límites en contenido de microorganismos patógenos y de poder reutilizar los vertidos una vez tratados.

Este trabajo pretende abordar el estudio de la problemática que ocasionan las aguas residuales procedentes de mataderos avícolas y las soluciones más actuales con las mejores técnicas disponibles que mejor se adapten a esta industria en concreto.

2.1 Mataderos avícolas

2.1.1 Estructura

En primer lugar se debe conocer la estructura de esta industria, por lo general los procesos en un matadero tipo para aves se pueden agrupar en tres zonas o regiones: matadero, evisceración y despiece.

En cada una de estas zonas mencionadas quedan agrupadas las operaciones unitarias más comunes para este sector de la industria. Se puede considerar que estos tipos de mataderos son más sencillos en cuanto a estructura o procesos debido al tamaño de los animales que se manejan en ellos, no obstante la generación de diversos contaminantes y las necesidades de limpieza son factores complejos en este tipo de industria.

Dicho lo anterior, en el Anexo 1 se expone el diagrama de flujo de las operaciones unitarias más comunes para un matadero avícola tipo, teniendo en cuenta las distintas regiones o zonas.

2.1.2 Principales etapas de generación de aguas residuales

La generación de aguas residuales en mataderos es considerada el aspecto ambiental más destacable. Esta generación se produce en ciertas etapas de la producción, así como en otros aspectos como es la limpieza de las instalaciones.

Se debe tener en cuenta a la hora de evaluar la generación de vertidos de que se trata de una industria donde los estándares higiénico-sanitarios son elevados, por lo que la descarga de vertidos es también elevada.

De forma simplificada, las etapas generación de aguas residuales son (Guía MTD, 2006):

- Desangrado
- Escaldado
- Desplumado
- Lavado de canales
- Limpieza de equipos
- Limpieza de jaulas, muelle de vivos y camiones

En cada una de estas etapas las características de las aguas residuales producidas son diferentes, esto hace que el tratamiento de estas sea algo complejo. Esto se debe a que los vertidos de cada operación van a una red común de aguas residuales donde se mezclan; por lo que el vertido final que va a ser tratado en las plantas de tratamiento adquiere complejidad por el aumento de compuestos considerados como contaminantes.

2.1.3 Impacto ambiental de la industria

Se entiende como impacto ambiental: ***“modificación o proceso, negativo o positivo, producido por la implantación de una actividad, acción o instalación sobre el entorno y los sistemas que lo constituyen”***.¹

El impacto ambiental es un punto muy importante a tener en cuenta en cualquier industria, pero en las industrias cárnicas, como es la avícola, tiene un especial interés al tratarse de una industria (finalizadora) que en parte de su procesado manipula animales muertos, y en la que se van a generar residuos con diferentes características que van a tener un impacto negativo en el medio si no son gestionados adecuadamente.

En el aspecto ambiental, la actividad de esta industria puede afectar a diferentes factores del medio como puede ser la calidad del aire, características del suelo, agua subterránea, flora y fauna, ruidos y vibraciones, así como el medio perceptivo y el medio socioeconómico.

Esta industria, como ya hemos comentado, puede alterar diferentes componentes del medio a causa de la actividad que lleva a cabo. Los principales efectos medioambientales son la generación de vertidos de aguas residuales, residuos sólidos y la emisión de olores.

Por un lado, la generación de residuos en la que se obtienen restos de materias primas que pueden ser utilizados como subproductos en otras industrias, adquiriendo así un valor económico.

Por otro lado, la emisión de gases debido a los focos de combustión y las EDARS. Se considera uno de los problemas ambientales más importantes junto al vertido de aguas residuales. La emisión de olores en mataderos es responsable que de que esta actividad se considere como molesta. Cabe señalar la emisión de ruidos a causa de la propia actividad, la entrada y salida de materia prima y producto acabado, por ejemplo.

Todavía queda mencionar la generación de vertidos de aguas residuales, el aspecto ambiental más significativo de un matadero. Esto se debe a que se generan aguas residuales en elevados volúmenes y tienen una alta carga contaminante, destacando la carga orgánica y de

¹ Fuente: LQM Gestión Ambiental, 2017.

nutrientes, con un contenido notable en sólidos en suspensión, grasas y aceites. Si bien es cierto, las características de estas aguas pueden variar de unas instalaciones a otras en función del volumen de producción, el tipo de animal y de las medidas preventivas que se adopten en estas instalaciones.

En el Anexo 2 se exponen las operaciones de cada proceso con su respectiva clasificación según orden de impacto ambiental en una tabla resumen².

La adecuada gestión de estos vertidos generados juega un papel indispensable para disminuir en la medida de lo posible el impacto ambiental negativo que presenta la actividad de esta industria.

2.2 Agua

2.2.1 El agua como recurso

El agua es considerado uno de los bienes naturales más importantes a nivel global. Su importancia viene dada por su escasez en el medio, aunque este recurso supone el 70% del planeta, solamente el 2% es aprovechable. Este porcentaje de agua aprovechable corresponde al agua dulce, del cual solo un 1% es agua superficial dulce disponible y es utilizada por el ser humano para diferentes actividades como la agricultura, industria y abastecimiento humano general.

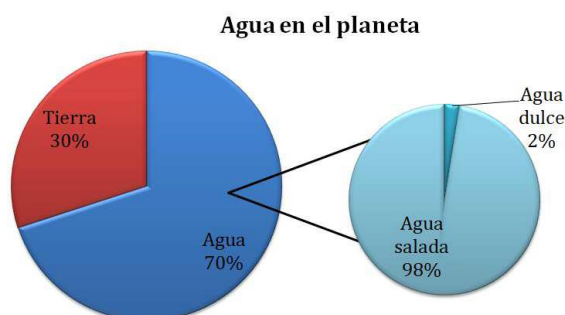


Figura 2. Distribución del agua en el planeta. Fuente: Ivars Ruiz, 2019.

Distribución de Agua Dulce

- Agua superficial dulce disponible
- Aguas subterráneas (Agua dulce de reserva)
- Hielo y glaciares (Agua dulce no disponible)

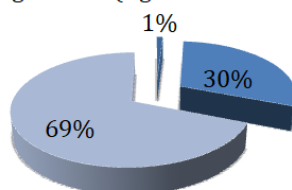


Figura 1. Distribución del agua dulce. Fuente: Ivars Ruiz, 2019.

Como se puede apreciar, el agua es un recurso natural, pero por su escasez física y la sobreexplotación se podría incluso considerar como no renovable, ya que su uso sobrepasa la capacidad de recarga natural en ciertas zonas.

² Fuente: Santinelli, 2012.

Según las *Naciones Unidas*: ***“El uso del agua ha ido aumentando en todo el mundo aproximadamente un 1% por año desde la década de 1980 (AQUASTAT, s.f.). Este aumento constante se ha debido principalmente a la creciente demanda en los países en desarrollo y en las economías emergentes.”***

“Este crecimiento es impulsado por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y patrones de consumo en evolución (WWAP, 2016).”³

Por lo tanto, un factor clave en la disponibilidad de agua, más concretamente del agua dulce, es el gran aumento de la población en los núcleos; ya que genera una gran demanda de este recurso. Demanda debida a los diferentes usos que se le da al agua, ya bien se destine a la agricultura, a la industria o al abastecimiento (ej. uso doméstico, lugares públicos, etc.); por lo general un aumento poblacional implica una mayor actividad de la agricultura, de la industria y una exigencia mayor de abastecimiento general para cubrir las necesidades básicas de esta población.

Teniendo en cuenta que el agua es un recurso escaso en la actualidad, estas altas exigencias debidas al aumento de la población y sus necesidades de agua asociadas generan una sobreexplotación de este recurso.

Dicha sobreexplotación, también tiene otras causas asociadas como puede ser el mal uso del agua (ej. Sobreexplotación de las cuencas, pérdida de agua por transporte, etc.) y la gran contaminación generada en distintos sectores.

La creciente industria es uno de estos sectores mencionados, ya que tiene gran influencia en cuanto al consumo de agua se refiere. ***“La industria representa el 19% de las extracciones anuales de agua a nivel global” según el artículo de las Naciones Unidas.***

En otras palabras, la industria es considerada la segunda actividad que más agua consume después de la agricultura. Además, puede contribuir a la sobreexplotación de este recurso no solo consumiéndolo, sino generando residuos que puedan dañarlo de modo directo e indirecto; ya sea mediante la emisión hacia la atmósfera de sustancias nocivas o por efluentes vertidos al medio, todos ellos generados en la actividad industrial.

Aquí reside la gran importancia de no sólo hacer un uso correcto del agua en los procesos industriales, sino también de gestionar adecuadamente los efluentes procedentes de la actividad para disminuir la huella hídrica (gris) de la industria. Muy importante en concreto en la industria avícola, donde se hace un gran consumo de agua para alcanzar los estándares higiénico-sanitarios en la producción, con la consiguiente gran generación en volumen de efluentes con la alta carga contaminante característica en mataderos.

2.2.2 El agua como residuo

“Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.”⁴

³ Fuente: WWAP, 2019.

⁴ Fuente: Espigares, M. et al, 2003.

Según Héctor Rodríguez Pimentel, ingeniero químico y expresidente del INDRHI: ***“Más de 1000 millones de toneladas de aguas residuales son vertidas anualmente al agua subterránea, a ríos, lagos y océanos del mundo, contaminándolos con metales pesados, disolventes, aceites, grasas, detergentes, ácidos, sustancias radioactivas, fertilizantes, pesticidas y otros productos químicos.”***⁵

Más concretamente en el ámbito industrial, estas aguas proceden de las actividades realizadas en las instalaciones de las industrias. Por lo general contienen aceites, detergentes, grasas, ácidos, subproductos de diferentes orígenes, etc. La composición dependerá de la actividad que se lleve a cabo por la industria, como ya se ha comentado.

Se considera, en el caso de la industria agroalimentaria, la toxicidad y la carga de contaminantes de estos vertidos como los factores más significantes en cuanto a impactos sobre el medio y los recursos hídricos, aunque no se debe dejar de lado el factor volumen de generación de estos vertidos.

Estas características constituyen a las aguas residuales como vector y causa de contaminación de masas de agua receptoras si estas no se tratan previo vertido. Siendo los principales inconvenientes de su generación los malos olores y sabores, la acción tóxica y sobre el terreno, vehículo de infección, polución térmica, eutrofización y contaminación de aguas subterráneas.

En el caso concreto de las aguas residuales industriales provenientes de mataderos, los principales inconvenientes son los siguientes (Espigares, M. et al, 2003):

- Eutrofización.
- Contaminación de aguas subterráneas.
- Malos olores.
- Polución térmica.

Estos inconvenientes son el resultado de la incapacidad por la parte de las masas de aguas receptoras de absorber y neutralizar la carga contaminante. De modo que el medio receptor pierde sus condiciones físico-químicas naturales, afectando así tanto a la capacidad de mantener la vida acuática en equilibrio y las condiciones mínimas exigidas para sus diferentes usos.

En consecuencia, los vertidos de procedencia industrial van a suponer un gran problema en cuanto a riesgos directos e indirectos tanto para la salud como para el medio ambiente si su gestión no es la adecuada.

Es por tanto que se requieren de tratamientos de vertidos que disminuyan en gran medida el impacto ambiental que pueden generar, asegurando la calidad correspondiente al uso que se le da al agua y respetando los límites legislados en función del medio receptor.

2.2.3 Calidad del agua

Según la Fundación AQUAE: ***“La calidad del agua es el término que describe las características químicas, físicas y biológicas del agua dependiendo del uso que se le va a dar.”***⁶

⁵ Fuente: Rodríguez, H., 2017.

⁶ Fuente: Fundación AQUAE, 2021

Por lo que se puede considerar que la calidad del agua no es un término absoluto, sino que depende del uso o la actividad a la que se destine. En el Anexo 3 se muestra la clasificación de los usos del agua que van a servir para determinar los criterios de calidad a analizar.

Y por ello, va a resultar imprescindible determinar una serie concreta de parámetros físico-químicos y biológicos, los cuales tendrán un intervalo efectivo marcado por la legislación vigente.

Estos parámetros se dividen según su naturaleza, principalmente se distinguen parámetros físicos, químicos y bioquímicos. Estos quedan enumerados en el anexo 3.

La evaluación mediante unos parámetros u otros varía mucho dentro una industria a otra, incluso dentro de las industrias agroalimentarias. En el caso de los mataderos de aves, y teniendo en cuenta que la calidad del agua dependerá de su uso, se puede considerar que los parámetros más utilizados son:

- Temperatura
- pH
- SST
- DBO₅
- DQO
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Grasa (libre o emulsionada)
- Detergentes(sintéticos aniónicos)
- Sulfuros
- Cloro

Dicho lo anterior, es conveniente definir brevemente estos parámetros analíticos para comprender mejor las características de las aguas residuales que se van a generar en esta industria y como se evalúa en términos generales su calidad. Estas definiciones quedan recogidas en el Anexo 3.

2.2.4 Necesidades de depuración

Según el World Water Development Report 2017 de Naciones Unidas: **“la toxicidad y la carga de los contaminantes industriales tienen impactos potencialmente más significativos sobre los recursos hídricos, la salud humana y el medio ambiente que los volúmenes reales de aguas residuales”**.⁷

Asimismo, **“el 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, siendo uno de los grandes desafíos del agua”**, según la UNESCO (2017).⁸

Todo lo anteriormente tratado, tiene una relación directa con la necesidad de depuración de las aguas residuales generadas, la cual surge por la gran densidad de contaminantes que contienen estos efluentes y el volumen en el cual son producidos.

Por lo que la depuración de estos vertidos es esencial, más aun considerando su procedencia, mataderos, ya que como se ha comentado suponen un gran impacto medioambiental si no son tratados adecuadamente.

Cabe mencionar que la depuración no solo es una actividad conveniente en las industrias avícolas en sí, sino que también ofrece beneficios tanto sobre el medio ambiente como para la

⁷ Fuente: Cosín, 2017.

⁸ Fuente: Banco Mundial, 2020.

industria. Respecto al medio ambiente, el agua residual contendrá una menor carga de contaminantes, aumentando su calidad y suponiendo un menor impacto ambiental.

Respecto a la industria, si el procedimiento es el adecuado, el agua resultante se puede reutilizar en otros sectores, con su consiguiente ahorro en el consumo de agua y posible aprovechamiento de subproductos. Esta actividad tiene como finalidad principal disminuir la alta carga contaminante que se produce en mataderos avícolas y cumplir con los márgenes legislativos.

Según la organización Banco Mundial **“Las aguas residuales pueden tratarse hasta lograr diversas calidades para satisfacer la demanda de diferentes sectores, incluidos la industria y la agricultura.”**

En otras palabras, las aguas que sean restauradas pueden derivarse a muchas otras actividades favoreciendo así la preservación del flujo ambiental. La reutilización del agua residual tratada es una solución viable a la escasez de agua, ya que se produce la liberación de recursos hídricos que a su vez pueden ser destinados tanto a otras actividades como su conservación, comentada anteriormente.

La restauración de aguas residuales también puede generar beneficios de tipo económico a través de la recuperación de subproductos procedentes de estos tratamientos, como biosólidos o nutrientes. En función de los subproductos obtenidos, estos pueden ser utilizados en diferentes sectores, incluso en la propia industria productora de las aguas residuales.

La adopción de los principios de economía circular en la gestión de las aguas residuales, más concretamente en el sector agroalimentario, supone una reestructuración del sistema de saneamiento debido a que un servicio que resulta muy costoso pasa a ser un servicio autosostenible; con la consiguiente adición de valor a la economía.

La Organización Banco Mundial añade: ***“Una mejor gestión de las aguas residuales ofrece una doble propuesta de valor si, además de los beneficios ambientales y para la salud del tratamiento de las aguas residuales, ingresos financieros pueden cubrir parcial o totalmente los costos de operación y mantenimiento.”***

De donde se infiere la gran importancia que está adquiriendo la depuración de aguas residuales, reseñando las de origen industrial.

La tendencia en cuanto a la gestión de estas aguas persigue tratamientos muy ajustados a las características que presentan estas aguas en función de la industria productora de la que proceden y el uso que se les dará. Con lo que se pretende alcanzar una alta eficiencia y rentabilidad en el procesado de dichos vertidos. Teniendo siempre en cuenta la posibilidad de recuperar subproductos del tratamiento de estos efluentes, con la consiguiente valorización de estos.

2.3 Tratamiento de las aguas residuales

La gestión de las aguas residuales se realiza en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs), son plantas de tratamiento para estas aguas con un objetivo claro: eliminar sustancias contaminantes procedentes de la actividad humana para su consiguiente uso o vertido posterior al medio receptor.

Los tratamientos a llevar a cabo dependerán de diversos factores como pueden ser el lugar de tratamiento y vertido, el espacio disponible para la instalación de los equipos, la carga contaminante y el volumen de los vertidos y la calidad que se requiere alcanzar.

Por lo general para mataderos avícolas, los tratamientos abordan la eliminación/disminución de ciertos compuestos como son los sólidos en suspensión (materia grosera procedente de la producción), aceites y grasas, materia orgánica (DBO, DQO), pH, temperatura, detergentes y desinfectantes e incluso compuestos nitrogenados y fosforados, juntos a sales.

Es la compleja caracterización de estas aguas residuales y su gran variabilidad dentro de una misma industria, lo que provoca que existan diversas opciones de tratamientos que deban ser estudiados para escoger el que más se adecue a los vertidos que se quieran gestionar.

Comúnmente, estos vertidos van a recibir pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y también tratamiento terciario. Recalcar que la combinación de estos dependerá de los factores que se han mencionado anteriormente. Pero por la alta carga tanto inorgánica y orgánica y partículas en suspensión, así como patógenos, lo más adecuado es la realización de la combinación de los cuatro sistemas o al menos llevar a cabo tratamiento primario, secundario y terciario. El tratamiento terciario no es obligado, aunque sí muy interesante para disminuir la carga de patógenos que puedan haber en estas aguas residuales, evitando así cualquier problemática de riesgos para la salud y el medio ambiente.

Por ejemplo, si el vertido se va a realizar a una masa de agua como medio receptor (cauce público o alcantarillado, este caso en concreto), las aguas pueden recibir: (a) un pretratamiento seguido de un tratamiento biológico para cumplir límites legislativos y un tratamiento terciario para eliminar posibles patógenos. El documento BREF de Mataderos recoge casos del norte de Europa donde se realiza esta opción de tratamiento⁹.

También se pueden realizar otras combinaciones de tratamientos si no se consiguen alcanzar los límites exigidos, estos pueden ser (b) un pretratamiento, un tratamiento primario y un tratamiento secundario; o bien (c) un tratamiento primario continuado con un tratamiento secundario; estas últimas opciones van también seguidas de un tratamiento terciario.

Lo más común es esta última opción (c), donde los vertidos van a recibir:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario (físico o físico-químico)
- Tratamiento secundario (biológico)
- Tratamiento terciario (desinfección)

2.3.1 Tecnología de depuración

Las tecnologías de depuración de aguas residuales de mataderos son muy diversas, pero se pueden observar etapas en común en las plantas de tratamiento. Para el caso más frecuente de

⁹ Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2008.

tratamiento (opción c) el documento de Mejores Técnicas Disponibles para mataderos (MTD)¹⁰ indica las etapas más comunes mediante el siguiente diagrama.

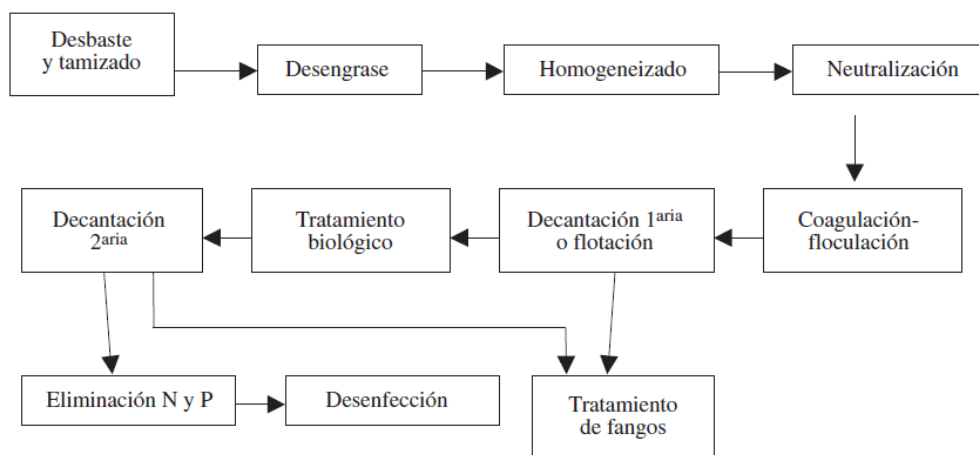


Figura 3. Diagrama de las etapas comunes para depuración de vertidos procedentes de mataderos avícolas. Fuente: Guía MTD (2006)

De este diagrama se puede observar la línea de agua en la cual se van a realizar pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

En el **pretratamiento** se van a eliminar principalmente sólidos y grasas.

- **Eliminación de sólidos:** esta primera fase de es importante debido al tamaño de las partículas, tanto las de mayor tamaño como las más finas, que llega al a la planta de tratamiento y que de no ser eliminados pueden suponer el daño o mal funcionamiento de los equipos utilizados. La tecnología disponible es el **desbaste** y **tamizado** mediante rejillas y tamices de diferente luz.
- **Eliminación de grasas:** de gran importancia debido a las características de estas aguas residuales, más concretamente el alto contenido en grasas. La tecnología a aplicar en el desengrasado es variable, el método más común es el de **flotación** y sus variantes, aunque también se pueden utilizar **placas deflectoras** y **rasquetas de superficie**.
- **Homogeneización:** imprescindible en industrias agroalimentarias, en mataderos la producción de vertidos presenta una gran variación tanto de caudal como en composición. La homogeneización pretende conseguir caudales constantes de las aguas residuales que entran en la planta depuradora, así como composición lo más uniforme posible para que no se alteren procesos más sensibles posteriores. La tecnología disponible puede ser **balsas** o **tanques de homogeneización**.
- **Neutralización:** operación a tener en cuenta para la posterior realización del tratamiento secundario o biológico. En esta fase, se modifica el pH situándolo en un rango adecuado de 6,5 – 8,5 para la actividad de los microorganismos. Para la modificación del pH se utilizan reactivos, más concreto, ácidos y bases. La tecnología disponible para llevarlo a

¹⁰ Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

cabo son **balsas** o **tanques de regulación**, similares a los utilizados en la homogeneización, incluso los mismos.

En el **tratamiento primario** se va a acondicionar para la realización del tratamiento secundario. La aplicación del tratamiento primario es utilizada para la eliminación de sólidos sedimentables, flotables y parte de los coloides. Los tratamientos pueden ser físicos o físico-químicos.

- Eliminación de sólidos sedimentables, flotables y coloides: para llevarlo a cabo se pueden utilizar tecnologías muy diversas como pueden ser la **sedimentación** o **decantación primaria**, **decantación-flotación**, **flotación** y sus derivados, **coagulación-floculación**, entre los más comunes. Dentro de estas tecnologías existen variantes muy interesantes en cuanto a eficiencia.

El **tratamiento secundario** o biológico se realiza en aguas biodegradables para disminuir el carácter contaminante de éstas mediante el uso de microorganismos en un medio controlado. La aplicación de este tratamiento puede principalmente de dos tipos, aeróbico y anaeróbico.

- Disminución carga contaminante biodegradable: si se realiza mediante *tratamientos aerobios* las tecnologías aplicables pueden ser **lodos activados** o **fangos activos**, **lagunas aireadas**, **filtros biológicos** y **reactores biológicos secuenciales**, entre los más comunes. Para el caso de tratamientos anaerobios, las tecnologías disponibles pueden ser **lagunas anaerobias**, **reactores anaeróbicos de flujo ascendente** (RAFA) y sus variantes y **filtros anaerobios**.
- Eliminación de nutrientes: la alta concentración de nitrógeno y de fósforo hace que sea necesaria su disminución para evitar la contaminación del medio receptor. Para ello se instalan zonas anóxicas y zonas aerobias alternadas en el **biorreactor**; provocando el fenómeno de nitrificación – desnitrificación que elimina el nitrógeno. El fósforo puede eliminarse de forma similar al nitrógeno o bien mediante precipitación.

Después de la aplicación de estas tecnologías se suele realizar una **decantación secundaria** donde se recircula parte de la biomasa para ser reutilizada de nuevo en el biorreactor y se separan los fangos secundarios.

En el **tratamiento terciario** o también conocido como desinfección, se pretende reducir la carga patógena presente en estas aguas.

- Disminución de patógenos: las tecnologías disponibles son variadas, desde la utilización de **cloro y sus derivados** como los más comunes, hasta otras opciones como la radiación ultravioleta, ozono, carbón activo, ósmosis inversa y resinas de intercambio iónico, entre otros.

2.3.2 Selección de alternativas

La selección de los posibles tratamientos a realizar y las tecnologías a utilizar van a depender de diversos factores como ya se ha comentado. Estos factores son principalmente el

volumen y la carga contaminante de las aguas a tratar, las exigencias que posee el vertido, así como la disponibilidad de espacio en la planta de tratamiento.

Según la bibliografía en cuanto a mataderos de aves, se recomienda realizar un pretratamiento, un tratamiento primario y secundario; siendo realizado el terciario en función de dónde se realice el vertido (en el caso de vertido a alcantarillado, este caso, sí que es necesario). Siguiendo esta pauta, el artículo sobre *vertidos de mataderos e industrias cárnicas* de la Escuela Organización Industrial de Sevilla, (2008.) muestra la eficiencia de depuración mediante el análisis de parámetros de calidad de la combinación de tratamientos de aguas residuales, como la combinación de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.

Tabla 1. Eficiencia de los sistemas de depuración de vertidos procedentes de mataderos avícola. Fuente: Balao, J. (2008).

Sistema de Tratamiento	Denominación Común	DBO₅ %	DQO %	TKN %	SST %	Aceites y Grasas %
Mecánico	Filtración	5 - 15	5 - 15	-----	25 - 40	5 - 10
Mecánico + Físico	Flotación de Aceites	30 - 45	30 - 45	5 - 15	80 - 85	>90
Mecánico + Físicoquímico	Floculación /Flotación	70 - 80	70 - 80	50 - 60	90 - 95	>95
Mecánico + Físico + Biológico.	Biológico	95 - 99	>90	85 - 97	>95	>95

Se puede observar el incremento de eficiencia de la depuración en sistemas donde se combinan pretratamiento y tratamiento primario y secundario. Esta combinación es la que mejor valores de los parámetros de calidad consigue en aguas procedentes de la industria avícola.

También se aprecia la diferencia entre la aplicación en combinación de sistemas de pretratamiento con tratamientos primario físico o tratamiento primario físico-químico, donde se obtienen resultados muy superiores en sistemas donde se aplica pretratamiento junto a tratamiento primario de tipo físico-químico.

Cabe destacar la importancia de la aplicación de tratamientos secundarios donde se eliminan en gran proporción compuestos nitrogenados, y se obtienen valores muy eficientes si se combinan con otros tratamientos.

Además, es visible que un pretratamiento por sí solo o un pretratamiento junto a un tratamiento primario de tipo físico no son suficientes para la depuración de las aguas residuales procedentes de mataderos; aunque si se realizan aumentan la eficiencia del tratamiento secundario notablemente.

Este mismo artículo muestra a modo de resumen diferentes sistemas de tratamiento en función de varios parámetros como el coste de la inversión, costes operacionales y de mantenimiento, complejidad de la aplicación, la eficiencia del sistema y el requerimiento de espacio,etc.

Tabla 2. Comparación de sistemas de depuración para vertidos procedentes de mataderos avícolas.
Fuente: Balao, J. (2008).

Criterios	Tratamiento al terreno o irrigación	Lagunas facultativas anaeróbica	Lagunas aireadas mixtas aeróbicas	Flotación + RBC	Flotación + filtro por gravedad	Lodos activado oxidación en zanjas	Aeróbico UASB + sistema aeróbico
Costes de inversión	*	**	***	****	****	*****	*****
Costes operacionales	**	*	**	***	***	*****	***
Costes mantenimiento	*	*	***	****	***	*****	****
Complejidad	*	*	***	****	****	*****	****
Consumo de energía	*	*	***	***	***	*****	***
Requerimiento de espacio	*****	****	***	*	*	***	***
Eficiencia eliminación de DBO	**	****	****	****	****	****	****
Fiabilidad	**	***	***	****	****	***	****
		*	Bajo	****	Alto		

La tabla 4 muestra principalmente tecnología relativa al tratamiento secundario (biológico), aunque también muestra opciones en combinación con tratamiento primario. La selección de un sistema u otro dependerá de la influencia del peso de los criterios para la planta de tratamiento (espacio disponible, presupuesto, complejidad en el mantenimiento...) y las características de las aguas residuales a gestionar (exigencias legislativas, parámetros a controlar, volumen de producción...). También recalcar, y a tener en cuenta, que tecnologías más sofisticadas implica mayor conocimiento a la hora de operar y mantener en buen estado los equipos, así como operarios con mayor conocimiento en el manejo de éstas.

2.4 Legislación

El aspecto ambiental de los vertidos generados en un matadero avícola es clave en cuanto a la gestión que se les debe proporcionar a estos. Es por lo que la gestión de estos vertidos, en este caso de las aguas residuales, es esencial y puede variar según varios factores como lo son la infraestructura del matadero, el destino y volumen de vertidos y la concentración de contaminantes presentes en éstos. Hay factores que a su vez se encuentran correlacionados como la infraestructura existente del matadero y el destino de los vertidos, ya que las aguas residuales resultantes pueden seguir procedimientos diferentes en función de las características de infraestructura del matadero. Es decir, si existen instalaciones para el tratamiento de vertidos así como EDARs, además de las instalaciones propias de un matadero tipo, el vertido una vez tratado se puede verter al curso de agua local (cauce público o mar). En cambio, si no se tienen instalaciones tratamiento en el emplazamiento de la actividad, las aguas residuales deben ser trasladadas a la EDAR municipal para su gestión con el consiguiente vertido al alcantarillado local.¹¹

Es necesario recalcar el control de las aguas residuales una vez tratadas para su vertido al medio receptor. Este control se realizará mediante el establecimiento de límites máximos de

¹¹ Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2008

emisión de ciertos parámetros. Estos límites dependen del destino final que tengan: vertido al mar, a cauce público a colector.

En el caso de vertido al mar, los vertidos se producen desde tierra al mar, por tanto se aplica la normativa en materia de costas, la cual sería la siguiente:

- Ley 22/1988 de costas, de 28 de julio.
- Reglamento de Costas aprobado por el Real Decreto 1471/1989 de 1 de diciembre y modificado por el Real Decreto 1112/1992, de 18 de septiembre.
- Real Decreto 876/2014 de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas.

En cambio, cuando se realiza el vertido a cauce público es semejante a verter a aguas continentales, cauces de corrientes naturales, lagos, lagunas y acuíferos subterráneos, es decir, verter al dominio público hidráulico. Por lo que se aplica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico pertinente:

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril y modificado por el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo.

Cuando el vertido se efectúa a un colector, una red de saneamiento o estación depuradora, este vertido se considera realizado a alcantarillado público, lo cual viene reglado por el ámbito autonómico y/o por la ordenanza municipal:

- Decreto N° 16/1999, de 22 de abril, sobre Vertidos de Aguas Residuales Industriales al Alcantarillado de la Región de Murcia.
- Ordenanza Municipal Reguladora del Servicio de Alcantarillado de Cartagena (Borm 15/07/1986)

Este último caso de vertido, a alcantarillado, es el que se seguirá en este trabajo fin de grado. Los vertidos serán realizados en el término municipal de Cartagena (Murcia), por lo que se seguirá la normativa relativa a vertido a alcantarillado de este municipio.

Una vez conocido el destino de los vertidos, se procede a conocer los límites más comunes para industrias avícolas tipo; donde los parámetros habituales son SST, DQO, DDBO, pH, nitrógeno amoniacal y total, fósforo total, grasa libre o emulsionada, detergentes sintéticos aniónicos, además del flujo diario y semanal máximo que se produce. Otros parámetros que ese puede utilizar para el control pueden ser el azufre o el cloro, en adición al resto de parámetros.

Estos límites, como ya se ha comentado, dependerán del destino de los vertidos. Lo más común es que los vertidos de esta industria se realicen a alcantarillado público, donde en este caso los límites de vertido de las aguas residuales quedan recogidos a nivel regional en el Decreto N° 16/1999, de 22 de abril, sobre Vertidos de Aguas Residuales Industriales al Alcantarillado de la Región de Murcia. Donde los límites adquieren los valores recogidos en el Anexo 4.

Se debe agregar que los artículos más representativos e informativos en cuanto a cómo se debe gestionar los vertidos de aguas residuales presentes en el Decreto N° 16/1999, de 22 de abril, son el N° 5 y N° 3, además de los anexos incluidos en los que se especifican actividades e industrias sometidas a regulación, vertidos prohibidos y valores máximos y parámetros de contaminación.

Más en concreto, en el Art. 5 de este decreto se definen estos valores (recogidos en la tabla 19, del Anexo 4) como las concentraciones máximas instantáneas de contaminantes en las aguas residuales que se pueden verter en las redes de alcantarillados, pudiéndose hacer excepciones muy justificadas siempre y cuando no afecten al correcto funcionamiento de las instalaciones de depuración. Así mismo, en este mismo artículo se especifica sobre el fraude mediante la dilución de los vertidos para conseguir niveles aptos de vertido a alcantarillado. También recoge aspectos más genéricos sobre la ordenanza municipal.

Todavía cabe señalar el Art. 3, donde se expone que las aguas residuales que proceden de vertidos de industrias deben ser depuradas antes de su incorporación en las redes. Esto se puede llevar a cabo mediante la instalación de unidades de pretratamiento, plantas depuradoras o modificando los procesos productivos.

A nivel municipal, el caso concreto de los vertidos de este proyecto, para verter a alcantarillado se debe seguir la Ordenanza Municipal Reguladora del Servicio de Alcantarillado de Cartagena (Borm 15/07/1986). En este documento se exponen los valores límite de parámetros de contaminación o también denominados índices de calidad de las aguas residuales vertidas a alcantarillado. Se van a seleccionar dentro de los parámetros disponibles en el documento los más característicos a tener en cuenta en mataderos avícolas. Los valores límite quedan recogidos en el Anexo 4.

Se puede observar que muchos de los valores son más restrictivos a nivel municipal.

Todo lo anteriormente mencionado, contemplado en la legislación, tiene como resultado la búsqueda de un mejor y más optimizado manejo de las aguas residuales generadas, así como una buena gestión de éstas. Esta correcta gestión viene dada en gran parte por los tratamientos de depuración empleados en instalaciones como las EDARs. En estas instalaciones surgen diversos métodos de tratamiento disponibles que ofrecen diferentes grados de gestión y utilización de las aguas residuales. Lo cual va de la mano con la posibilidad de aumentar el aprovechamiento de estos vertidos, a la vez de darles una nueva utilidad y aportarles un valor, que se traduce en un mayor beneficio dado por los residuos generados en las industrias con la consecuente reducción del impacto al medio ambiente.

3. OBJETIVOS

Con el fin de abordar la problemática entorno a la gestión de residuos y la producción de vertidos en mataderos avícolas se proponen una serie de objetivos, objetivos científico-técnicos, en este trabajo fin de grado los cuales se detallan a continuación:

- Estudiar el diagrama de flujo de un matadero tipo de aves y las principales características de las aguas residuales que se generan en esa industria.
- Analizar las diferentes tecnologías disponibles más eficaces para su tratamiento atendiendo a la guía de mejores tecnologías disponibles, con vistas a su reutilización final.
- Elegir la opción de tratamiento más conveniente atendiendo a diferentes criterios de selección.
- Dimensionar un ejemplo práctico.

4. DIAGRAMA DE FLUJO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

La producción en mataderos genera residuos debido a la actividad que se lleva a cabo en ellos. Se generan residuos de diversa índole, como son residuos sólidos, aguas residuales y emisiones atmosféricas. La producción de estos residuos varía diariamente en función de la intensidad de la actividad, aunque las composición de estas se mantienen constantes.

A continuación se expone el diagrama de flujo de la producción de agua residuales y las operaciones unitarias a las que están asociadas. Además, se detallan las características de las aguas residuales provenientes de mataderos, más concretamente las de origen avícola.

4.1 Diagrama de flujo de la producción de aguas residuales

El siguiente diagrama de flujo muestra las principales operaciones unitarias, así como los puntos donde se produce el consumo de agua y energía, generación de aguas residuales y residuos sólidos. (Véase figura 4).

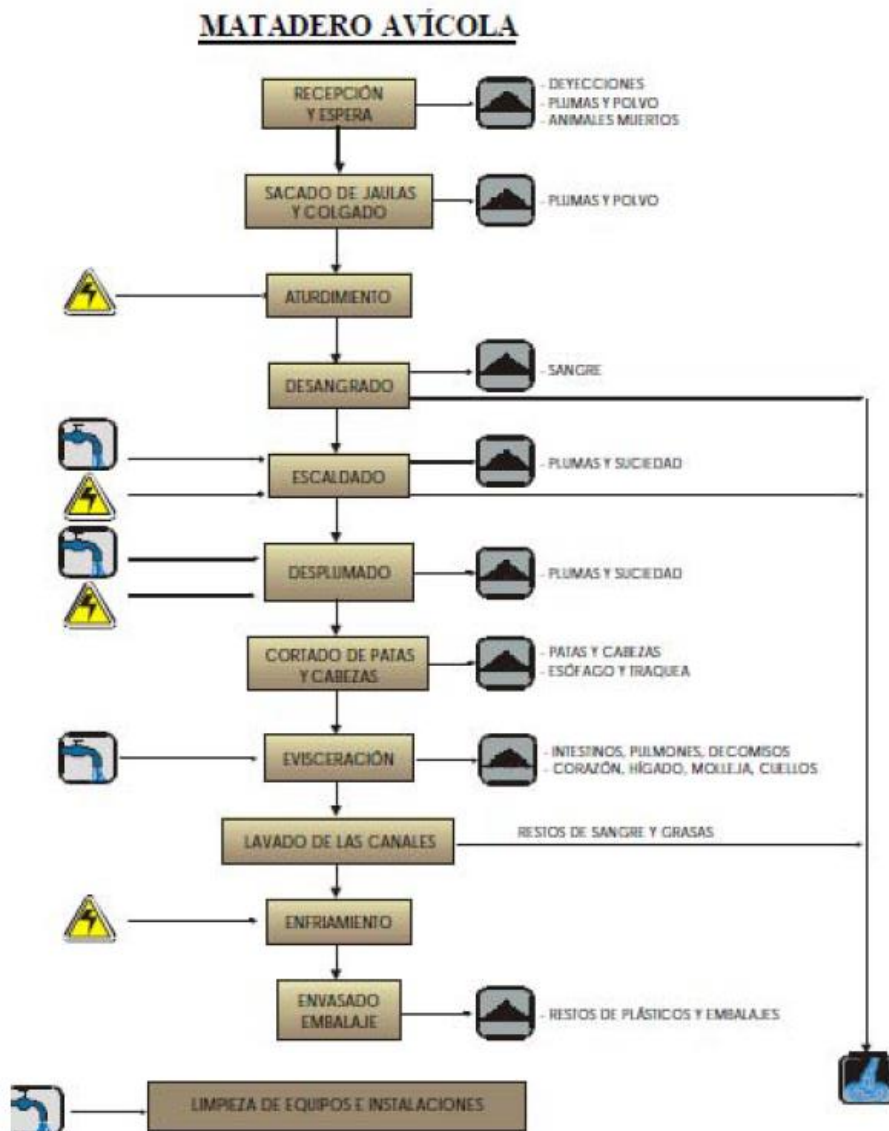


Figura 4. Producción de residuos en matadero avícola. Fuente: Santinelli (2012)

4.2 Etapas de consumo de agua y de producción de vertidos

En el sector de mataderos avícolas, como ya se ha comentado anteriormente, la generación de aguas residuales es el principal aspecto ambiental a tener en cuenta.

Generalmente, estos efluentes proceden de actividades de limpieza y desinfección de instalaciones, vehículos y equipos; también pueden provenir en menor proporción de aguas de proceso y de refrigeración. Por tanto, se puede hacer una primera clasificación de aguas residuales en función de su procedencia, ya que esto va a ser determinante para las características más específicas de estas. Por un lado, las aguas residuales procedentes de limpieza y desinfección van a contener importantes cantidades de desinfectantes y detergentes. Por otro lado, las aguas procedentes de procesos van a contener restos de materias primas, contenido intestinal y excrementos.

Durante todo el procesado de esta línea, más concretamente de la zona del matadero, se produce tanto una demanda de agua o consumo como un excedente de agua residual.

Por un lado, el consumo de agua se da en operaciones o actividades como el escaldado, lavado de canales, limpieza de equipos y limpieza de jaulas, muelle de vivos y camiones. Las operaciones de escaldado, desplumado y lavado de canales son las que presenta mayor requerimiento de agua entre las mencionadas. Así mismo, la alta demanda de agua se debe a los exigentes estándares higiénico-sanitarios que se precisan en este tipo de industria.

Conviene subrayar que los ratios de consumo en este tipo de industrias son variables, ya que dependerá de factores como la antigüedad de la planta, el grado de automatización de esta y el tamaño y distribución de las distintas instalaciones, así como de la cantidad de animales que sean sacrificados. Ahora bien, todos estos factores no están igualmente relacionados en cuanto al requerimiento de agua de todos procesos que se llevan a cabo en la planta. Por ejemplo, el factor de nº de animales sacrificados es influyente en cuanto al consumo de agua de ciertas operaciones como la limpieza de vehículos, lavado de canales, etc; pero es independiente de otras operaciones que se llevan a cabo en la zona de sacrificio y de faenado final, donde el principal factor para el consumo de agua va a ser la superficie de las instalaciones. Esto se debe a la frecuencia e intensidad que requieren estas zonas para que se mantengan unas adecuadas condiciones higiénico-sanitarias. Se puede hacer una estimación del consumo de agua requerido por tonelada de canal producida, este valor está entre los 7-12 m³/t canal y varía en función de los factores comentados y de las técnicas empleadas en el muestreo.

Por otro lado, las aguas residuales se van a producir en operaciones como el desangrado, escaldado, desplumado, lavados de canales, limpieza de equipos y limpieza de jaulas, muelle de vivos y camiones. Por tanto, cabe señalar que la generación de aguas residuales está intrínsecamente relacionada con el consumo de agua que se produce; ya que la mayor parte de agua de consumo va a acabar en la red de aguas residuales de las instalaciones puesto que no existe aporte de agua al producto final.¹²

4.3 Características de las aguas residuales generadas

¹² Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

Acerca de las características principales de estas aguas residuales, estas serían la alta carga tanto orgánica como de sólidos y grasa derivada de los restos de sangre, proteínas, grasas, microorganismos, fragmentos de plumas, contenido intestinal y excrementos, etc. Se debe destacar el alto contenido en nutrientes en este tipo aguas residuales. Por ejemplo, en el caso del escaldado en concreto, predomina una alta concentración de grasas y proteínas que se encuentran disueltas en el agua; en comparación con el desangrado que posee una alta DQO y supone un elevado aporte de nitrógeno.

Debido a estas características los tratamientos de aguas residuales más comunes son en primer lugar, una separación de sólidos, seguido de una flotación para la separación de grasas y por último, la eliminación de nutrientes mediante un tratamiento biológico. Dichos tratamientos se comentarán más adelante a detalle.

Es por esto que las características, anteriormente mencionadas, de las aguas residuales procedentes de mataderos van a quedar definidas por parámetros como el contenido en materia orgánica (DQO, DBO₅), los sólidos en suspensión, aceites y grasas, amonio y urea, fosfatos, nitrógeno y sales, y por último, detergentes y desinfectantes. Los valores de estos parámetros aparecen recogidos en el documento BREF de mataderos, 2008.¹³

Tabla 3. Parámetros del agua residual de mataderos avícolas. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2008)

Parámetros, unidades	Resultado
DBO, kg/t canal	2,43 - 43
DQO, kg/t canal	4 - 41
Nitrógeno, g/t canal	560 - 4652
Fósforo, g/t canal	26,2 - 700
Sólidos en suspensión, g/t canal	48 - 700

Dichos parámetros guardan relación con las fuentes de contaminación de estas aguas, ya que estas fuentes van a determinar la presencia de ciertos compuestos en las aguas residuales. Las principales fuentes de contaminación de las aguas residuales de un matadero son muy variadas; un ejemplo de esto es la alta contaminación por materia orgánica que puede provenir de sangre, aguas de escaldado, gallinaza, contenidos estomacales, etc.

A continuación se exponen las diferentes fuentes de contaminación más comunes y los parámetros asociados, recogidos del documento Ministerio del Medio Ambiente, 2006:

¹³ Ministerio de Medio Ambiente, 2008.

Tabla 4. Parámetros del agua residual y sus principales fuentes de contaminación. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2006)

<i>Parámetros</i>	<i>Principales fuentes</i>
Materia orgánica (DQO,COT,DBO ₅)	Sangre, aguas de escaldado, gallinaza, contenidos estomacales, etc.
Sólidos en suspensión	Gallinaza, contenidos estomacales, pelos, restos carne
Aceites y grasas	Sangre, gallinaza
Fosfatos, nitrógeno y sales	Gallinaza, contenidos estomacales, sangre, productos detergentes y desinfectantes
Detergentes y desinfectantes	Productos detergentes y desinfectantes

El control sobre las principales fuentes va a ser un factor importante a la hora de realizar una mejor gestión de los vertidos generados.

5. TECNOLOGÍAS

La gestión de agua en mataderos es un aspecto importante a valorar. Por tanto, la incorporación de métodos y tecnologías que generen un menor impacto en el medioambiente es un instrumento de gestión importante y a tener en cuenta.

Como ya se ha comentado, el agua es un factor complejo de manejar en mataderos debido al gran requerimiento de este recurso. A su vez, el gran consumo que se realiza genera un gran volumen de aguas residuales debido a la actividad industrial que se lleva a cabo.

Es por ello que surge la necesidad de la incorporación tanto de técnicas como de tecnologías enfocadas en la disminución del consumo de agua como la reducción de la producción de aguas residuales. Lo cual en una industria de este tipo supone un gran avance.

También debe tener en cuenta el abanico de tecnología disponible en el tratamiento de las aguas residuales, seleccionando de forma eficiente el tratamiento que mejor se adecue a las necesidades de la industria a estudiar.

Para la caracterización de los puntos mencionados se hará uso de manuales en materia de depuración de aguas residuales como el Manual Técnico del Agua (Degremont, 1979) y el documento Guía MTD (Ministerio de Medio Ambiente, 2006), entre otros documentos.

5.1 Tecnologías disponibles para la disminución del consumo de agua

Las mejores técnicas disponibles para la reducción del consumo de agua en mataderos son técnicas interesantes a valorar a la vista del gran consumo que se realiza en esta industria. El documento MTDs para mataderos avícolas recoge en la siguiente tabla las mejores técnicas aptas para la mejora de este aspecto ambiental.

Tabla 5. MTDs para la disminución del consumo de agua en mataderos Fuente: Ministerio (2006)

Consumo de agua	
6	Escaldado por duchas
7	Evitar el uso de agua limpia para el transporte de las plumas
8	Utilización de boquillas para el duchado de las canales durante el desplumado
9	Optimización del consumo de agua en el transporte de intestinos
11	Uso eficiente del agua en las duchas de línea
16	Sistemas de refrigeración en circuito cerrado
22	Control del consumo de agua y detergentes en las limpiezas
23	Reducción del consumo de agua en las limpiezas
24	Limpieza de superficies mediante «sistemas avanzados»
25	Limpieza de utensilios mediante «sistemas avanzados»
26	Limpieza de zonas sucias mediante sistemas de agua a presión con dispositivos de cierre y chorro regulable
29	Reducción del número de tomas de agua en la línea de sacrificio
30	Optimización del consumo de agua
31	Dispositivos de corte automático del agua en los lavaderos de manos y delantales
32	Sectorización y control centralizado del suministro de agua

En el Anexo 5 se va a detallar la mejora ambiental concreta que supone la aplicación de varias MTDs recogidas en la tabla anterior. Además, se señalarán los condicionantes de la aplicación de estas tecnologías.

5.2 Tecnologías disponibles para la disminución de la generación de aguas residuales

Asimismo, en mismo documento se muestran las mejores técnicas disponibles para el buen manejo de las aguas residuales en mataderos, así como técnicas para disminuir su producción.

Tabla 6. MTDs para la disminución del consumo de agua en mataderos. Fuente: Ministerio (2006)

Agua residual	
2	Optimización del desangrado y la recogida de la sangre
3	Recogida, transporte y almacenamiento adecuado de la sangre
10	Sustitución del transporte hidráulico de subproductos por sistemas mecánicos o neumáticos o bandejas
14	Establecer una adecuada secuencia de producción para minimizar las limpiezas en los cambios de producto
21	Prevenir la entrada de sólidos orgánicos al sistema de desagüe
27	Empleo de detergentes alternativos para minimizar el impacto ambiental de las limpiezas
28	Recogida en seco de la gallinaza de los vehículos de transporte antes de la limpieza con agua a presión
37	Segregación de las aguas pluviales
38	Tratamiento adecuado de las aguas residuales
39	Aplicar pretratamientos de forma segregada a las aguas de limpieza de camiones y zona de recepción y espera
44	Acondicionamiento de los tanques de almacenamiento de sangre para evitar vertidos accidentales
45	Habilitar un dispositivo que recoja los vertidos accidentales

En el Anexo 5 se va a detallar la mejora ambiental concreta que supone la aplicación de varias MTDs recogidas en la tabla anterior. Además, se señalarán los condicionantes de la aplicación de estas tecnologías.

5.3 Tecnologías disponibles de depuración

A continuación se exponen los tratamientos y tecnologías más características para la depuración de aguas residuales procedentes de mataderos.

5.3.1 PRETRATAMIENTO

El pretratamiento es considerado la primera operación que se realiza a las aguas residuales. Se caracteriza por la retención de sólidos y grasas que contienen estos vertidos, que por el tamaño y propiedades pueden generar dificultades en el funcionamiento de los tratamientos posteriores. No es obligado, aunque ayuda a facilitar el tratamiento de estas aguas.

Las técnicas más comunes van a ser el desbaste y tamizado mediante rejillas y tamices, y el desengrasado mediante flotación (FAD) o trampas de grasa. Además, se suele realizar la homogeneización de caudales.

▪ **DESBASTE:** suele ser la primera operación unitaria y su objetivo es la eliminación de residuos sólidos de mayor tamaño, evitando así las obstrucciones que pueden causar en el resto de la instalación.

En esta operación se hace pasar el agua residual por rejillas, o también llamadas rejillas de barrotes, obteniendo el material voluminoso separado que recibe el nombre de basuras o residuos de desbaste. Se pueden distinguir tres modalidades dentro de esta operación: desbaste de gruesos (separación entre barras de 50 a 100 mm), desbaste de medios (separación entre barras de 10 a 25 mm) y desbaste de finos (separación entre barras de 3 a 10 mm). Estos equipos van a ser capaces de eliminar la materia grosera presente en estas aguas.

Los aspectos básicos a tener en cuenta para el diseño de una rejilla de desbaste son los siguientes: tipo de equipo a utilizar, tipo de residuo a tratar, dimensiones del canal de la rejilla, intervalo de variación del caudal, volumen de sólidos fijados a la rejilla, el tipo de automatismo de limpieza, la pérdida de carga producida y la velocidad de paso. La velocidad media de paso recomendada entre los barrotes es de 0,60 m/s hasta 1,00 m/s, aunque se puedan alcanzar los 1,20 m/s como máximo para caudales muy altos.

Añadir que la limpieza de estos equipos puede ser de forma mecánica o manual, dependiendo de factores como la importancia de la planta de tratamiento, las disponibilidades económicas y la naturaleza del vertido. A grandes rasgos el sistema de limpieza automático o mecánico se basa en el barrido periódico con un peine móvil la superficie de la rejilla, extrayendo así los sólidos que son retenidos en esta.

Tipos de rejas en función del sistema de limpieza

A. Rejas manuales

Compuestas por barrotos rectos de acero, en algunos casos verticales y en otros inclinados (60 a 80° sobre la horizontal). Son las más sencillas, aunque su principal desventaja es su limpieza.

B. Rejas mecánicas de limpieza por el lado de llegada del agua

Pueden ser curvas, rectas de limpieza alternativa y rectas de limpieza continua.

- *Rejas curvas*: para instalaciones con aguas con carga media de sólidos a eliminar. Su principal ventaja es la gran superficie útil que presenta, además de la poca necesidad de profundidad de la instalación. El sistema de limpieza consta de peines montados en brazos que giran en el eje horizontal.
- *Rejas rectas de limpieza alternativa*: compuesta por barrotos de sección rectangular o trapezoidal con una inclinación de 80° sobre la horizontal. El sistema de limpieza es un dispositivo de barrido, el cual puede constar de:
 - a) un rastrillo unido a un carro que se mueve a lo largo de cremalleras,
 - b) o bien un rastrillo unido a un carro manejado mediante dos cables,
 - c) un garfio o cucharón oscilante accionado por un cable de tipo móvil que a su vez está unido a un carro que se desplaza mediante dos cables.

La selección de uno u otro dependerá de la carga sólidos y la disponibilidad de espacio, en este caso de profundidad en la instalación.

- *Rejas rectas de limpieza continua*: constituido por rejas rectas con una inclinación a 80° sobre la horizontal. EL sistema de limpieza consta de escobillas de nylon que son arrastradas por mecanismos de cadenas sin fin. La principal desventaja es su aplicación sólo como desbaste de finos, con agua con poco volumen en sólidos gruesos; y que previamente se ha realizado un desbaste medio.

C. Rejas mecánicas de limpieza por el lado de salida del agua

Constituido por rejas que pueden estar verticales o inclinadas (60 – 80° sobre la horizontal). Poseen dos modalidades principalmente en función del lugar de evacuación de los residuos: aguas arriba o aguas abajo respecto de la reja instalada. Se pueden utilizar equipos de recogida de residuos como cintas transportadoras o recipientes desmontables.

La principal ventaja de la aplicación de este tipo de rejas es la elevada eliminación de materias sólidas en aguas residuales. El sistema de limpieza está compuesto por rastrillos-peines que se mueven mediante mecanismos de cadenas sin fin.

Aspectos a valorar

A la hora de utilizar rejas lo más común es que el sistema de limpieza sea de tipo automático, también llamada mecánico. Las principales ventajas de este sistema es la reducción de posibles problemas de atascos, así como del tiempo de mantenimiento invertido en la limpieza.

Como desventajas se incluye el espacio requerido y el coste de implementación y mantenimiento frente al sistema manual.

▪ **TAMIZADO:** eliminación de residuos sólidos en suspensión. Normalmente los equipos más utilizados son los poseen la separación libre entre barras de 1 mm. Estos equipos van a eliminar sólidos en suspensión y materia flotante. Se utiliza en combinación con la operación de desbaste.

Las variantes de este método en función de las dimensiones de los orificios son los microtamices y los macrotamices.

- Microtamices: conformados sobre tela metálica y de malla, poseen una luz inferior a 100 micras. Principalmente eliminan materias en suspensión de aguas naturales o residuales pretratadas.
- Macrotamizado: conformados sobre chapa perforada o enrejado metálico, poseen una luz superior a los 0,3 mm hasta algunos milímetros. Estos tamices retienen principalmente sólidos suspendidos, materias flotantes y residuos. Son los más utilizados en su modalidad con autolimpieza en la industria agroalimentaria, y por consiguiente en mataderos.

Tipos de macrotamices con autolimpieza incorporada

A. Tamices rotatorios

Estos tamices están formados por una reja o malla cilíndrica de eje horizontal que gira lentamente, cuya luz entre barras u orificios varía entre 0,25 y 2 mm, son de acero inoxidable. Si se utiliza un enrejado, las barras poseen sección trapezoidal.

Las materias retenidas se recuperan por medio de un rascador fijo que las evacua.

B. Tamices estáticos

Estos tamices están formados por una reja o malla cilíndrica de eje horizontal cuya luz entre barras u orificios varía entre 0,25 y 2 mm, son de acero inoxidable. Las barras pueden ser rectas o curvas y poseen sección triangular.

Poseen una inclinación de arriba a abajo de 65° a 45° en la horizontal, respectivamente. Con esta inclinación se obtienen los efectos producidos por la separación, el escurrido y la retirada de materias sólidas.

Aspectos a tener en cuenta

Si el agua a tratar tiene un alto contenido en grasa o aceites puede disminuir la eficacia del tamizado por la creación de coágulos en las mallas o enrejado utilizados.

Además, para la realización del tamizado se suele realizar un desbaste previo garantizando el buen funcionamiento de los equipos y evitando su deterioro. También se pueden instalar rejas para proteger el macrotamiz.

▪ **DESENGRASADO:** esta operación unitaria consiste en la separación de aceites, grasas y flotantes. Está basada en la diferencia de densidades de los compuestos, por lo que aplicándola se pretende realizar una separación, en el caso de las grasas, de tipo solido-liquido, es decir separación de sólidos o líquidos en una fase líquida, donde los compuestos con menor densidad flotan y los que posean mayor densidad quedan en el fondo. Todo ello si la temperatura es lo suficientemente baja para que se dé la coagulación de las grasas.

En el caso de los aceites, se trata de una separación liquido-liquido por lo que los compuestos que tienen una densidad menor, normalmente los aceite y ciertas grasas, flotan en la superficie.

El desengrasado puede ser estático o mediante insuflación de aire. Se puede utilizar en combinación con otras operaciones como el desarenado o la flotación. Las técnicas más comunes son las trampas de grasas, el sistema FAD y el desarenado aireado, no se usan en combinación.

Tipos de técnicas más comunes

A. Trampas de grasas

Están basadas en la separación de los compuestos mediante el uso de tanques. Se realiza una entrada de agua a un primer tanque donde las grasas y compuestos de menor densidad quedan en la superficie, mientras que los de mayor densidad reposan en el fondo. Como resultado se obtiene agua sin estos compuestos en el medio del tanque, que será recirculada a un segundo tanque. Se trata de flotación natural.

Además, a muchas de estas trampas se le pueden añadir deflectores o pantallas que atrapan suciedad y trozos de materiales según entran en el tanque.

B. Sistemas FAD

También conocidos como sistemas de flotación por aire disuelto. Basados en la separación de compuesto en función de su densidad en tanques mediante la inyección de finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Se trata de flotación acelerada.

Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire, hace que suban a la superficie del líquido.

En este sistema, las burbujas se forman por la inyección de aire en el líquido sometido a presión que posteriormente se despresuriza. La presión suele ser de varias atmósferas, y seguido se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. Además, las burbujas creadas son de un diámetro muy pequeño, de la orden de 40 a 70 micras de diámetro. Una vez las partículas ascienden hasta la superficie se pueden recoger mediante un rascador superficial.

Además, se pueden utilizar determinados compuestos químicos para facilitar el proceso de flotación. Estos reactivos actúan creando una superficie o estructura que permite absorber o atrapar e forma más fácil las burbujas de aire. Se pueden utilizar dos tipos, los reactivos químicos inorgánicos (sales de hierro o de aluminio, sílice activada) o polímeros orgánicos.

C. Desarenado aireado

Basado en la creación de una fracción tranquila de la superficie líquida en un desarenador aireado. Se utilizan dispositivos que permitan una velocidad de flujo reducida y una superficie tranquila; lo que favorece la separación de las grasas y aceites. La inyección de aire favorece la ascensión, ya que las partículas tienden a adherirse a las burbujas creadas y flotan.

El dispositivo debe estar compuesto por dos zonas diferenciadas: la zona de aireación donde el aire es inyectado por la parte inferior, y una zona tranquila donde se acumulan las grasas en la parte superior.

La recogida y evacuación de grasas y espumas se realiza en superficie. La recogida de grasas y espumas normalmente es mediante rasquetas, mientras que la evacuación de aceite mediante vertido.

Aspectos a tener en cuenta

Si las exigencias para la eliminación de grasas son elevadas es aconsejable la utilización de un “desengrasador” en solitario (trampas de grasa). En mataderos, el sistema más utilizado y el más aconsejado es el sistema FAD.

▪ **HOMOGENEIZACIÓN DE CAUDALES:** basado en la amortiguación por laminación de las variaciones de caudal. El objetivo principal es la obtención de caudal constante y una composición de este lo más homogénea posible.

Los dispositivos disponibles para la homogeneización son cámaras, como tanques, balsas o depósitos. Estos van a actuar como pulmones y van a permitir la acumulación de las aguas residuales, para su posterior dosificación y entrada de nuevo al sistema controlado, con lo que se consigue regular el caudal.

Existen dos modalidades: en línea o con derivación. El caso más común para la industria agroalimentaria es la modalidad en línea, donde la totalidad del caudal se hace pasar por el dispositivo de homogeneización lo que permite reducir considerablemente las concentraciones de los diferentes contaminantes a eliminar, y controlar el caudal que circula por la instalación.

Aspectos a tener en cuenta

Entre las principales ventajas de implantación de este sistema se encuentra la mejora general del rendimiento de los procesos de la planta depuradora, mejora las fluctuaciones de concentración en los procesos biológicos posteriores, se consigues estabilizar el pH, facilita el manejo de las instalaciones (control de las operaciones y del mantenimiento)¹⁴.

5.3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario es también conocido como físico o físico-químico. El objetivo principal de este tratamiento es la reducción de los sólidos en suspensión mediante procesos físicos y/o químicos, acondicionando así el agua residual previo ingreso al tratamiento secundario

¹⁴ Suárez et al., 2014.

(biológico). Dentro de los sólidos que se pretenden eliminar se encuentran los sólidos sedimentables, los flotables y parte de los coloidales.

Los principales procesos utilizados en la depuración de agua residual se pueden clasificar en:

- ❖ **Proceso físico** (separación sólido-líquido): sedimentación (decantación primaria), flotación y decantación-flotación (proceso mixto).
- ❖ **Proceso físico-químico** (complemento de mejora): coagulación-floculación.

En el caso concreto de aguas residuales procedentes de mataderos en función de la intensidad del pretratamiento se realizarán técnicas de tratamiento primario más suaves o intensas.

A continuación se van a explicar los tratamientos que se pueden realizar:

▪ **SEDIMENTACIÓN O DECANTACIÓN PRIMARIA:** se basa en la separación de sólidos sedimentables y flotables mediante la acción gravitatoria, por su propio peso. Los parámetros de diseño de decantadores primarios que se deben tener en cuenta son el tipo, tamaño y forma de los tanques, el tiempo de retención hidráulica, volumen ascensional o carga de superficie.

Este proceso se puede utilizar tanto por sí solo como en combinación (decantación-flotación), el uso de un proceso u otra dependerá de los factores mencionados anteriormente.

Los decantadores se pueden dividir según:

- Flujo de agua: de flujo horizontal y de flujo vertical.
- Forma en planta: circulares, rectangulares y cuadrados.
- Existencia o no de recirculación de fangos: estáticos y dinámicos (lecho de fangos y recirculación de lodos preformados).
- Concentración de fangos: sin dispositivos, con rasquetas de arrastre y con sistemas de aspiración continuo.

Los decantadores más comunes para el tratamiento de aguas residuales son los estáticos con dispositivos mecánicos para la recogida de fangos. Normalmente se usan con diseños normalizados: rectangulares o circulares.

Tipos de decantadores estáticos

Como se ha comentado, los más comunes son los circulares y los rectangulares.

A. Decantadores estáticos circulares

En estos decantadores el sistema de barrido de fangos está sujeto a una estructura que gira en el eje del propio depósito. Este sistema puede ser de dos tipos: radial o perimetral, y es accionado por una estructura giratoria de arrastre que a su vez puede ser periférico o radial.

El diseño más común es el de puente radial con arrastre periférico, este gira lentamente debido a la acción de una rueda motriz que se desplaza en el muro de coronación del decantador.

El puente está equipado con dos o cuatro brazos formados por rascadores de fondo e incluso rascadores superficiales para la eliminación de la espuma. La alimentación del agua residual es central, esta es transportada al centro del tanque mediante una tubería o bien embebida en hormigón por debajo de la solera o bien suspendida del puente.

También comentar que la solera tiene forma de cono invertido y posee una pendiente de 4 a 10 % facilitando así la evacuación de los fangos hacia la zona central del tanque.

B. Decantadores estáticos longitudinales rectangulares

El sistema de barrido en estos decantadores posee un sistema de barrido de fangos por rascado. Los rascadores están accionados por cadenas o puentes de traslación longitudinal. La evacuación de los fangos mediante puentes de traslación se realiza longitudinalmente, el desplazamiento se da por la acción de un motor que mueve o bien ruedas de goma o raflés sobre los muros laterales. Las rasquetas de fango cuelgan del puente.

La solera tiene una pendiente del 1% y las dimensiones tienen una relación longitud/anchura entre los 3 y 6 m; la profundidad suele comprender los 2,5 y los 4 m.

Aspectos a tener en cuenta

Dentro de los decantadores estáticos, los rectangulares presentan ciertas ventajas como las menores exigencias de espacio frente a los circulares. Además, se seleccionan los rectangulares cuando es necesario cerrar o cubrir los tanques.

Entre las desventajas de estos decantadores se encuentra el costo, este suele ser más elevado frente a los circulares.

- **FLOTACIÓN:** esta operación, como se ha explicado en apartados anteriores, está basada en la separación de los compuestos mediante la diferencia de densidades. La flotación puede ser natural o acelerada (mecánica, por inyección de aire, por aire disuelto).

El sistema más utilizado es el FAD (flotación por inyección de aire disuelto), detallado en el apartado de pretratamiento. Se puede utilizar sólo o en combinación, es un proceso unitario muy usado para tratar aguas procedentes de mataderos avícolas.

Aspectos a tener en cuenta

La principal ventaja frente a otros métodos de eliminación de partículas suspendidas, como la decantación, es la eficiencia en la eliminación de estas y el menor tiempo de la deposición de partículas más ligeras o pequeñas.

- **DECANTACIÓN-FLOTACIÓN:** sistema que consta de un decantador primario convencional en cuyo interior se ubica un depósito de flotación. Este proceso se completa con el sistema típico de presurización-sobresaturación del proceso FAD.
- **COAGULACIÓN:** esta operación se basa en la desestabilización de coloides, logrando su ruptura y precipitación. Todo ello mediante la adición de productos llamados coagulantes.

Los principales coagulantes son las sales de aluminio o de hierro, aunque también se pueden utilizar productos de síntesis como los polielectrólitos catiónicos.

Para la aplicación de esta técnica se utilizan mezcladores, tanto estáticos como rápidos. Los estáticos crean un régimen turbulento que permite la difusión instantánea del coagulante, son dispositivos como diafragmas, conos, sistemas helicoidales que se instalan en el interior de una tubería. Los mezcladores de tipo rápido son tanques en los que se colocan agitadores de hélice o de palas/turbina.

Aspectos a tener en cuenta

Precisa de control de la variación diaria de la calidad bruta del agua, además la selección de un coagulante es importante con visión al uso que se le dé al agua.

Esta técnica no se suele realizar por sí sola, pero es viable.

- **FLOCULACIÓN:** se refiere a la atracción de partículas pequeñas, formando así el floculo y su posterior sedimentación-flotación. Se realiza mediante el uso de floculantes que son productos que favorecen la formación de flóculos, aunque para su eliminación es necesario aumentar tanto su volumen como su peso, concretamente su cohesión. Estos productos son también llamados ayudantes de coagulación. Los floculantes se pueden clasificar en función de:

- Naturaleza: mineral u orgánica
- Origen: sintético o natural.
- Signo de carga eléctrica: aniónico, catiónico o no iónico.

Para la aplicación de este método se precisa de un sistema de agitación, puede ser hélices o palas fijadas.

Aspectos a tener en cuenta

La velocidad del sistema de agitación es muy importante para evitar la rotura de los flóculos que se hayan formado, pero que se consiga el engrosamiento de estos. Además, una velocidad adecuada evita la formación de sedimentos en el fondo del depósito.

Esta técnica no se suele realizar por sí sola.

- **COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN:** es la combinación de los dos métodos anteriores y se realiza cuando se requieren conseguir mayores rendimientos o alcanzar los límites para cumplir límites de vertido. Como se comenta, va seguido de una decantación-flotación, por lo se podría considerar un sistema costoso de implementar pero interesante para tratar los vertidos procedentes de mataderos.

La bibliografía recomienda principalmente tratamientos como pueden ser flotación, sedimentación o decantación-flotación para este tipo de industrias. Aunque los otros métodos disponibles también se pueden utilizar e incluso están implementados en algunos mataderos.

5.3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario es también conocido como tratamiento biológico. El objetivo principal es la eliminación de la contaminación biodegradable por una biocenosis mantenida en un ambiente técnicamente controlable.

Este tratamiento consiste, más en concreto, en la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables mediante oxidación biológica, con la consiguiente estabilización de la materia orgánica. También puede tener como objetivo la reducción de nitrógeno y fósforo.

Todo ello se alcanza gracias a la acción de una gran variedad de microorganismos como bacterias, hongos, algas, protozoos y rotíferos. Estos microorganismos se utilizan para convertir la materia orgánica disuelta y coloidal en tejido celular y gases. Debido a que este tejido celular tiene un peso específico mayor que el del agua, se puede eliminar por decantación secundaria (sedimentación).

Respecto a los procesos biológicos, estos se pueden clasificar de diversas formas aunque lo más común es clasificarlos en función del elemento que eliminan (DBO carbonosa, nitrógeno, fósforo), el potencial redox o potencial oxidación-reducción del medio (anóxico, aerobio y anaerobio) y por último, según la forma que entran en contacto la biomasa y el sustrato.

A modo de simplificación, se explicarán los métodos disponibles y los más comunes para mataderos avícolas según el potencial redox del medio.

5.3.3.1 Tratamientos aerobios

Se trata de procesos en los que el oxígeno molecular disuelto en el agua va a ser utilizado por bacterias aerobias. Este oxígeno molecular disuelto actúa a modo de insumo para la reacción bioquímica de oxidación; con la cual se alcanza la estabilización el sustrato que en este caso se trata de materia orgánica contaminante.

Los tratamientos aerobios se dividen en diferentes procesos unitarios como pueden ser lodos activados, lagunas aireadas y filtros biológicos (lechos bacterianos); también hay procesos como el de los reactores biológicos secuenciales (RBS).

- **FANGOS ACTIVOS:** también llamados lodos activados. Este sistema se basa en cultivos en suspensión, donde se mantiene la biomasa a una determinada concentración mediante la suspensión en el reactor a través de un sistema de mezcla. Existen diferentes modalidades de este proceso como puede ser la mezcla completa, convencional, alta carga, media carga o baja carga, aireación gradual, aireación escalonada, oxidación total, etc.

En el proceso de fangos activos se distinguen dos operaciones diferenciadas, por un lado la oxidación biológica, y por otro lado la separación sólido-líquido. La oxidación biológica se va a dar en un reactor, mientras que la separación sólido-líquido se va dar en un decantador secundario. El uso de este decantador secundario es principalmente la recolección de biomasa y recirculación posterior, lo que evita que sea evacuada reactor. El sistema de bombeo o recirculación utilizado para devolver la biomasa al reactor se denomina “recirculación de lodos”. No toda la biomasa se recircula al reactor, sólo una parte para mantener una concentración de biomasa determinada; mientras que el resto se purga del sistema.

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante aireadores mecánicos o por difusores; que además ayudan a mantener el líquido de mezcla (biomasa más la materia orgánica) en estado de mezcla completa, lo que evita que se produzca la sedimentación de flóculos.

Aspectos a tener en cuenta

Para el diseño del proceso de fangos activos se deben tener en cuenta la elección del tipo de reactor, los criterios de carga a seguir, así como el flujo hidráulico diseñado.

Se consiguen niveles de depuración (DBO, DBQ) muy eficientes. El método convencional es el más sencillo de aplicar y manejar con unos resultados muy eficientes.

Es un sistema muy utilizado en estas industrias.

- **REACTORES BIOLÓGICOS SECUENCIALES (RBS):** es una modalidad de fangos activos. Se trata de reactores discontinuos en los cuales se mezclan agua residual y lodos biológicos en un medio aireado. En este proceso se van a combinar tres técnicas en un mismo tanque, en primer lugar se produce la reacción, seguida de aireación y por último clarificación.

Este sistema está conformado por cuatro procesos cíclicos, estos son llenado, reacción, decantación y vaciado.

- Etapa de llenado: puede ser tanto estático como dinámico.
- Etapa de reacción: se realiza el mezclado mecánico para la preparación de los microorganismos para la captación de oxígeno y la eliminación de espumas superficiales. En esta etapa se realiza la inyección de aire en el sistema. La duración de ésta afecta a los resultados de la degradación biológica que se lleva a cabo.
- Etapa de decantación: se crean condiciones que favorecen la sedimentación de los lodos.
- Etapa de vaciado: el agua es evacuada mediante un sistema de eliminación mediante sobrenadante superficial. El lodo es purgado para mantener la concentración dentro del tanque.

Aspectos a tener en cuenta

Este sistema elimina eficientemente compuestos orgánicos como el ciclo completo de nitrificación-desnitrificación, aunque es un método algo sofisticado que requiere mayor mantenimientos y cuidados.

Entre las principales ventajas se encuentra el poco requerimiento de espacio, la alta eficiencia del proceso, menor tiempo de retención hidráulico y mejor control de crecimiento de organismos filamentosos.

- **REACTORES BIOLÓGICOS DE MEMBRANA (MBR):** se trata de una modalidad del método de fangos activos. Se basa en la separación sólido-líquido mediante membranas de filtración en un tanque.

En este método se dan dos fases de oxidación: fase aerobia y fase anaerobia. La fase anaerobia requiere de agitación y aireación para garantizar el buen funcionamiento de la etapa posterior.

Se pueden dar dos tipos de MBR en función del lugar de la membrana, esta puede situarse en un tanque anexo a la unidad biológica (membrana externa) o bien se pueden situar en el interior del propio reactor biológico (membrana integrada sumergida).

Los MBR que integran un mecanismo de limpieza de membranas son más eficientes, ya que se reduce la suciedad por deposición de microorganismos, la formación de coloides y la incrustación de precipitados de tipo orgánico e inorgánico.

Aspectos a tener en cuenta

La principal ventaja es la eficiencia frente al método convencional de fangos activos. También se reducen los tratamientos requeridos, como la decantación secundaria que con sistemas MBR no sería necesario.

Como inconveniente se podría señalar la inversión inicial de la adquisición del equipo.

- **LAGUNAS AIREADAS:** también conocidas como laguna de estabilización aerobia. Se basa en la oxidación total de materia orgánica o aireación extendida. Consiste en el establecimiento de un ciclo simbiótico, donde las algas (organismos autótrofos) sintetizan su material celular y liberan oxígeno a partir de la materia inorgánica; mientras que las bacterias se alimentan de materia orgánica y liberan dióxido de carbono, el cual utilizan las plantas para poder llevar a cabo la fotosíntesis.

Estas lagunas son de escasa profundidad, ya que la luz penetra hasta el fondo de estas para que haya la máxima función clorofílica. A este sistema se le pueden añadir aireadores superficiales que van montados sobre flotadores. En este proceso no es necesario la recirculación de fangos si se diseña el tiempo de retención hidráulica muy amplio, tanto como el tiempo de retención celular. De este modo el crecimiento biológico dentro de la laguna es igual a la biomasa que es evacuada por el arrastre hidráulico; por tanto se mantiene un equilibrio de biomasa en el medio.

Aspectos a tener en cuenta

Este sistema es menos utilizado debido a que se requiere mucho espacio, aunque resulta económico.

- **FILTROS BIOLÓGICOS:** también conocidos como filtros percoladores, filtros de goteo o lecho bacteriano. Este sistema consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al cual se adhieren los microorganismos, y a través del cual percola el agua residual.

Las sustancias contaminantes y la materia orgánica son degradadas en la biopelícula, que está compuesta por microorganismos que se desarrollan a su alrededor de la masa porosa o del material plástico.

Los microorganismos al degradar la materia orgánica van creciendo, lo que aumenta el espesor de la biopelícula; lo que produce que el oxígeno se consuma antes de poder penetrar en

todo el espesor formado de la biopelícula. Esto conlleva a que en la proximidad de la superficie del medio se cree un ambiente anaerobio, que a su vez da lugar a desprendimiento de gases y rotura de biopelícula. Esta película desprende siendo arrastrada y conducida a la decantación secundaria, perdiendo así biomasa. Esto se puede controlar con un sistema de aireación adecuado mediante aireación forzada o natural.

Aspectos a tener en cuenta

Este sistema es utilizado en su modalidad de filtro de lecho móvil de goteo, en este caso el fango cubre esferas de plástico por donde se hace fluir el agua residual.

También ayuda a reducir malos olores. Este sistema consume relativamente poca energía en comparación con otros sistemas. Además, posee buenos rendimientos en reducción de DQO y compuestos nitrogenados.¹⁵

5.3.3.2 Tratamientos anaerobios

Los tratamientos anaerobios se basan un proceso triple. La primera fase se denomina hidrólisis, en ella las enzimas van a transformar los compuestos con un alto peso (molecular en lípidos, proteínas y ácidos nucleicos) en compuestos que puedan ser utilizados a modo de fuente de energía y de carbono (ácidos grasos y aminoácidos). La segunda fase o acidogénesis (fase ácida), en esta fase las bacterias van a descomponer las sustancias anteriormente hidrolizadas, por lo que se crea un medio más ácido. En la tercera y última fase, conocida como la fase metanógena, en ella los compuestos intermedios creados en la fase anterior se descomponen en metano y dióxido de carbono. Este metano (biogás) se puede utilizar de diversas formas como por ejemplo en el sistema de calefacción de la planta o incluso venderlo.

Este tipo de tratamiento secundario es muy utilizado, aunque no es del todo aceptado. En el caso de mataderos se puede utilizar a modo de tratamiento previo a un tratamiento aerobio.

Las tecnologías anaerobias aplicables en esta industria son lagunas anaerobias, reactores cerrados y filtros anaerobios.

- **LAGUNAS ANAEROBIAS:** también conocidas como laguna de estabilización aerobia. Al igual que en la aerobias, se basa en la oxidación total de materia orgánica o aireación extendida. Consiste en el establecimiento de un ciclo simbiótico, donde las algas (organismos autótrofos) sintetizan su material celular y liberan oxígeno a partir de la materia inorgánica; mientras que las bacterias se alimentan de materia orgánica y liberan dióxido de carbono, el cual utilizan las plantas para poder llevar a cabo la fotosíntesis.

Estas lagunas son profundas y casi no se encuentra oxígeno disuelto en ellas. Actúan a modo de digestor en el cual las bacterias descomponen la materia orgánica.

Aspectos a tener en cuenta

Este proceso se puede utilizar previo a un tratamiento aerobio cuando las aguas residuales poseen una alta DBO y DQO. Se debe tener en cuenta que el tiempo de retención en lagunas anaerobias es alto y generan malos olores.

¹⁵ Ministerio, 2008.

- **REACTORES ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA):** este sistema consta de tanques voluminosos que son alimentados por la parte inferior con agua residual, en la parte superior se recolecta el agua tratada. El material contaminante se estabiliza parcialmente mediante bacterias anaerobias durante el tiempo de retención.

De este sistema han surgido variantes, las más significativas son:

- Mantos de lodos (UASB).
 - Lecho expandido.
 - Lecho fluidizado.
 - Filtro anaeróbico (FAFA)
- **FILTROS ANAEROBIOS:** se trata de un sistema igual al filtro biológico aerobio. La principal diferencia reside en el sistema de aireación, ya que no dispone de uno ni de un falso fondo como lo hacia el otro sistema mencionado.

Aspectos a tener en cuenta

Puede presentar problemas de olores, aunque pueden ser controlados en la planta de tratamiento.

5.2.4 TRATAMIENTO TERCIARIO

El tratamiento terciario en aguas residuales es interesante con vista a la reducción de la carga patógena. En el caso de vertidos procedentes de mataderos adquiere mayor importancia, por lo que aunque el destino de las aguas no requiera legalmente la realización de tratamiento terciario es conveniente realizarlo, aun siendo suave.

El tratamiento terciario es también denominado tratamiento de desinfección. Está basado en la destrucción selectiva de organismos patógenos, causantes de enfermedades. Para realizar la desinfección se utilizan productos denominados desinfectantes; las principales características convenientes:

- Solubilidad en agua o en el tejido celular.
- Toxicidad específica para los microorganismos a eliminar.
- Homogeneidad en la disolución, para obtener un compuesto uniforme.
- Efectividad a temperatura ambiente.
- Precio razonable.
- No reactivos principalmente con metales.
- Capacidad de desodorizar.

Los tratamientos más comunes para llevar a cabo la desinfección son la radiación ultravioleta, cloración y ozonización.

- **CLORACIÓN:** es la técnica de desinfección más utilizada, ya que cumple una gran parte de requisitos para ser considerado buen agente desinfectante. Se utilizan diferentes compuestos derivados del cloro, como los siguientes:
 - Cloro gas (Cl_2)
 - Hipoclorito de sodio (NaOCl)

- Hipoclorito de calcio [Ca(OCl₂)]
- Dióxido de cloro (ClO₂)

Se debe tener en cuenta las características del agua tratar, como el contenido de compuestos orgánicos, el pH, la temperatura, etc. a la hora de utilizar estos agentes de manera óptima.

Un ejemplo de la importancia de conocer las características del agua es el caso en el que estas posean un alto contenido en nitrógeno, normalmente en su forma de amoníaco, que interactúa con el cloro, en su forma de ácido hipocloroso, dando lugar a diferentes tipos de cloraminas. Las cloraminas, o también denominadas cloro combinado, se consideran contaminantes.

Por un lado, el cloro se puede suministrar en su variante gas licuado (Cl₂) a alta presión, si se añade al agua se dan lugar dos reacciones: hidrólisis e ionización. Estas dependen de las características de las aguas mencionadas.

Por otro lado, las formas en hipoclorito e hipocloroso son subespecies derivadas del uso de cloro en su forma gas (ionización e hidrólisis). La variante en forma hipocloroso es mucho más reactiva que la variante en forma hipoclorito (del orden de 40 a 80 veces más potente), la relación de estas determina la acción desinfectante y la eficacia real de la desinfección realizada. El rango óptimo del pH es de gran relevancia para sacar el máximo partido a los productos utilizados.

Respecto al dióxido de cloro, es más efectivo que el cloro gas. Se trata de un compuesto muy inestable que da lugar a subespecies muy tóxicas como los cloritos y los cloratos.

Aspectos a tener en cuenta

Derivados como los hipocloritos son normalmente utilizados en plantas pequeñas. La cloración es el método más utilizado para la desinfección. El más utilizado es el hipoclorito.

Las principales ventajas son su bajo coste, facilidad de aplicación y de manejo.

Las principales desventajas es la toxicidad directa o por generación de subespecies tóxicas. La alta acción oxidante puede ser una característica difícil de manejar a la hora de realizar la desinfección (reacción al punto de ruptura o Break-point). Necesidad de una instalación con medidas de seguridad tanto para el uso como para el almacenamiento de este tipo de compuestos.

- **OZONIZACIÓN:** basado en el uso de ozono (O₃) como agente desinfectante. Tiene gran efectividad tanto frente a bacterias como frente a virus. Tiene mayor efectividad que el cloro, aunque por su inestabilidad es poco persistente y puede provocar rebrotes. Por esto mismo el ozono se tiene que generar in situ, puede obtenerse a partir de aire o mediante oxígeno puro.

Además, el ozono es capaz de controlar olores y eliminar materia orgánica (refractaria).

Aspectos a tener en cuenta

Su principal desventaja es que es un compuesto muy inestable y debe ser generado in situ. Además de su costo.

Entre sus ventajas se encuentra la no generación de sólidos disueltos, la no interacción con sustancias como el ión amonio o el pH, la alta acción bactericida y viricida.

- **RADIACIÓN ULTRAVIOLETA:** basado en la utilización de radiación con una longitud de onda determinada (254 nm) como agente bactericida y viricida. Esto se debe a que esta radiación en concreto es capaz de penetrar la pared celular de microorganismos lo que provoca la muerte celular por la rotura provocada (muerte celular inmediata) o por la incapacidad de reproducción por la absorción de esa longitud de onda por el material celular.

Se utilizan lámparas para su generación. Estas lámparas pueden estar sumergidas o suspendidas sobre el fluido.

Aspectos a tener en cuenta

Entre sus ventajas se encuentra la ausencia de compuestos tóxicos por su aplicación. Entre sus desventajas se encuentra el manejo y la limpieza de las lámparas, ya que el agua debe encontrarse en láminas finas y estar lo más clara posible (libre de turbidez) para que la dosis aplicada sea la necesaria para un tratamiento óptimo.

6. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

En capítulos anteriores se han expuesto y comentado diferentes alternativas de depuración que se han encontrados recogidas en la bibliografía consultada acerca de la depuración de vertidos procedentes de mataderos avícolas.

A continuación, se proponen una serie de alternativas técnicamente viables para depurar las aguas residuales generadas y cumplir con los límites de vertido establecidos en la legislación correspondiente.

Para ello, se van a proponer seis alternativas de depuración, las cuales se van a comentar a continuación:

– Pretratamiento.

En todos los casos, se ha contemplado el mismo tipo de pretratamiento. En cuanto al pretratamiento, aunque existe una gran variedad de operaciones o procesos que tienen cabida, se ha optado por elegir en todos los casos aquellas operaciones encaminadas a eliminar los elementos de mayor tamaño que pueden dificultar algunas de las operaciones que se van a llevar a continuación. Concretamente, se ha optado inicialmente por el desbaste de gruesos mediante el empleo de rejillas de desbaste curvas de limpieza automática atendiendo a la pérdida de carga, antes y después de su ubicación.

Posteriormente otro desbaste de finos, con el mismo tipo de rejillas, para pasar a continuación a un tamiz rotativo para eliminar un alto porcentaje de los sólidos suspendidos. A continuación, se pasa a un proceso de desengrasado mediante flotación para eliminar la mayor parte de las grasas presentes, que interfieren en procesos de transferencia de oxígeno a la masa de agua, tratamiento de fangos, etc.

La siguiente etapa consistiría en la homogeneización en línea, con objeto de homogeneizar los caudales y suavizar las cargas contaminantes, de manera que se va a mejorar de manera significativa el rendimiento del tratamiento secundario.

– Tratamiento primario

En el tratamiento primario se ha contemplado las dos opciones más frecuentes como son el tratamiento físico y el tratamiento físico-químico. En este caso, se puede comentar que a priori son dos opciones posibles por tratarse de aguas biodegradables de carga media-alta. La principal diferencia es el rendimiento que finalmente se puede conseguir en cuanto a porcentaje de sólidos suspendidos que son eliminados. Así, mientras en el caso del tratamiento primario físico podemos hablar de un rendimiento del 60-70% solo mediante el empleo de la fuerza de la gravedad, en el caso del tratamiento físico-químico podemos conseguir rendimientos ligeramente superiores, con el inconveniente de tratarse de una operación de mayor complejidad, consumo de reactivos químicos, etc.

– Tratamiento secundario.

En el tratamiento secundario también se han propuesta diferentes opciones: lechos bacterianos y fangos activos de carga media, que son dos opciones relativamente frecuentes y que permiten conseguir rendimiento en cuantos a eliminación entre el 80-95%, por lo que podemos considerar que se tratan de rendimientos de alto rendimiento. También se ha contemplado la opción de utilizar un sistema de fangos activos de baja carga (aireación prolongada) que es un sistema muy interesante en cuanto a los rendimientos de depuración, aunque precisa de altos tiempos de retención hidráulica y celular, lo que finalmente se traduce en mayores volúmenes, necesidades de espacio, etc. Otro sistema que se ha considerado es el empleo de un reactor biológico secuencial (SBR) que es un sistema de fangos activos que opera en etapas o ciclos, muy interesante para la industria agroalimentaria en general, y sobre todo para aquellos casos en los que existen fluctuaciones importantes de carga, caudal, etc.

– Tratamiento terciario

En cuanto al tratamiento terciario, se encuentran numerosas opciones tecnológicas susceptibles de utilizar, pero por simplificar el proceso de selección de las diferentes alternativas, se ha optado por emplear uno de los más frecuentes en el ámbito de la industria agroalimentaria, en este caso el empleo de hipoclorito sódico, de fácil manejo, fácil aplicación, y que permite obtener resultados óptimos para cumplir con la legislación vigente.

6.1 Alternativas propuestas

A continuación se propondrán de forma resumida las alternativas que serán sometidas a evaluación. Las alternativas a evaluar constan de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. La siguiente tabla recoge de manera resumida las alternativas propuestas y su caracterización.

Tabla 7. Propuesta de alternativas a evaluar

ALTERNATIVAS	PRETRATAMIENTO	T. PRIMARIO	T. SECUNDARIO	T. TERCIARIO
1	D,T,DF,HL	Físico	LB c carga media	Cloración
2	D,T,DF,HL	Físico	FA c carga media	Cloración
3	D,T,DF,HL	Físico-Químico	FA c carga media	Cloración
4	D,T,DF,HL	Físico	FA aireación prolongada	Cloración
5	D,T,DF,HL	No T.Primario	FA aireación prolongada	Cloración
6	D,T,DF,HL	No T.Primario	FA SBR	Cloración

En la tabla anterior se recogen las diferentes alternativas de depuración que se han contemplado con el proceso de selección de alternativas. Muchas de las ventajas e inconvenientes de esos tratamientos han sido explicados anteriormente.

De las diferentes alternativas planteadas comentar que para las alternativas 5 y 6 no se contempla la posibilidad de realizar tratamiento primario, puestos que las características tecnológicas de este tratamiento permiten omitirlo. En el caso de la aireación prolongada, es una de las ventajas que presenta, la posibilidad de no realizar tratamiento primario, aunque podría incluirse. En el caso del SBR, no precisa, puesto que todas las operaciones (llenado, sedimentación, aireación, etc.) ocurren en un mismo tanque, con una duración de cada ciclo entre 6 y 8 horas, lo que supone la realización de entre 3 y 4 ciclos/día.

Por último, para el caso del tratamiento terciario se propone la misma técnica de desinfección para todas las alternativas. Esta técnica es la cloración mediante hipoclorito, que es una de las opciones que se presenta con mayor frecuencia en las industrias agroalimentarias en general, por su coste, facilidad de manejo, etc.

6.2 Criterios de selección de las alternativas

Los criterios para la evaluación de las alternativas propuestas se van a considerar los siguientes a modo síntesis de los considerados más relevantes. Estos criterios son los siguientes:

- 1) Rendimiento de depuración en aras de cumplir los límites de vertido recogidos en la legislación vigente (vertido a alcantarillado).
- 2) Coste de la implantación de la tecnología a emplear.
- 3) Coste de depuración (procesado de las aguas).
- 4) Dificultad del manejo de los métodos seleccionados en la depuradora.
- 5) Requerimiento de espacio.

6.3 Ponderación de los criterios seleccionados

La ponderación de los criterios de selección será sobre 100, siendo este valor la suma del conjunto de los criterios propuestos. A cada criterio se le dará un valor entre 0-100 en función de su peso/importancia.

La siguiente tabla recoge la los criterios y los pesos que se les ha asignado.

Tabla 8. Criterios de selección ponderados

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5
Pesos	30	10	15	20	25

Como se observa en la tabla 2, se ha dado un mayor peso o importancia al rendimiento de depuración, pues es fundamental que el sistema elegido permita cumplir con los límites de vertido que establece la legislación medioambiental. A continuación, el criterio que le sigue en importancia es el requerimiento de espacio, pues se trata de industria agroalimentarias ubicadas en polígonos industriales donde el suelo tiene un gran valor y muchas veces resulta ser un factor limitante esencial. Como tercer criterio en importancia se ha fijado la dificultad de explotación de la depuradora. Finalmente se han fijado el coste de implantación y el coste de depuración de cada una de las tecnologías propuestas.

6.4 Evaluación del comportamiento de cada alternativa para cada criterio

A continuación, se evalúa el comportamiento de cada alternativa para cada criterio de 1 al 10. Siendo el valor 1 o próximo a este cuando se comporte muy mal para ese criterio, y 10 o próximo a este cuando se comporte muy bien.

La tabla recoge el comportamiento de cada alternativa respecto los criterios propuestos.

Tabla 9. Relación entre alternativas y criterios propuestos

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
Pesos	30	10	15	20	25
1	7	5	5	8	8
2	9	9	7	8	8
3	9	5	8	7	8
4	8	6	9	9	6
5	9	4	5	9	6
6	9	8	8	6	9

En cuanto a rendimiento de depuración (C1) son las tecnologías de baja carga (aireación prolongada) y la que emplea un tratamiento primario físico químico, las que permitirían conseguir un mayor rendimiento en cuanto a depuración (% eliminación de DBO₅).

En cuanto al coste de implantación (C2), todas presentan un comportamiento muy similar, pues si bien algunas tecnologías precisan de menos depósitos, equipos, etc., también es cierto que precisan mayor ocupación de terreno, que también es un factor muy costoso a nivel de polígono industrial. Atendiendo al coste de depuración (C3) es la alternativa 4, de aireación prolongada la

que es más económica. En cuanto al manejo del sistema de depuración (C4), los sistemas de aireación prolongada son mucho más sencillos de manejar, llegando en muchos casos a realizar un manejo cualitativo que permiten conseguir unos rendimientos de depuración muy interesantes. Si atendemos a la necesidad de espacio (C5) es el sistema SBR el que precisaría de menor espacio, mientras que los sistemas de aireación prolongada precisan de mayor espacio (mayores tiempo de retención celular del sistema).

6.5 Análisis multicriterio de las alternativas

Para el análisis de las alternativas teniendo en cuenta su comportamiento con los criterios, se proponen técnicas sencillas de análisis multicriterio para seleccionar la alternativa de depuración más interesante.

Las técnicas de análisis utilizadas para la evaluación son las siguientes: media ponderada, producto normalizado y producto ponderado exponencial.

En el primer caso, uso de media ponderada como método de análisis, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 10 . Análisis mediante media ponderada

<i>Alternativas</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>MP</i>
<i>Pesos</i>	30	10	15	20	25	-
1	7	5	5	8	8	6,95
2	9	9	7	8	8	8,25
3	9	7	6	7	8	7,70
4	9	5	8	9	6	7,70
5	8	6	9	9	6	7,65
6	8	4	5	6	9	7,00

De este primer análisis se obtiene como mejor alternativa la **número 2**.

En el segundo caso, uso de producto normalizado como método de análisis, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 11 . Análisis mediante producto normalizado

<i>Alternativas</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>PN</i>
<i>Pesos</i>	30	10	15	20	25	-
1	0,78	0,56	0,71	1,00	1,00	0,31
2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3	1,00	0,78	0,86	0,88	1,00	0,58
4	1,00	0,56	1,14	1,13	0,75	0,54
5	0,89	0,67	1,29	1,13	0,75	0,64
6	0,89	0,44	0,71	0,75	1,13	0,24

De este segundo análisis también se obtiene como mejor alternativa la **número 2**.

En el tercer caso, uso de producto ponderado exponencial como método de análisis, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 12. Análisis mediante producto ponderado exponencial

<i>Alternativas</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>PPE</i>
<i>Pesos</i>	30	10	15	20	25	-
1	0,78	0,56	0,71	1,00	1,00	0,000
2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000
3	1,00	0,78	0,86	0,88	1,00	0,001
4	1,00	0,56	1,14	1,13	0,75	0,000
5	0,89	0,67	1,29	1,13	0,75	0,000
6	0,89	0,44	0,71	0,75	1,13	0,000

De este tercer análisis también se obtiene como mejor alternativa la número 2.

6.6 Justificación de los resultados obtenidos

Como se puede observar a la vista de los resultados obtenidos, en todos los casos la opción de depuración que se plantea como más interesante de ejecutar es la número 2, que consta básicamente de un pretratamiento clásico (desbaste de gruesos y finos, desengrasado y homogeneización en línea), tratamiento primario (físico), tratamiento secundario (sistema de fangos activos convencional de carga media) y tratamiento terciario (desinfección). Es importante señalar, como se ha hecho anteriormente, que no es la única opción tecnológica viable para resolver los problemas de vertidos ocasionados en mataderos avícolas, pero quizás si que sea de las más frecuentes e interesantes. De ahí, que atendiendo a la ponderación de los diferentes criterios que han empleado para su elección, sea la alternativa 2, la que se presenta como más interesante. Es una alternativa que permite conseguir muy buen rendimiento en cuanto a depuración, de coste medio de implantación, de fácil explotación y que no precisa de grandes espacios para su implantación.

7. EJEMPLO PRÁCTICO: DIMENSIONAMIENTO

Para el dimensionamiento de una EDARs es fundamental disponer de los datos de partida en cuanto a generación de caudales, composición de los mismos y datos relacionados con los límites de vertido establecidos en la legislación vigente, atendiendo a la opción de vertido para las aguas residuales una vez depuradas.

En este caso concreto, la opción de vertido que se plantea es la de alcantarillado, que es la opción más favorable desde el punto de vista cuantitativo, pues el agua residual depurada, se mezclará con las aguas residuales urbanas y llegarán a la depuradora de aguas residuales urbanas, donde se finalizará el proceso de depuración, antes de verter directamente al medio receptor o de proceder a su reutilización.

En el caso que se plantea, se trata de opción de vertido a alcantarillado, de manera que la legislación vigente que va a tener en cuenta es la recogida en la Ordenanza Municipal del Ayuntamiento de Cartagena, puesto que los valores que ahí aparecen son más restrictivos que los recogidos en el Decreto 16/99 de ámbito autonómico.

Como datos de partida, se tendrán en cuenta los valores la composición media de las aguas residuales, recogidos en el documento de Mejores Tecnologías Disponibles (MTD) para mataderos avícolas. Los valores utilizados, son lo que quedan recogidos en la tabla 1.

Tabla 13. Parámetros del agua residual de mataderos avícolas

Parámetros, unidades	Resultado
DBO, kg/t canal	2,43 - 43
DQO, kg/t canal	4 - 41
Nitrógeno, g/t canal	560 - 4652
Fósforo, g/t canal	26,2 - 700
Sólidos en suspensión, g/t canal	48 - 700

Para el mejor manejo de estos parámetros se utilizarán en otras unidades, mg/l. Para ello se precisa el consumo de agua por tonelada de canal producida en el matadero, este dato se obtiene de la bibliografía consultada y adquiere un valor de 7 – 12 m³/t de canal. Por lo que los parámetros de las características del agua en mg/l se recogen en una tabla a continuación.

Tabla 14. Parámetros del agua residual en mataderos avícolas

Parámetros, unidades	Resultado
DBO, mg/l	255,8 - 4526,3
DQO, mg/l	421,1 - 4.315,8
Nitrógeno, mg/l	59 - 489,7
Fósforo, mg/l	2,8 - 73,7
Sólidos en suspensión, mg/l	5,1 - 73,7

A continuación, los valores límite de vertido, en este caso, el vertido es realizado a alcantarillado y en el municipio de Cartagena (Murcia). Estos valores quedan recogidos en la siguiente tabla.

Tabla 15. Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación para el municipio de Cartagena

Parámetros	Valores máximos instantáneos
Temperatura	<40°C
pH (intervalo)	5,5 - 10 unidades
SST	250 mg/l
DBO ₅	400 mg/l
DQO	650 mg/l
Nitrógeno total	-
Fósforo total	-
Grasa libre o emulsionada	250 mg/l
Detergentes sintéticos aniónicos	-
Sulfatos (en SO ₄)	1.500 mg/l
Sulfuros (en S=)	10 mg/l
Sulfuros libres	0,5 mg/l
Cloro	-

Para determinar el nº de aves inicial que condicionará la carga contaminante del agua generada, se tendrá en cuenta tanto el rendimiento de la canal por ave, 1,5 – 2 kg de canal limpia/ave, y el consumo de agua medio, 9,5 m³/t de canal. También se tendrán en cuenta tres caudales posibles: 100, 150 y 300 m³/día. La siguiente tabla recoge el número de aves al día que se pueden procesar si se fijan caudales diarios y los requerimientos tanto máximo como mínimos necesarios para llevar a cabo la actividad.

Tabla 16. Nº de aves por día procesables en función del requerimiento de agua, rendimiento de la canal y el caudal

Rendimiento (kg canal/ave)		Caudal (m³/día)		
		<i>100</i>	<i>150</i>	<i>300</i>
mínimo	<i>1,5</i>	<i>7.018</i>	<i>10.526</i>	<i>21.053</i>
máximo	<i>2</i>	<i>5.263</i>	<i>7.895</i>	<i>15.789</i>

Como se puede observar, el nº de aves varía notablemente en función del volumen de agua disponible. A continuación, se van a realizar dos simulaciones de los cálculos del tratamiento secundario de fangos activos convencional para un matadero considerando dos cargas másicas de trabajo. Para el primero de los casos (100 m³/día), se trataría de un matadero que sacrificaría diariamente entre 5200 y 7000 aves y una caga másica de 0,4 kg DBO₅/Kg SSLM día, dentro del rango de carga media, pero próximos a la zona de alta carga. En el segundo de los casos (caudal de 100 m³/día), se ha considerado un valor de carga másica de 0,2 kg DBO₅/Kg SSLM día, más próximo a la zona de baja carga, acercándonos al sistema de aireación prolongada.

A la vista de los datos obtenidos para la simulación 1 (recogida en el anexo 6), como se puede observar, con un sistema convencional de carga media (carga másica de 0,4 kg DBO₅/kg SSLM día) se pueden conseguir cumplir con los límites de vertido perfectamente, considerando un rendimiento de eliminación del 92%, valor que está dentro del rendimiento que corresponde a este tipo de tratamientos.

En este caso se precisaría un volumen de reactor de 430 m³, que es un volumen que se puede recoger en un único depósito prismático de base cuadrada con un sistema de agitación mecánica. En este caso sería suficiente con la instalación de una única turbina fija de eje vertical para conseguir la aireación que precisaría el sistema. Además, habría que contemplar la colocación de un resguardo de 0,5 metros para evitar que rebose cuando la turbina estuviera trabajando a máxima potencia. En los cálculos también se ha calculado la soplante que se debería instalar, si se optara por colocar un sistema de agitación mediante el empleo de difusores, en este caso se precisaría de una soplante que aportara 809,27 m³ de airea a la hora.

También se recogen las características geométricas que debería tener el decantador secundario, de 12,4 m² de área. Se precisaría de una única centrífuga para el espesado de los fangos que se generan (2,4 de fango deshidratado con una concentración de sólidos del 20%).

A la vista de los datos obtenidos para la simulación 2 (anexo 6), observamos que en este caso para un sistema convencional de carga media, pero próximos a la zona de baja carga (condiciones próximas a las características de trabajo de la aireación prolongada), se precisa de un volumen de reactor de 860 m³, un volumen que ya nos obligaría a la construcción de dos depósitos prismáticos de base cuadrada, con la instalación de dos turbinas (una en cada depósito),

y la necesidad de disponer de mayor espacio para la construcción de la depuradora en su conjunto. Es importante señalar, que aunque se trata de características de depuración muy interesantes en cuanto a rendimiento de depuración, funcionamiento, coste de explotación, etc., muchas veces el espacio es un factor limitante que condiciona el sistema de depuración, al tratarse de instalaciones ubicadas en polígonos industriales donde el espacio es escaso y de coste muy elevado.

8. CONCLUSIONES

Tras la realización del presente Trabajo Fin de Grado, se puede establecer como más relevantes las siguientes conclusiones:

- De la revisión bibliográfica realizada, se pone de manifiesto la problemática de las aguas residuales generadas en mataderos avícolas, y de ahí la necesidad de gestionar correctamente estos vertidos antes de su devolución al medio receptor o de su reutilización.
- Se presentan las principales características de las aguas residuales industriales provenientes de mataderos avícolas. En general se puede afirmar que se trata de aguas biodegradables, con un alto contenido en nutrientes, importante contenido de sólidos sedimentables, presencia de grasas, proteínas, microorganismos patógenos, etc.
- Se recogen numerosas tecnologías de depuración aplicables al sector de mataderos avícolas, teniendo especial relevancia las tecnologías aplicadas en mataderos de pollos. Todas ellas tienen en común la alta eficiencia de depuración y el fácil manejo de los equipos que las integran.
- El esquema más típico de las tecnologías de depuración aplicables al sector avícola es el siguiente: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, incluyendo gran variabilidad de diferencias y combinaciones de diferentes procesos y/o operaciones unitarias.
- Se han planteado diferentes alternativas de depuración, estableciendo diferentes criterios de selección, eligiendo finalmente la alternativa número 2 como la más interesante tras la aplicación de diferentes técnicas de análisis multicriterio.
- Se han realizado dos simulaciones de los cálculos del sistema de tratamiento secundario, que es el que más variantes ofrece; la simulación uno para un sistema de fangos activos convencional de carga media próximo a la alta carga; y la simulación dos, para el mismo sistema, pero para una carga másica próxima a la zona de baja carga.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, R., 2005. *El agua, recurso estratégico del siglo XXI*. Revista Facultad Nacional de Salud Pública Vol. 23 No. 1. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Balao, J., 2008. *LOS VERTIDOS DE LOS MATADEROS E INDUSTRIAS CÁRNICAS*. Consultada el 09 de marzo en <https://www.eoi.es/>.
- Caldera, Y., Gutiérrez, E., 2018. *AGUAS RESIDUALES DE UN MATADERO DE AVES: CARACTERÍSTICAS Y TRATAMIENTO*. Universidad del Zulia (Venezuela).
- Degrémont, 1979. *Manual Técnico del Agua*. 4ª Edición. Degrémont. Bilbao. 142-234 pp.
- Decreto N° 16/1999, de 22 de abril, sobre Vertidos de Aguas Residuales Industriales al Alcantarillado de la Región de Murcia (Borm N° 97, 29/03/1999).
- Espigares García, M., Pérez López, J. A., 2003. *Aguas residuales. Composición*. Consultada el 09 de marzo en <https://cidta.usal.es/>.
- Fundación Aqueae. (2021). *Calidad del agua: ¿cómo es la correcta?* Consultada el 2 de marzo en: <https://www.fundacionaqueae.org/calidad-agua/>.
- Hernández Muñoz, A.2001. *Depuración y Desinfección de Aguas Residuales*. 5ª Edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Parainfo. Madrid.
- Ivars Ruíz, A., 2019. *Diseño Técnico para la optimización de los efluentes industriales: Plan de hidroeficiencia industrial*. Trabajo fin de grado. Universidad Politécnica de Cartagena
- LQM Gestión Ambiental, 2017. *Estudio de impacto ambiental matadero industrial destinado al sacrificio y despique de animales y mercados mayoristas*.
- Martín García, I., Betancort Rodríguez, J., Salas Rodríguez, J., Peñate Suárez, B., Pidre Bocado, J. and Sardón Martín, N., 2006. *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Santa Lucía, Las Palmas: Instituto Tecnológico de Canarias.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2006. *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Matadero y de los Transformados de Pollo y Gallina*.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2008. *Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), Documento BREF. Documento de referencias de Mejores Técnicas Disponibles para mataderos e industrias de subproductos animales*.
- de Miguel Gisbert, L., 2021. *ESTACION DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES*. Proyecto final de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Muñoz Muñoz, D., 2005. *SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MATADERO: PARA UNA POBLACIÓN MENOR 2000 HABITANTES*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca, Popayán.
- Ordenanza Municipal Reguladora del Servicio de Alcantarillado de Cartagena (Borm 15/07/1986)
- Santinelli, M. E., 2012. *MATADERO DE POLLOS. Impacto ambiental y proyecto de tratamiento de aguas residuales*. Universidad de Buenos Aires.
- Suárez López, J., Jácome Burgos, A., Ures Rodríguez, P., 2014. *PROCESOS DE REGULACIÓN-HOMOGENEIZACIÓN (FT-PRE-002)*. Universidade da Coruña.
- del valle Melendo, J., 2014. *El agua, un recurso cada vez más estratégico*. Consultada el 16 de enero en: <https://dialnet.unirioja.es/>.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). 2019. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO

10. ANEXOS

ANEXO 1: Diagrama de flujo matadero avícola tipo

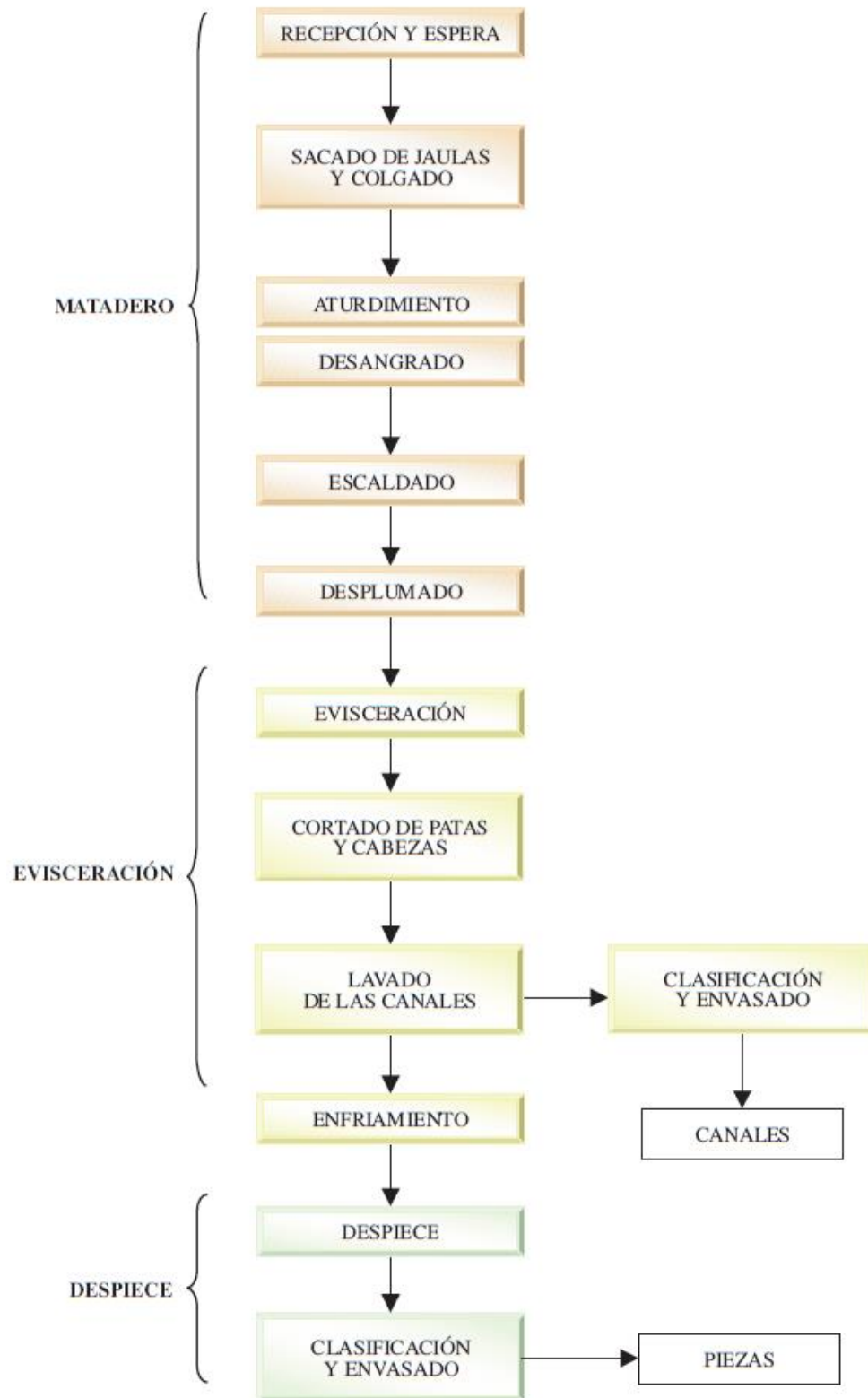


Figura 5. Diagrama de flujo de un matadero de tipo avícola. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2006)

ANEXO 2: Magnitud impacto ambiental residuos matadero

Tabla 17. Clasificación operaciones en función del orden de impacto ambiental. Fuente: Santillini (2012)

Operación Básica.	Efecto	Orden
RECEPCIÓN Y ESPERA	<ul style="list-style-type: none"> Residuos sólidos (deyecciones, plumas, polvo) Animales muertos 	1º
SACADO DE JAULAS Y COLGADO	<ul style="list-style-type: none"> Residuos (plumas y polvo) 	2º
ATURDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> Energía eléctrica 	N
DESANGRADO	<ul style="list-style-type: none"> Sangre 	1º
ESCALDADO	<ul style="list-style-type: none"> Aguas residuales Vapor y olores Consumo de energía térmica 	1º 1º ?
DESPLUMADO	<ul style="list-style-type: none"> Plumas y suciedad Aguas residuales 	1º
CORTADO DE PATAS Y CABEZAS	<ul style="list-style-type: none"> Generación de residuos (patas y cabezas tráquea y esófago) 	2º
EVICERACION	<ul style="list-style-type: none"> Residuos sólidos compuestos por trozos de vísceras, grasas, sangre y contenidos digestivos Bajos caudales de aguas con restos de grasas, sangre y contenidos digestivos 	1º NS
LAVADO DE CANALES	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de agua Aguas residuales con restos de sangre 	NS 2º
ENFRIAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de energía eléctrica 	1º
ENVASADO	<ul style="list-style-type: none"> Restos de plásticos y embalajes 	NS
LIMPIEZA EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> Aguas residuales con elevada carga orgánica, y presencia de detergentes y desinfectantes 	1º
RECOGIDA Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS	<ul style="list-style-type: none"> Olores 	1º

ANEXO 3: Calidad del agua

Tabla 18. Clasificación de usos de agua para definir criterios de calidad del recurso agua. Fuente: Universidad del Valle (2003).

CLASE	USO	CRITERIO CALIDAD	TRATAMIENTO REQUERIDO
II	- Agrícola. - Pecuario. - Recreación. - Pesca.	Patógenos, color, turbiedad, pH, O.D, Compuestos Tóxicos, sólidos, grasas, °T	- Secundario - Desinfección.
III	- Agrícola. - Pecuario con restricciones. - Ciertos usos industriales.	Color, pH, O.D, Compuestos Tóxicos, sólidos flotantes, grasas, °T	- Primario y en algunos casos Secundario

En cuanto a los parámetros que definen la calidad del agua se pueden clasificar en físicos, químicos y biológicos.

Por un lado, los parámetros físicos que se pueden medir para evaluar la calidad del agua son:

- Temperatura
- Color
- Olor
- Sabor (sólidos totales, SST)
- Turbidez

Por otro lado, los parámetros químicos y bioquímicos que se pueden utilizar son los siguientes:

- Acidez (pH)
- Alcalinidad
- Conductividad
- Dureza
- Aceites y grasas
- Fenoles
- Cloruro, cloro e hipoclorito
- Amoníaco, nitritos y nitratos
- Fósforo total
- Metales pesados
- Detergentes
- Toxicidad
- Oxígeno disuelto (OD)
- Carbono orgánico total (COT)
- DBO₅
- DQO

Más en concreto, los parámetros más utilizados para definir la calidad del agua procedente de mataderos avícolas son los siguientes:

- Temperatura: parámetro de gran importancia, ya que la variación de este parámetro modifica la solubilidad de los compuestos. Si la temperatura aumenta, disminuye la solubilidad de los gases y aumenta la de los sólidos disueltos.
- pH: es considerado “la medida de la concentración de iones hidronio (H₃O⁺) en disolución”.

El pH tiene un intervalo de 0-14, considerándose las aguas con valores pH de 0-7 ácidas y con valores 7-14 básicas o alcalinas. Las aguas ácidas (pH<7) favorecen la corrosión de partes metálicas cuando entran en contacto con estas. En cambio, las aguas básicas (pH>7)

pueden propiciar la precipitación de sales insolubles y provocar incrustaciones. Se debe señalar que la temperatura afecta el pH, provocando variaciones de este.

- SST: se consideran a los sólidos suspendidos totales como “los residuos materiales que quedan después del proceso de evaporación y secado en estufa de una muestra con volumen conocido”, este parámetro se mide en mg/l.
- DBO₅: Se define como “la cantidad de oxígeno consumido, expresado en mg de O₂/l, en las condiciones de ensayo, tras la incubación durante 5 días a 20°C y en la oscuridad, por la materia presente en el agua para su degradación biológica.”¹⁶

Este parámetro mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos (microorganismos) en una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Mide el oxígeno consumido por una población microbiana en un medio donde se inhiben procesos de producción de oxígeno y se favorecen el crecimiento de microorganismos.¹⁷

- DQO: Se define como “la cantidad de oxígeno consumido, expresado en mg O₂/ l, en la oxidación total de las sustancias reductoras presentes en el agua, mediante el uso de oxidantes químicos potentes como el dicromato potásico.”¹⁸

Este parámetro mide la cantidad de materia susceptible de ser oxidada por medios químicos (reacciones químicas) que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Mide el grado de contaminación.

- Nitrógeno total: se considera a este parámetro como un indicador de contaminación, su presencia en formas como amoníaco y el nitrógeno orgánico son indicativo de contaminación reciente. Parámetro importante en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs). Es junto al fósforo, indicativo de crecimiento de organismos en aguas.
- Fósforo total: altas concentraciones de fósforo en aguas superficiales aumentan el crecimiento incontrolado de biomasa acuática, lo que se conoce como eutrofización. También es indicativo de un exceso en detergentes.
- Grasa: poseen ciertas características poco deseables en las aguas residuales, algunas de estas son la baja densidad, poca solubilidad en baja y dificultad para su biodegradación. A su vez, generan problemas en las plantas de tratamiento de estas aguas debido a que disminuyen la permeabilidad de los sólidos en suspensión; también reducen la transferencia de O₂.
- Detergentes: pueden poseer diferentes naturalezas como aniónica, neutra o catiónica, siendo los primeros los más comunes.

¹⁶ Apuntes universitarios. Autor: J.M. Moreno Angosto.

¹⁷ Santinelli, 2012.

ANEXO 4: Legislación

Tabla 19. Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación para la Región de Murcia (Anexo III)

Parámetros	Valores máximos instantáneos
Temperatura	<40°C
pH (intervalo)	5,5 - 9,5 unidades
SST	500 mg/l
DBO ₅	650 mg/l
DQO	1.100 mg/l
Nitrógeno total	50 mg/l
Fósforo total	-
Grasa libre o emulsionada	100 mg/l
Detergentes sintéticos aniónicos	-
Sulfuros	5 mg/l
Cloro	-

Tabla 20. Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación para el municipio de Cartagena (Borm 15/07/1986).

Parámetros	Valores máximos instantáneos
Temperatura	<40°C
pH (intervalo)	5,5 - 10 unidades
SST	250 mg/l
DBO ₅	400 mg/l
DQO	650 mg/l
Nitrógeno total	-
Fósforo total	-
Grasa libre o emulsionada	250 mg/l
Detergentes sintéticos aniónicos	-
Sulfatos (en SO ₄)	1.500 mg/l
Sulfuros (en S=)	10 mg/l
Sulfuros libres	0,5 mg/l
Cloro	-

ANEXO 5: Descripción de MTDs

5.1 Tecnologías disponibles para la disminución del consumo de agua

B. Escaldado por duchas

Esta alternativa al clásico escaldado por inmersión con agua caliente, supone una reducción tanto del consumo energético como de agua, también se obtiene una mejor calidad higiénica ya que el agua empleada es siempre limpia.

En comparativa, la reducción es de un 25% frente al sistema convencional. Además al reducir el consumo de agua, se reduce el volumen de agua residual producido durante esta operación unitaria. El aspecto a tener en cuenta es el aumento de la carga orgánica disuelta y la poca uniformidad del escaldado con la consiguiente poca eficiencia en el desplumado.

Los condicionantes para la aplicación de esta técnica se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria:* disminución de la calidad de la piel por la aplicación de altas temperaturas, con la consiguiente desecación en la operación de enfriado.
- ❖ *Riesgos laborales:* quemaduras a los operarios por el vapor y el agua caliente por fallo del escaldador.
- ❖ *Aspectos técnicos:* escaldado poco regular.
- ❖ *Aspectos económicos:* su implantación requiere una gran inversión.
- ❖ *Aplicabilidad:* en instalaciones nuevas o instalaciones en las que se vaya a realizar reformas sustanciales.

C. Reducción del consumo de agua en las limpiezas

Mediante su aplicación se reduce tanto el consumo de agua, como el de productos de desinfectantes y detergentes. Al reducir el consumo de estos insumos, se reduce el volumen y la carga contaminante del agua residual generada.

Se pueden aplicar métodos como la recogida previa de los residuos en seco, sistemas de cierra en mangueras de limpieza, tomas de agua distribuidas, limpieza a baja o media presión y el establecimiento de procedimientos para la limpieza de las instalaciones.

Los condicionantes para la aplicación de estas técnicas se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria:* la reducción de los insumos utilizados no debe comprometer las condiciones higiénico-sanitarias ni la calidad del producto en ninguna de las etapas del procesado.
- ❖ *Riesgos laborales:* no se esperan.
- ❖ *Aspectos técnicos:* tener en cuenta la dureza del agua utilizada para evitar obturaciones en mangueras con cierre en los extremos.
- ❖ *Aspectos económicos:* no se esperan.
- ❖ *Aplicabilidad:* en todas las instalaciones.

D. Limpieza de superficies mediante «sistemas avanzados»

La aplicación este tipo de técnicas supone una mejor generación de aguas residuales, al mismo tiempo que se disminuye el consumo de agua y de productos como detergentes y desinfectantes.

Los sistemas avanzados de limpieza son aquellos que aseguran las condiciones higiénicas de las instalaciones pero generan un menor impacto ambiental. Algunos de estos sistemas aplicables son los siguientes:

- Prelavado, limpieza con espuma y enjuagado posterior con chorros de agua a baja presión.
- Sistemas propulsados de limpieza de suelos equipados con accesorios.

Los condicionantes para la aplicación de esta técnica se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria:* no se esperan.
- ❖ *Riesgos laborales:* no se esperan.
- ❖ *Aspectos técnicos:* necesidad de tener un equipo de generación de espuma y equipos de aplicación de la misma, así como bomba de agua y el propio sistema autopropulsado. Estos sistemas comentados no son aptos para superficies grandes, con alto grado de suciedad ni con superficies con excesivo nº de esquinas.
- ❖ *Aspectos económicos:* la inversión inicial se puede recuperar por el ahorro tanto de agua como de productos (detergentes y desinfectantes).
- ❖ *Aplicabilidad:* todo tipo de instalaciones.

E. Optimización del consumo de agua

La aplicación de sistemas se plantea en todas las operaciones donde se utilice el agua como insumo para controlar su uso.

Para la optimización de este recurso se proponen medidas como:

- Ajuste del caudal para los requerimientos de cada operación unitaria.
- Fijación de las condiciones óptimas para cada operación.
- Instalación de dispositivos de regulación de caudal, de sistemas de cierre sectorizado.
- Uso de circuitos cerrados y de sistemas automáticos de cierre.
- Uso de agua con la calidad ajustada al proceso en el que se a utilizar.
- Reutilización de agua proveniente del procesado o de operaciones auxiliares siempre y cuando se asegure la seguridad alimentaria tanto del producto como la calidad del procesado y los equipos.

Los condicionantes para la aplicación de esta técnica se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria:* las tecnologías aplicadas para la optimización de agua no deben comprometer la calidad y seguridad del procesado
- ❖ *Riesgos laborales:* no se esperan.

- ❖ *Aspectos técnicos:* no se esperan.
- ❖ *Aspectos económicos:* no se esperan.
- ❖ *Aplicabilidad:* en todo tipo de instalaciones.

F. Sectorización y control centralizado del suministro de agua

Con la aplicación de esta técnica se reduce el consumo de agua al cerrar puntos de agua cuando finaliza la actividad de zonas de trabajo concretas. El cierre puede ser manual o automático, además se pueden cerrar zonas enteras si no están siendo utilizadas quedando abiertas las zonas que se encuentren activas en ese momento.

Con esta medida se reduce el volumen producido de las aguas residuales.

Los condicionantes para la aplicación de esta técnica se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria:* no se esperan.
- ❖ *Riesgos laborales:* no se esperan.
- ❖ *Aspectos técnicos:* no se esperan.
- ❖ *Aspectos económicos:* no es viable a nivel económico en instalaciones existentes.
- ❖ *Aplicabilidad:* instalaciones nuevas principalmente.

5.2 Tecnologías disponibles para la disminución de la generación de aguas residuales

A. Optimización del desangrado y la recogida de la sangre

La optimización de estas etapas es fundamental para la reducción de la carga contaminante final de las aguas residuales generadas, debida a la carga orgánica de la sangre (elevada DQO). A su vez, se reduce la contaminación producida por la presencia de nitrógeno. Además, la recogida de sangre de una forma higiénica tiene un gran impacto sobre la valorización de esta. También se tiene en cuenta que menos restos de sangre se traducen en la disminución del consumo de agua para su eliminación.

La tecnología o métodos disponibles para llevar a cabo la optimización son los siguientes:

- Desangrado óptimo mediante el establecimiento de un tiempo mínimo de ejecución de la operación.
- Recogida de sangre óptima e higiénica mediante drenaje doble y depósitos intermedios.

Los condicionantes para la aplicación de esta técnica se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria:* no se esperan.
- ❖ *Riesgos laborales:* no se esperan.
- ❖ *Aspectos técnicos:* no se esperan.

- ❖ *Aspectos económicos*: no se esperan.
- ❖ *Aplicabilidad*: todo tipo de instalaciones.

B. Recogida, transporte y almacenamiento adecuado de la sangre

En consonancia con la MTD anterior, la implantación de un sistema diferenciado para el transporte de sangre es un aspecto a tener en cuenta para evitar que fluya al colector de agua residual. Su adecuado manejo es un factor muy importante para su valorización como subproducto, evitando su transformación es un complejo residuo difícilmente gestionable.

Al poseer una instalación independiente para la sangre se reducen las emisiones atmosféricas si éstas son refrigeradas, también se reducen los olores producidos en el almacenamiento.

Los condicionantes para la aplicación de esta técnica se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria*: no se esperan.
- ❖ *Riesgos laborales*: no se esperan.
- ❖ *Aspectos técnicos*: no se esperan.
- ❖ *Aspectos económicos*: al considerar la sangre como subproducto se debe considerar el coste de su gestión y valorización sobre el coste de depuración de ésta y el impacto sobre el aumento de la carga contaminante de su vertido.
- ❖ *Aplicabilidad*: todo tipo de instalaciones.

C. Empleo de detergentes alternativos para minimizar el impacto ambiental de las limpiezas

Se prevé la disminución de la carga tóxica de las aguas provenientes de la limpieza y desinfección, mediante el uso de detergentes alternativos que no comprometan la calidad y la seguridad alimentaria del producto.

Se evita el uso de detergentes derivados del cloro, estos son los denominados detergentes clásicos. En cambio se utilizan detergentes con un mejor impacto ambiental como el ácido peracético.

Para el caso de desinfectantes considerados alternativos son mucho más costosos que los derivados del cloro.

Los condicionantes para la aplicación de esta técnica se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria*: no se esperan.
- ❖ *Riesgos laborales*: no se esperan.
- ❖ *Aspectos técnicos*: no se esperan.
- ❖ *Aspectos económicos*: tanto detergentes como desinfectantes alternativos tienen un costo superior a los clásicos. Se debe tener en cuenta tanto su eficacia como su manejo específico por personal cualificado.
- ❖ *Aplicabilidad*: todo tipo de instalaciones.

D. Habilitar un dispositivo que recoja los vertidos accidentales

Con esta tecnología se pretende principalmente evitar vertidos accidentales en la línea de suministro de aguas residuales, con la consiguiente reducción de la contaminación y mejora en la depuración de estas. De esta manera se aumenta la eficacia de los tratamientos de depuración.

El dispositivo más común es la instalación de balsas de homogeneización, lo que a su vez evita puntas en el caudal y se amortigua la carga contaminante. A su vez, la aplicación de este sistema evita la sobrecarga de los equipos de depuración, evitando que disminuya la eficacia de estos.

Los condicionantes para la aplicación de esta técnica se pueden considerar a diferentes niveles:

- ❖ *Calidad y seguridad alimentaria*: no se esperan.
- ❖ *Riesgos laborales*: necesidad de personal cualificado para el manejo del dispositivo.
- ❖ *Aspectos técnicos*: limitaciones de espacio.
- ❖ *Aspectos económicos*: no se esperan.
- ❖ *Aplicabilidad*: instalaciones nuevas o que precisen de una reforma y posean espacio para ello.

ANEXO 6: Datos obtenidos en el cálculo del dimensionamiento

Los datos recogidos en este anexo proceden de una hoja de cálculo, Excel, ajustado para el caso particular de depuración de vertidos procedentes de mataderos avícolas. A continuación se exponen las dos simulaciones realizadas.

SIMULACIÓN 1. Matadero avícola que sacrifica entre 5263 y 7018 aves/día. Con un sistema biológico de fangos activos convencional de carga media (0,4 kg DBO5/KgSSLM día).

SIMULACIÓN 1

1. DATOS DE PARTIDA

1.1. CAUDALES

<i>Caudales de diseño</i>			
Caudal medio diario	Qd	100,0	m3/día
Horas de trabajo		24	horas
Caudal medio horario entrada	Qmedio	4,2	m3/h
Horas alimentación biológico		24,0	horas
Caudal medio horario entrada biológico	Qmedio	4,2	m3/h

1.2. PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN

Concentraciones máximas de Contrato			
DQO		4.200	mg/l
DBO5		4.300	mg/l
TSS		74	mg/l
NTK		89	mg/l

Concentraciones máximas instantánea			
DBO5		5.160	mg/l
Coficiente punta instantaneo		1,2	
NTK		106,8	mg/l
Coficiente punta instantaneo		1,2	

Rendimientos medios esperados por fases

	Coef.		
<i>Salida Homogenización y clarificación Red.</i>			
DQO	0%	4200	mg02/l
DBO5	0%	4300	mg02/l
TSS	0%	74	mg/l
NTK	0%	89	mg/l
<i>Salida Biologico</i>			
DQO	92%	336,0	mg02/l
DBO5	92%	344,0	mg02/l

TSS	40%	44,4	mg/l
NTK	60%	35,6	mg/l

Cargas de diseño biológico

DBO5		430,0	Kg/dia
TSS		7,4	Kg/dia
NTK		8,9	Kg/dia

1.3. PARÁMETROS DE SALIDA

Concentraciones en el efluente

DQO	<	1.000	mg/l
DBO5	<	500	mg/l
TSS	<	500	mg/l
NTK	<	100	mg/l
Ph		6-8	mg/l

Características del fango

Estabilidad del fango (% SSV)	>	40,0	
Humedad de los fangos tratados	<	80,0	

**DIMENSIONAMIENTO
BIOLÓGICO**

Entrada Biológico

Caudal en entrada	100	m3/dia
DBO5	4300	mgO2/l
Cm	0,4	kgDBO5/KgMMLS* día
Concentración biomasa activa	2,5	KgMMLS/m3
Volumen reactor	430	m3
Hora alimentación reactor	24	h
Caudal máximo admisible	4,16666667	m3/h
TRH selector óxico	3	h
Volumen selector	12,5	m3
Superficie decantador	8	m2

**COMPROBACIÓN
BIOLÓGICO**

Nº DE REACTORES 1

PARAMETROS ENTRADA A BIOLÓGICO

Caudal máximo	100	m ³ /día
DBO5 entrada	4.300	mg O ₂ /l
	430,0	Kg/día
SS entrada	74	mg/l
	430	Kg/día
NKT entrada	89	mg/l
	8,9	Kg/día

PARÁMETROS DE SALIDA

DQO salida <	1000	mg O ₂ /l
DBO5 SALIDA <	500	mg O ₂ /l
SSV salida <	500	mg/l
NTK <	100	mg/l
N-NH ₄ <	15	mg/l
N-NO ₃ <	10	mg/l

OTROS PARÁMETROS DISEÑO

Fracción biodegradable	80	%
Temperatura licor mezcla	20	°C
Concentración licor	2500	mgMLSS/l
	2,50	kgMLSS/m ³
Carga másica	0,4	kg DBO ₅ /kg MLSS día
Edad del fango	12	días
Volumen Activación	430	m ³
Volumen Desnitrificación/ANÓXICO	12,5	m ³
Tiempo de retención hidráulica	4,3	días
	103,2	horas

FANGOS EN EXCESO

$B_1 = SS_{entrada}/DBO_5 =$	0,02	
Carga másica	0,40	
F_{eDBO_5}	0,972	kg SSentrada/ kg DBO ₅
DBO ₅ eliminada	330	kg DBO ₅ /día
Fangos en exceso	320,8	kg SS/día

DIMENSIONAMIENTO

AIREACIÓN

APORTACIÓN OXIGENO ELIMINACIÓN MATERIA CARBONOSA

Carga diaria DBO5 entrada	430	kg DBO ₅ /día
Carga diaria DBO5 entrada a eliminar (B)	330	Kg/día

NECESIDADES O₂ SÍNTESIS

Para Cm	0,40	a'	0,615
a' x B	202,95	Kg O ₂ /día	

NECESIDADES ENDÓGENA	O2	RESPIRACIÓN		
	Para Cm	0,40	b'20	0,085
	Para Tª (°C)	20	b'Tª	0,0850
	M _{eq}	1.075	kg MLSS	
	b'Tª x M	91,38	Kg O2/día	

APORTACIÓN OXIGENO ELIMINACIÓN MATERIA NITROGENADA

Carga diaria NKT entrada	8,90	KgN/día
Porcentaje NKT no biodegradable efluente	5	% NKT entrada
NKT no biodegradable efluente	0,45	KgN/día
Porcentaje NKT incorporado al fango	10	% de la materia volátil
Porcentaje materia volátil NKT incorporado al fango	80	% de fangos en exceso
NKT incorporado al fango	25,66	KgN/día
NTK nitrificable	8,90	KgN/día
Nitratos N-NO3 formados	8,90	KgN-NO3/día
Nitratos N-NO3 en efluente	1,00	KgN-NO3/día
Nitratos N-NO3 a eliminar	7,90	KgN-NO3/día
Recirculación	690%	
Recirculación sin eliminación por fango	646%	
Posible aportación de nutrientes		KgN/día

NECESIDADES NITRIFICACIÓN	O2	40,67	Kg O2/día
----------------------------------	-----------	--------------	------------------

NECESIDADES DESNITRIFICACIÓN	O2	-22,59	Kg O2/día
-------------------------------------	-----------	---------------	------------------

NECESIDADES MEDIAS DE OXÍGENO

SÍNTESIS	202,95	Kg O2/día
RESPIRACIÓN ENDÓGENA	91,38	Kg O2/día
NITRIFICACIÓN	40,67	Kg O2/día
DESNITRIFICACIÓN	-22,59	Kg O2/día
DEMANDA MEDIA DIARIA	312,40	Kg O2/día
DEMANDA MEDIA HORARIA	13,02	Kg O2/hora
OC LOAD	0,9	Kg O2/kg DBO5 eliminado

NECESIDADES DE OXIGENO POR EXCESO DE DQO EN EL LICOR MEZCLA

DQO salida <	800	mg O2 /l
Requerimiento por DQO en reactor	80	Kg O2/día
DEMANDA MEDIA DIARIA	392,40	Kg O2/día
DEMANDA MEDIA HORARIA	16,35	Kg O2/hora
OC LOAD	1,2	Kg O2/kg DBO5 eliminado

NECESIDADES MÁXIMAS DE OXÍGENO

Coefficiente punta de caudal	1,00		
Coefficiente punta de carga contam. DBO5	1,20		
Coefficiente punta temperatura (>30°)	1,00	grafico adjunto	
Coefficiente de simultaneidad	1,00		
Coefficiente punta global	1,16		
DEMANDA MÁXIMA HORARIA	18,90	Kg O2/hora	
OC LOAD PUNTA	1,4	Kg O2/kg DBO5 eliminado	
AOR PUNTA	18,90	Kg O2/hora	
ratio de coef. trasferencia de masa Alfa	0,50		
factor de saturacion - Beta	0,97		
Oxigeno residual	2,00	mgO2/l	
Temperatura mínima	20,00	°C	
Temperatura operativa	25,00	°C	
Temperatura máxima	30,00	°C	
Csat (t° min)	9,2		
Csat (t° oper- media)	8,4		
Csat (t° max)	7,6		
Presión barometrica (ver tabla altura)	930,00	mBar	(632 msnm)
SOR PUNTA (temp. Min)	56,16	Kg O2/hora	
SOR PUNTA (temp. operativa)	56,36	Kg O2/hora	
SOR PUNTA (temp. Max)	57,54	Kg O2/hora	
SOTE	0,27		
Caudal Aire Punta Max	789	Nm3/hora	
n° air lift	4,00	ud	
	5	m3/hora/ud	
	20	m3/h	
CAUDAL TOTAL	809	m3/hora	
ud	1,00		
Caudal unitario soplante	809,27	m3/h	

DECANTADOR SECUNDARIO

Datos de partida

Caudal medio horario	4,2	m3/h
Coefficiente punta	1,2	
Caudal punta	5,0	m3/h

Concentración de MLSS		2500,0 0	mg/l	
Nº de unidades		1,00	ud	
Parámetros de diseño				
Carga hidráulica	Ch(Qmed)<	0,50	m ³ /m ² /h	
	Ch(Qmax)<	0,85	m ³ /m ² /h	
Tiempo de retención	Tr(Qmed)>	4,00	horas	
	Tr(Qmax)<	3,00	horas	
Carga de sólidos	Cs(Qmed)<	2,50 h	kg/m ² /	
	Cs(Qmax)<	5,00 h	kg/m ² /	
Caudal en vertedero	Qv (Qmed)<	12,00 l	m ³ /h/m	
	Qv (Qmax)<	20,00 l	m ³ /h/m	
Calado en borde	h>	2,00	m	
Superficie mínima teórica por ud.	St	8,33	m ²	
Geometría del decantador rectangular (parámetros unitarios)				
Longitud		5,6	m	
Ancho		2,2	m	
Superficie adoptada		12,4	m ²	
Profundidad trapeizodal		1,5	m	
Profundidad troncoconica		3,5	m	
Volumen total		33,0	m ³	
Longitud de vertido		6,0	m	
Comportamiento (parámetros unitarios)				
Caudal medio unitario	Qmedio,u	4,2	m ³ /h	
Caudal máximo unitario	Qmax,u	5,0	m ³ /h	
Carga hidráulica	Ch(Qmed)	0,34	m ³ /m ² /h e	cumpl
	Ch(Qmax)	0,40	m ³ /m ² /h e	cumpl
Tiempo de retención	Tr(Qmed)	7,91	horas e	cumpl
	Tr(Qmax)	6,59	horas e	cumpl
Carga de sólidos	Cs(Qmed)	0,84 h	kg/m ² / e	cumpl
	Cs(Qmax)	1,01 h	kg/m ² / e	cumpl
Caudal en vertedero	Qv (Qmed)	0,69 l	m ³ /h/m e	cumpl
	Qv (Qmax)	0,83 l	m ³ /h/m e	cumpl

4. PRODUCCIÓN DE FANGOS EN EXCESO

Tipo de fango		primario+biológicos
Fangos primarios		
Caudal medio diario	100	m3/día
Conc. sólidos en suspensión en agua residual	74	mg/l
Sólidos en suspensión en agua residual	7	kg/día
Rendimiento tamizado	0	%
Sólidos en suspensión salida tamizado	7	kg/día
Rendimiento flotador	0%	
Sólidos en suspensión flotados	0	kg/día
Concentración de fango flotados	1,2	%
Volumen diario de fangos	0,0	m3/día
Ratio fango generado/agua procesada	0,0	%
Fangos biológicos		
Fangos biológicos	320,8	kg/día
Fangos precipitación de fósforo	0,0	kg/día
Fangos totales secundarios	320,8	kg/día
Concentración prevista	1,0	%
	32,1	m3/día
Volumen de fangos entrada espesador	32,1	m3/día

8. COMPROBACIÓN ESPESADOR

Condiciones de diseño

Carga sólidos<	<	100,0	kg/m2/día
Carga hidráulica<	<	0,35	m3/m2/hora
Tiempo de retención de fangos>	>	48,0	horas
Tiempo de retención hidráulica>	>	18,0	horas
Concentración de fango espesado		3,0	%

Kg Secos/Día	320,8	kg/día
Concent. Purga	1,0	%
Volumen día	32,1	m3
Caudal Bombeo	2,5	m3/h
Tiempo de bombeo diario	12,8	h
Superficie mínima por carga de sólidos	3,2	m2

Superficie mínima por carga hidráulica	7,1	m ²
Nº unidades	1,0	ud
Superficie mínima teórica unitaria	7,1	m ²

ESPESADOR CIRCULAR

Geometria (dimensionamiento unitario)

Radio mínimo		1,51	m
Radio adoptado	r	1,5	
Superficie adoptada	S	7,07	m ²
Calado en vertical de vertedero	h	4,00	m
Volumen prismático		28,26	m ³
Altura piramidal	p	1,00	m
Volumen total (sin poceta)		30,62	m ³
Volumen adoptado		30,62	m ³

Carga de sólidos=	45,4	Kg MS/m ² .d
Tiempo de retención hidráulico a caudal medio	22,9	h
	1,0	días
Fangos almacenados	612	kg
Tiempo de retención de fangos	45,8	h
	1,9	días
Carga hidráulica=		
Q medio =	0,19	m ³ /m ² .h
Q máximo =Q bombeo	0,35	m ³ /m ² .h

ESPESADOR RECTANGULAR

Geometria (dimensionamiento unitario)

Lado mayor		3,8	m
Lado menor		2,0	m
Superficie adoptada	S	7,60	m ²
Calado en vertical de vertedero	h	4,00	m
Volumen prismático		30,40	m ³
Altura piramidal	p	1,00	m
Volumen total (sin poceta)		32,93	m ³
Volumen adoptado		32,93	m ³

Carga de sólidos=	44,9	Kg MS/m ² .d
Tiempo de retención hidráulico a caudal medio	25,1	h
	1,0	días
Fangos almacenados	612	kg
Tiempo de retención de fangos	25,5	h
	1,9	días
Carga hidráulica=		
Q medio =	0,18	m ³ /m ² .h
Q máximo =Q bombeo	0,33	m ³ /m ² .h

FANGOS TOTALES ESPESADOS

Conc. Espesador=	3,0	%
------------------	-----	---

Volumen día =	10,7	m ³ espesado	fangos
---------------	------	----------------------------	--------

DATOS DE DISEÑO

Unidades =	1,0	ud
Superficie util =	7,1	m ²
Altura cilíndrica =	4,0	m
Pendiente =	45,0	°
Altura cónica =	1,0	m
Resguardo =	28,3	m
Volumen util =	30,62	m ³

BOMBEO FANGOS EN EXCESO AL ESPESADOR

Caudal a bombear	2,5	m ³ /h
Número unidades	1,0	
Tipo de bombas		
Altura de trabajo	1,0	m
Caudal unitario	2,5	m ³ /h
Tiempo previsto operación por unidad	12,8	h/día

Fangos primarios

Sólidos en suspensión flotados	0	kg/día
Concentración mínima de fango espesados	1,50	%
Volumen diario máximo de fangos	0,00	m ³ /día

Fangos biológicos

Fangos biológicos	321	kg/día
Concentración prevista	3,00	%
Volumen diario de fangos	10,69	m ³ /día

Fangos mixtos

Fangos totales	321	kg/día
Volumen diario de fango	10,69	m ³ /día
Concentración media prevista	3,00	%

Fangos mixtos

Fangos totales	320,8	kg/día
Volumen diario de fango	10,7	m ³ /día

Concentración media prevista	3,0	%
Concentración media adoptada en entrada	2,0	%
Volumen diario de fango	16,04	m3/día
nº centrifuga	1,00	ud
horas funcionamiento	6,00	horas/día
Capacidad de tratamiento real	53,46	kgMS/h
Capacidad hidraulica real	2,67	m3/h
Concentración fango deshidratados	20	%
Volumen fango diario	2,4	m3

SIMULACION 2 Matadero avícola que sacrifica entre 5263 y 7018 aves/día. Con un sistema biológico de fangos activos convencional de carga media (0,2 kg DBO5/KgSSLM día).

SIMULACIÓN 2

1. DATOS DE PARTIDA

1.1. CAUDALES

<i>Caudales de diseño</i>			
Caudal medio diario	Qd	100,0	m3/dia
Horas de trabajo		24	horas
Caudal medio horario entrada	Qmedio	4,2	m3/h
Horas alimentación biológico		24,0	horas
Caudal medio horario entrada biológico	Qmedio	4,2	m3/h

1.2. PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN

Concentraciones máximas de Contrato

DQO	4.200	mg/l
DBO5	4.300	mg/l
TSS	74	mg/l
NTK	89	mg/l

Concentraciones máximas instantánea

DBO5	5.160	mg/l
Coeficiente punta instantaneo	1,2	
NTK	106,8	mg/l
Coeficiente punta instantaneo	1,2	

Rendimientos medios esperados por fases

	Coef.		
<i>Salida Homogenización y clarificación Red.</i>			
DQO	0%	4200	mgO ₂ /l
DBO ₅	0%	4300	mgO ₂ /l
TSS	0%	74	mg/l
NTK	0%	89	mg/l
<i>Salida Biologico</i>			
DQO	92%	336,0	mgO ₂ /l
DBO ₅	92%	344,0	mgO ₂ /l
TSS	40%	44,4	mg/l
NTK	60%	35,6	mg/l
<i>Cargas de diseño biológico</i>			
DBO ₅		430,0	Kg/dia
TSS		7,4	Kg/dia
NTK		8,9	Kg/dia

1.3. PARÁMETROS DE SALIDA

Concentraciones en el efluente

DQO		1.000	mg/l
DBO ₅	<	500	mg/l
TSS	<	500	mg/l
NTK	<	100	mg/l
Ph		6-8	mg/l

Características del fango

Estabilidad del fango (% SSV)	>	40,0
Humedad de los fangos tratados	<	80,0

DIMENSIONAMIENTO BIOLOGICO

Entrada Biologico

Caudal en entrada	100	m ³ /dia
DBO ₅	4300	mgO ₂ /l
Cm	0,2	kgDBO ₅ /KgMMLS* día
Concentración biomasa activa	2,5	KgMMLS/m ³
Volumen reactor	860	m ³
Hora alimentación reactor	24	h
Caudal máximo admisible	4,16666667	m ³ /h

DIMENSIONAMIENTO
AIREACIÓN

APORTACIÓN OXIGENO ELIMINACIÓN MATERIA CARBONOSA

Carga diaria DBO5 entrada	430	kg DBO ₅ /día
Carga diaria DBO5 entrada a eliminar (B)	330	Kg/día

NECESIDADES O2 SÍNTESIS

Para Cm	0,20	a'	0,615
a' x B	202,95	Kg O2/día	

NECESIDADES O2 RESPIRACIÓN ENDÓGENA

Para Cm	0,20	b' ₂₀	0,085
Para T ^a (°C)	20	b' _{T^a}	0,0850
M _{eq}	2.150	kg MLSS	
b' _{T^a} x M	182,75	Kg O2/día	

APORTACIÓN OXIGENO ELIMINACIÓN MATERIA NITROGENADA

Carga diaria NKT entrada	8,90	KgN/día
Porcentaje NKT no biodegradable efluente	5	% NKT entrada
NKT no biodegradable efluente	0,45	KgN/día
Porcentaje NKT incorporado al fango	10	% de la materia volátil
Porcentaje materia volátil NKT incorporado al fango	80	% de fangos en exceso
NTK nitrificable	21,88	KgN/día
Nitratos N-NO ₃ formados	8,90	KgN/día
Nitratos N-NO ₃ en efluente	8,90	KgN-NO ₃ /día
Nitratos N-NO ₃ a eliminar	1,00	KgN-NO ₃ /día
Recirculación	7,90	KgN-NO ₃ /día
Recirculación sin eliminación por fango	690%	
Possible aportación de nutrientes	646%	KgN/día

NECESIDADES NITRIFICACIÓN O2 40,67 Kg O2/día

NECESIDADES DESNITRIFICACIÓN O2 -22,59 Kg O2/día

NECESIDADES MEDIAS DE OXÍGENO

SÍNTESIS	202,95	Kg O2/día
RESPIRACIÓN ENDÓGENA	182,75	Kg O2/día
NITRIFICACIÓN	40,67	Kg O2/día
DESNITRIFICACIÓN	-22,59	Kg O2/día
DEMANDA MEDIA DIARIA	403,78	Kg O2/día

DEMANDA MEDIA HORARIA	16,82	Kg O2/hora	
OC LOAD	1,2	Kg O2/kg DBO5 eliminado	
NECESIDADES DE OXIGENO POR EXCESO DE DQO EN EL LICOR MEZCLA			
DQO salida <	800	mg O2 /l	
Requerimiento por DQO en reactor	80	Kg O2/día	
DEMANDA MEDIA DIARIA	483,78	Kg O2/día	
DEMANDA MEDIA HORARIA	20,16	Kg O2/hora	
OC LOAD	1,5	Kg O2/kg DBO5 eliminado	
NECESIDADES MÁXIMAS DE OXÍGENO			
Coficiente punta de caudal	1,00		
Coficiente punta de carga contam. DBO5	1,20		
Coficiente punta temperatura (>30°)	1,00	grafico adjunto	
Coficiente de simultaneidad	1,00		
Coficiente punta global	1,12		
DEMANDA MÁXIMA HORARIA	22,59	Kg O2/hora	
OC LOAD PUNTA	1,6	Kg O2/kg DBO5 eliminado	
AOR PUNTA	22,59	Kg O2/hora	
ratio de coef. trasferencia de masa Alfa	0,50		
factor de saturacion - Beta	0,97		
Oxigeno residual	2,00	mgO2/l	
Temperatura mínima	20,00	°C	
Temperatura operativa	25,00	°C	
Temperatura máxima	30,00	°C	
Csat (t° min)	9,2		
Csat (t° oper- media)	8,4		
Csat (t° max)	7,6		
Presión barometrica (ver tabla altura)	930,00	mBar	(632 msnm)
SOR PUNTA (temp. Min)	67,12	Kg O2/hora	
SOR PUNTA (temp. operativa)	67,36	Kg O2/hora	
SOR PUNTA (temp. Max)	68,77	Kg O2/hora	
SOTE	0,27		
Caudal Aire Punta Max	943	Nm3/hora	
n° air lift	4,00	ud	
	5	m3/hora/ud	
	20	m3/h	
CAUDAL TOTAL	963	m3/hora	
ud	1,00		

Caudal unitario soplante 963,35 m3/h

DECANTADOR SECUNDARIO

Datos de partida

Caudal medio horario	4,2	m3/h
Coefficiente punta	1,2	
Caudal punta	5,0	m3/h
Concentración de MLSS	2500,0 0	mg/l
Nº de unidades	1,00	ud

Parámetros de diseño

Carga hidráulica	Ch(Qmed)<	0,50	m ³ /m ² /h
	Ch(Qmax)<	0,85	m ³ /m ² /h
Tiempo de retención	Tr(Qmed)>	4,00	horas
	Tr(Qmax)<	3,00	horas
Carga de sólidos	Cs(Qmed)<	2,50 h	kg/m ² /
	Cs(Qmax)<	5,00 h	kg/m ² /
Caudal en vertedero	Qv (Qmed)<	12,00 l	m ³ /h/m
	Qv (Qmax)<	20,00 l	m ³ /h/m
Calado en borde	h>	2,00	m
Superficie mínima teórica por ud.	St	8,33	m ²

Geometría del decantador rectangular (parámetros unitarios)

Longitud	5,6	m
Ancho	2,2	m
Superficie adoptada	12,4	m ²
Profundidad trapeizodal	1,5	m
Profundidad troncoconica	3,5	m
Volumen total	33,0	m ³
Longitud de vertido	6,0	m

Comportamiento (parámetros unitarios)

Caudal medio unitario	Qmedio,u	4,2	m ³ /h
Caudal máximo unitario	Qmax,u	5,0	m ³ /h
Carga hidráulica	Ch(Qmed)	0,34	m ³ /m ² /h e

cumpl

	Ch(Qmax)	0,40	m ³ /m ² /h	e	cumpl
Tiempo de retención	Tr(Qmed)	7,91	horas	e	cumpl
	Tr(Qmax)	6,59	horas	e	cumpl
Carga de sólidos	Cs(Qmed)	0,84 h	kg/m ² /	e	cumpl
	Cs(Qmax)	1,01 h	kg/m ² /	e	cumpl
Caudal en vertedero	Qv (Qmed)	0,69 l	m ³ /h/m	e	cumpl
	Qv (Qmax)	0,83 l	m ³ /h/m	e	cumpl

4. PRODUCCIÓN DE FANGOS EN EXCESO

Tipo de fango primario+biológicos

Fangos primarios

Caudal medio diario	100	m ³ /día
Conc. sólidos en suspensión en agua residual	74	mg/l
Sólidos en suspensión en agua residual	7	kg/día
Rendimiento tamizado	0	%
Sólidos en suspensión salida tamizado	7	kg/día
Rendimiento flotador	0%	
Sólidos en suspensión flotados	0	kg/día
Concentración de fango flotados	1,2	%
Volumen diario de fangos	0,0	m ³ /día
Ratio fango generado/agua procesada	0,0	%

Fangos biológicos

Fangos biológicos	273,5	kg/día
Fangos precipitación de fósforo	0,0	kg/día
Fangos totales secundarios	273,5	kg/día
Concentración prevista	1,0	%
	27,3	m ³ /día
Volumen de fangos entrada espesador	27,3	m ³ /día

8. COMPROBACIÓN ESPESADOR

Condiciones de diseño

Carga sólidos<	<	100,0	kg/m ² /día
----------------	---	-------	------------------------

Carga hidráulica<	<	0,35	m3/m2/hora
Tiempo de retención de fangos>	>	48,0	horas
Tiempo de retención hidráulica>	>	18,0	horas
Concentración de fango espesado		3,0	%

Kg Secos/Día		273,5	kg/día
Concent. Purga		1,0	%
Volumen día		27,3	m3

Caudal Bombeo		2,5	m3/h
Tiempo de bombeo diario		10,9	h

Superficie mínima por carga de sólidos		2,7	m2
Superficie mínima por carga hidráulica		7,1	m2
Nº unidades		1,0	ud
Superficie mínima teórica unitaria		7,1	m2

ESPESADOR CIRCULAR

Geometria (dimensionamiento unitario)

Radio mínimo		1,51	m
Radio adoptado	r	1,5	
Superficie adoptada	S	7,07	m2
Calado en vertical de vertedero	h	4,00	m
Volumen prismático		28,26	m3
Altura piramidal	p	1,00	m
Volumen total (sin poceta)		30,62	m3
Volumen adoptado		30,62	m3

Carga de sólidos=		38,7	Kg MS/m2.d
Tiempo de retención hidráulico a caudal medio		26,9	h

		1,1	días
Fangos almacenados		612	kg
Tiempo de retención de fangos		53,7	h
		2,2	días

Carga hidráulica=

Q medio =		0,16	m3/m2.h
Q máximo =Q bombeo		0,35	m3/m2.h

ESPESADOR RECTANGULAR

Geometria (dimensionamiento unitario)

Lado mayor		3,8	m
Lado menor		2,0	m
Superficie adoptada	S	7,60	m2
Calado en vertical de vertedero	h	4,00	m
Volumen prismático		30,40	m3
Altura piramidal	p	1,00	m
Volumen total (sin poceta)		32,93	m3
Volumen adoptado		32,93	m3

Carga de sólidos=	38,3	Kg MS/m2.d
Tiempo de retención hidráulico a caudal medio	21,4	h
	0,9	días
Fangos almacenados	612	kg
Tiempo de retención de fangos	25,5	h
	2,2	días
Carga hidráulica=		
Q medio =	0,15	m3/m2.h
Q máximo =Q bombeo	0,33	m3/m2.h

FANGOS TOTALES ESPESADOS

Conc. Espesador=	3,0	%
Volumen día =	9,1	m3 fangos espesado

DATOS DE DISEÑO

Unidades =	1,0	ud
Superficie util =	7,1	m2
Altura cilíndrica =	4,0	m
Pendiente =	45,0	°
Altura cónica =	1,0	m
Resguardo =	28,3	m
Volumen util =	30,62	m3

BOMBEO FANGOS EN EXCESO AL ESPESADOR

Caudal a bombear	2,5	m ³ /h
Número unidades	1,0	
Tipo de bombas		
Altura de trabajo	1,0	m
Caudal unitario	2,5	m ³ /h
Tiempo previsto operación por unidad	10,9	h/día

Fangos primarios

Sólidos en suspensión flotados	0	kg/día
Concentración mínima de fango	1,50	%
espesados		m3/dí
Volumen diario máximo de fangos	0,00	a

Fangos biológicos

Fangos biológicos	273	kg/día
Concentración prevista	3,00	%
		m3/dí
Volumen diario de fangos	9,12	a

Fangos mixtos		
Fangos totales	273	kg/día m3/dí
Volumen diario de fango	9,12 a	
Concentración media prevista	3,00	%
Fangos mixtos		
Fangos totales	273,5	kg/día
Volumen diario de fango	9,1	m3/día
Concentración media prevista	3,0	%
Concentración media adoptada en entrada	2,0	%
Volumen diario de fango	13,67	m3/día
n° centrifuga	1,00	ud
horas funcionamiento	6,00	horas/día
Capacidad de tratamiento real	45,58	kgMS/h
Capacidad hidraulica real	2,28	m3/h
Concentración fango deshidratados	20	%
Volumen fango diario	2,1	m3