

.brinergy.



**Nuevos sistemas de tratamiento de aguas  
aplicables a la industria:**

**Electrocoagulación y MBBR**



# Reglamentación



- Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas.
- Decreto 174/1994, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Control de Vertidos para la Protección del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Decreto 2/2019, de 21 de enero, por el que se aprueba definitivamente el Plan Hidrológico Insular de la Demarcación Hidrográfica de Gran Canaria.

## PLAN HIDROLÓGICO DE GRAN CANARIA

Ciclo de Planificación Hidrológica 2015-2021

Consejerías de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas  
y de Política Territorial, Sostenibilidad y Seguridad

327 *DECRETO 2/2019, de 21 de enero, por el que aprueba definitivamente el Plan Hidrológico Insular de la Demarcación Hidrográfica de Gran Canaria.*

Demarcación Hidrográfica ES120 Gran Canaria

NORMATIVA

### ARTÍCULO 123. Obligación de depuración en origen



De forma específica, el CIAGC incidirá en la obligación de aquellos usuarios cuya actividad sea susceptible de provocar vertidos que dificulten la depuración o reutilización, por razones de composición de las aguas vertidas, de instalar plantas depuradoras o de tratamiento específico en razón del origen o motivo de la contaminación. Dicha obligación se hace extensiva a cualquier actividad y entidad, y con independencia del volumen vertido.

# Decreto 174/1994 y Decreto 2/2019

Reducción de tóxicos metálicos. Reducción de la materia orgánica. Reducción de compuestos inorgánicos.

Aluminio (mg/l)  
Arsénico (mg/l)  
Bario (mg/l)  
Boro (mg/l)  
Cadmio (mg/l)  
Cromo III (mg/l)  
Cromo Vi (mg/l)  
Hierro (mg/l)  
Manganeso (mg/l)  
Níquel (mg/l)  
Mercurio (mg/l)  
Plomo (mg/l)  
Selenio (mg/l)  
Estaño (mg/l)  
Cobre (mg/l)  
Cinc (mg/l)

Demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub>  
Materias sedimentables  
Sólidos en suspensión SS  
Demanda química de oxígeno DQO  
Contaminación bacteriológica E. coli  
pH

Cianuros (mg/l)  
Cloruros (mg/l)  
Sulfuros (mg/l)  
Sulfitos (mg/l)  
Sulfatos (mg/l)  
Fluoruros (mg/l)  
Fósforo (mg/l)  
Idem  
Amoníaco (mg/l)  
Nitrógeno nítrico (mg/l)  
Aceites y grasas (mg/l)  
Fenoles (mg/l)  
Aldehidos (mg/l)  
Detergentes (mg/l)  
Pesticidas (mg/l)

## RD-1620/2007. Régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES <sup>1</sup>	ESCHERICHIA <i>COLI</i>	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>1.- USOS URBANOS</b>					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL <sup>2</sup> a) Riego de jardines privados. <sup>3</sup> b) Descarga de aparatos sanitarios. <sup>3</sup>	1 huevo/10 L	0 (UFC <sup>4</sup> /100 mL)	10 mg/L	2 UNT <sup>5</sup>	OTROS CONTAMINANTES <sup>6</sup> contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas <sup>7</sup> deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <sup>8</sup> <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). <sup>9</sup> b) Baldeo de calles. <sup>9</sup> c) Sistemas contra incendios. <sup>9</sup> d) Lavado industrial de vehículos. <sup>9</sup>	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	
CALIDAD 3.1 <sup>1</sup> a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales.	No se fija limite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	15 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> : 100 UFC/L
c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases <sup>2</sup> con los siguientes valores: n=10 m =1.000 UFC/100 mL M=10.000 UFC/100 mL c=3	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> :100 UFC/L Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/ Ausencia ( <i>Salmonella</i> , etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000

# Retos:



- ❖ Ahorro económico.
- ❖ Respeto medioambiental.
- ❖ Reducción de la materia orgánica.
- ❖ Eliminación de Patógenos.
- ❖ Reducción de tóxicos metálicos.
- ❖ Reducción de compuestos inorgánicos.



# ¿Cómo? Economía Circular



El agua es un bien muypreciado y escaso, por eso, reutilizarla es de vital importancia para lograr una producción sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Los últimos sistemas que se han desarrollado son equipos compactos que además presentan una alta automatización y un nivel de sencillez de utilización bastante elevado.

Una de las principales ventajas que presentan es que tienen una alta adaptabilidad a los distintos tipos de aguas (cambios en conductividad, pH, presencia de grasas y aceites).





# Caracterización de las aguas industriales

- Purines: Estas aguas se caracterizan por la presencia de diversos microorganismos patógenos. También se destacan el volumen de Amoniac y Metano, con baja relación C/N (bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de nitrógeno amoniacal), la concentración de Potasio, Nitratos, Fosfatos y algunos metales pesados (Cobre y Zinc) introducidos por la alimentación.

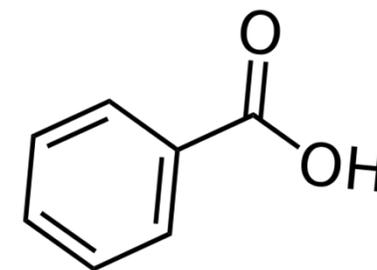
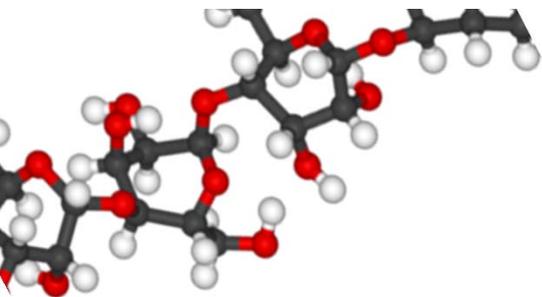
- Mataderos: En estas aguas nos encontramos con una gran cantidad de materia orgánica disuelta (~3000mgDQO/l), nitratos y fosfatos y también, debido a los productos de limpieza, una gran cantidad de grasas y químicos.

- Vinazas: alta cantidad de materia orgánica disuelta como pueden ser, azúcares (glucosa y fructosa), polifenoles de distintas estructuras, ácidos orgánicos (cítrico y málico), sustancias pécticas (polisacáridos), sustancias nitrogenadas y distintas enzimas. Además, también podremos encontrar sales minerales (sulfatos, fosfatos y potasio) y diversos residuos sólidos como pueden ser la piel y las pipas.

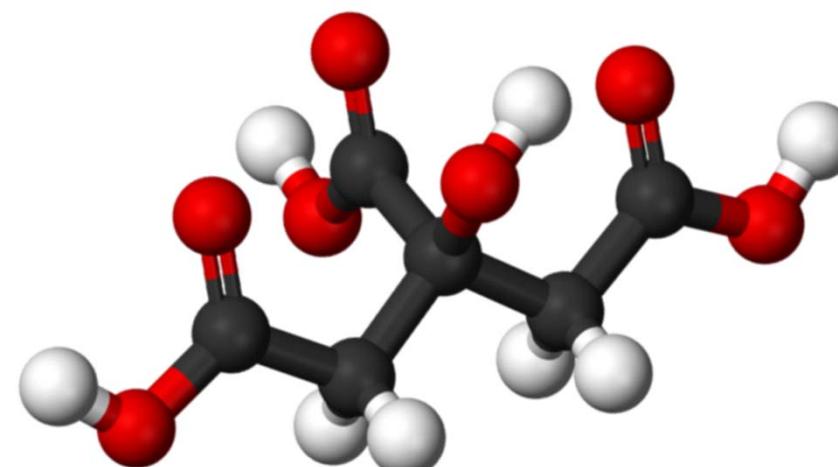
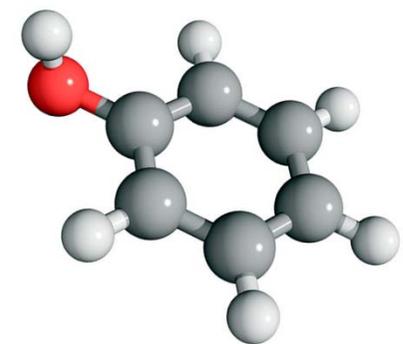
- Hidrocarburos: son compuestos orgánicos formados por la unión hidrógeno-carbono y dan lugar a diversas estructuras. El principal problema de ellos es que tienen una baja tasa de degradación lo que hace obligatorio su tratamiento para eliminarlos. Por otra parte, estas aguas pueden presentar contaminación de microorganismos que se hayan desarrollado en las cisternas.

- Lavandería: Estas aguas presentan una alta variación de sus propiedades dependiendo de la suciedad de la ropa a lavar, sin embargo, siempre existe la presencia de sólidos en suspensión, debido a tiras de hilo que se desprenden de la ropa. Su mayor problemática es que tienen un pH demasiado elevado (superior a 10) por lo que un tratamiento por medios biológicos es imposible, pues acabaría con los microorganismos. No hay que olvidar tampoco que estas aguas salen a una alta temperatura (>50°C).

- Láctea: Aguas con contenido orgánico que puede alcanzar los 6000mgDBO<sub>5</sub>/l y un alto volumen de sólidos en suspensión además de diversas grasas y aceites vegetales. Dependiendo del origen pueden tener carácter ácido o básico (pH 2-11) y su conductividad puede aumentar si se emplea el agua para limpiar maquinarias del salado del queso. La temperatura también presenta un alto nivel de variación pues puede emplearse tanto para refrigeración como para calefacción. Por último, los productos de limpieza y desinfección introducen un alto volumen de Nitrógeno y Fósforo en los residuos.

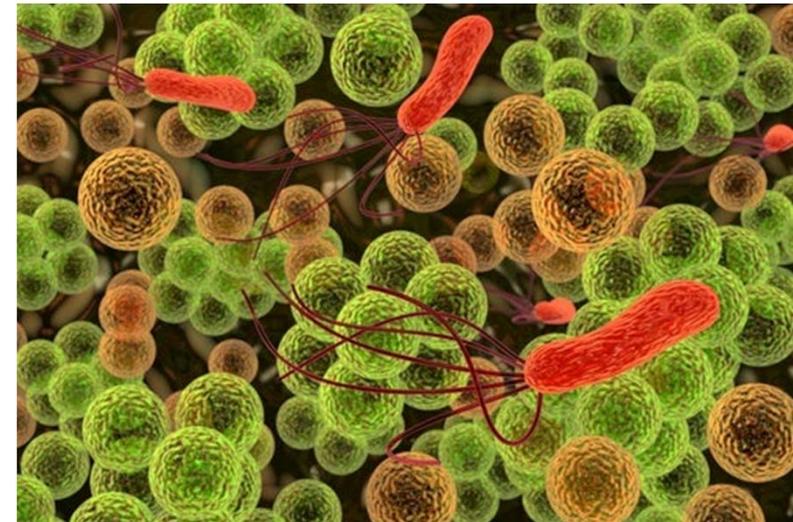


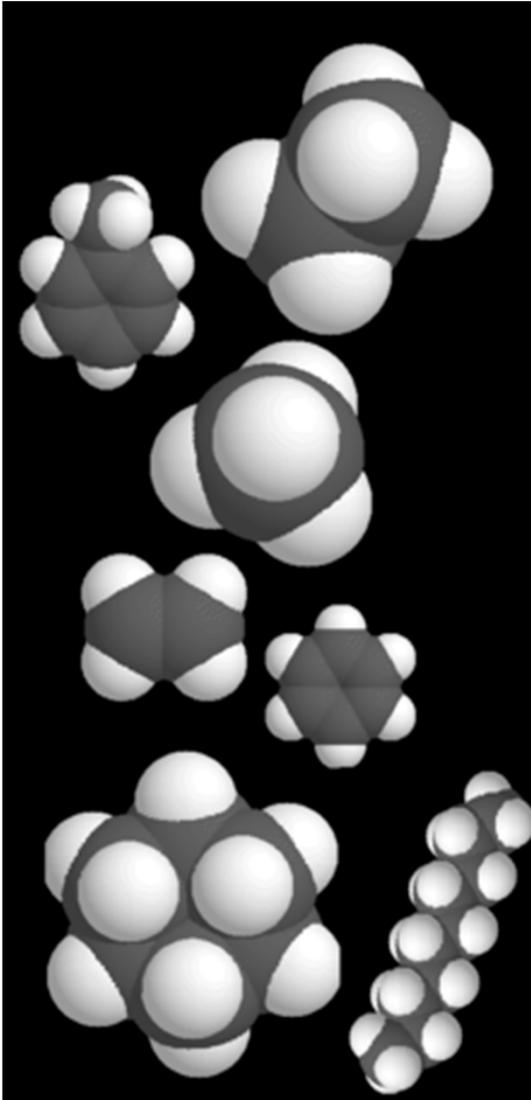
- Vinazas: alta cantidad de materia orgánica disuelta como pueden ser, azúcares (glucosa y fructosa), polifenoles de distintas estructuras, ácidos orgánicos (cítrico y málico), sustancias pécticas (polisacáridos), sustancias nitrogenadas y distintas enzimas. Además, también podremos encontrar sales minerales (sulfatos, fosfatos y potasio) y diversos residuos sólidos como pueden ser la piel y las pipas.



- **Mataderos:** En estas aguas nos encontramos con una gran cantidad de materia orgánica disuelta (~3000mgDQO/l), nitratos y fosfatos y también, debido a los productos de limpieza, una gran cantidad de grasas y químicos.

- Purines: Estas aguas se caracterizan por la presencia de diversos microorganismos patógenos. También se destacan el volumen de Amoniaco y Metano, con baja relación C/N (bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de nitrógeno amoniacal), la concentración de Potasio, Nitratos, Fosfatos y algunos metales pesados (Cobre y Zinc) introducidos por la alimentación.





- **Hidrocarburos:** son compuestos orgánicos formados por la unión hidrógeno-carbono y dan lugar a diversas estructuras. El principal problema de ellos es que tienen una muy baja tasa de degradación lo que hace obligatorio su tratamiento para eliminarlos. Por otra parte, estas aguas pueden presentar contaminación de microorganismos que se hayan desarrollado en los tanques de almacenamiento.

- Lavandería: Estas aguas presentan una alta variación de sus propiedades dependiendo de la suciedad de la ropa a lavar, sin embargo, siempre existe la presencia de sólidos en suspensión, debido a tiras de hilo que se desprenden de la ropa. Su mayor problemática es que tienen un pH demasiado elevado (superior a 10) por lo que un tratamiento por medios biológicos es imposible, pues acabaría con los microorganismos. No hay que olvidar tampoco que estas aguas salen a una alta temperatura ( $>50^{\circ}\text{C}$ ).



- Láctea: Aguas con contenido orgánico que puede alcanzar los 6000mgDBO/L y un alto volumen de sólidos en suspensión además de diversas grasas y aceites vegetales.

Dependiendo del origen pueden tener carácter ácido o básico (pH 2-11) y su conductividad puede aumentar si se emplea el agua para limpiar maquinarias del salado del queso. La temperatura también presenta un alto nivel de variación pues puede emplearse tanto para refrigeración como para calefacción.

Por último, los productos de limpieza y desinfección introducen un alto volumen de Nitrógeno y Fósforo en los residuos.



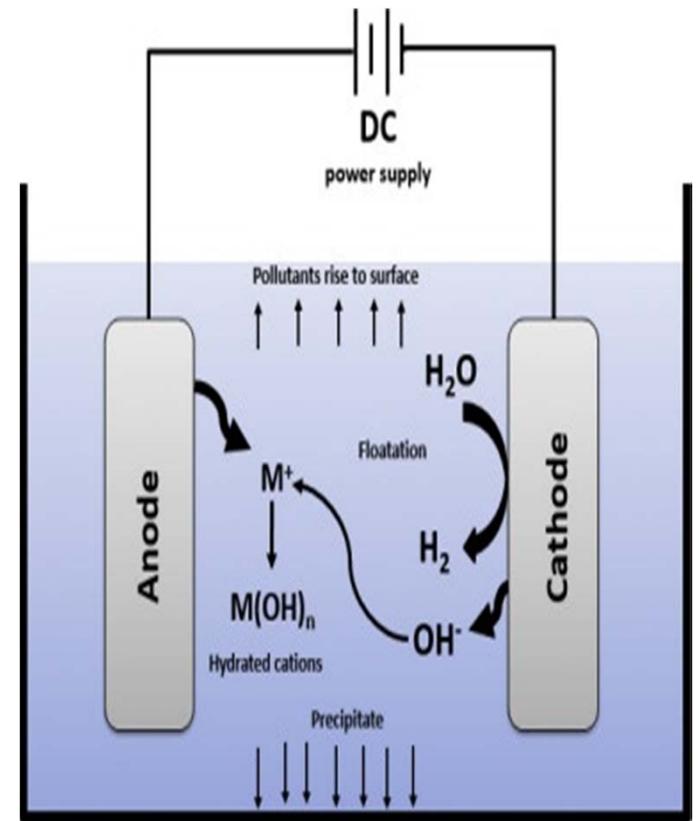


# Electrocoagulación

Este sistema consiste en inducir una corriente en el agua residual a través de unas placas metálicas, normalmente de Hierro y Aluminio (Fe-Al) colocadas en paralelo.

Esta corriente permite la desestabilización de los coloides y la materia disuelta, además ocasiona que se formen componentes hidrofóbicos que derivan en la flotación o precipitación de los contaminantes.

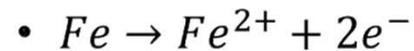
La principal ventaja de esta técnica es que aporta una alta reducción en el contenido de materia orgánica (DBO y DQO) a la vez que clarifica el agua.



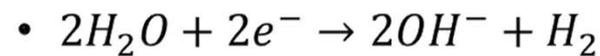
# Esquemmatización del proceso



## Ánodo de Hierro (Fe):

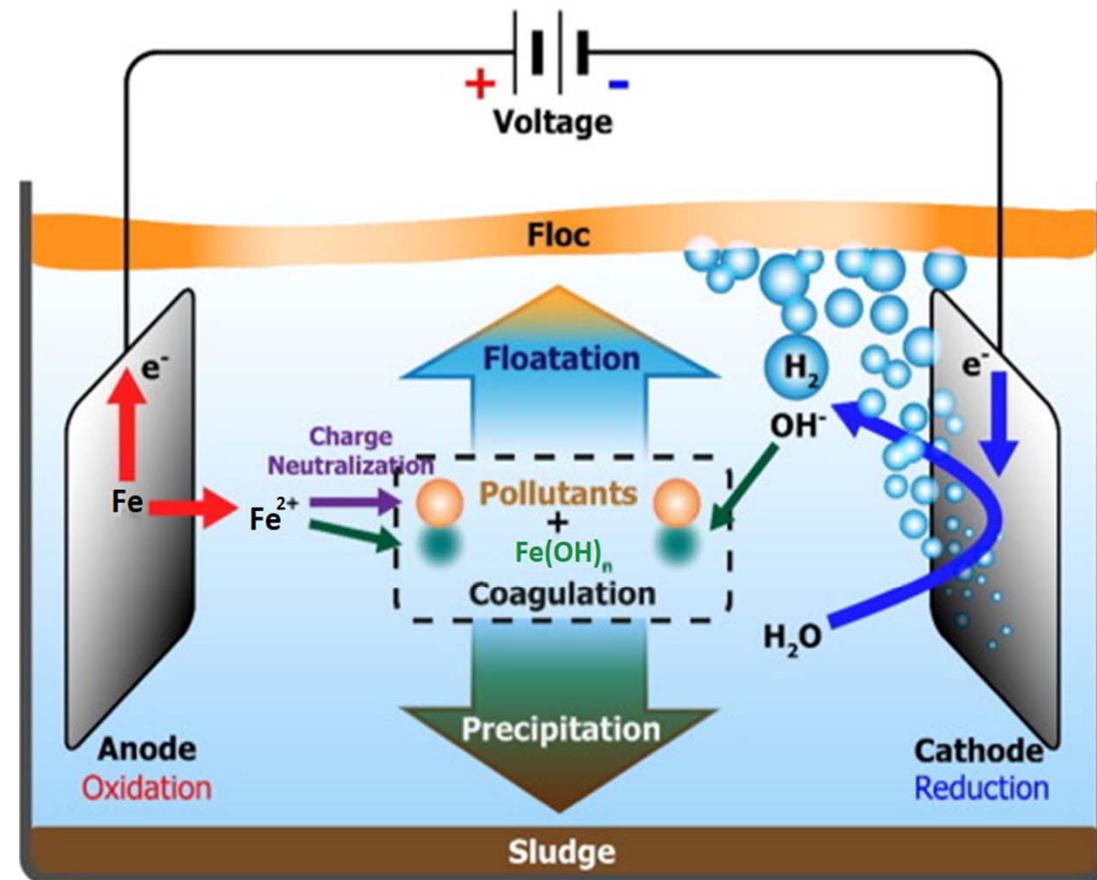


## Cátodo de Aluminio (Al):



## Reacción Global en el Medio:

- $Fe^{2+} + 2OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_2$
- $4Fe^{2+} + 8OH^{-} + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3$





# ¿Quién la puede utilizar?

Este proceso presenta una alta versatilidad y puede emplearse para diversas fuentes de contaminantes:

- Aguas domésticas, ganaderas y lixiviados
- Aguas industriales (lácteas, textiles, lavado de envases)
- Efluentes de materias grasas y aceites
- Aguas con contenido en metales pesados.







# ¿Quién la puede utilizar?

Este proceso presenta una alta versatilidad y puede emplearse para diversas fuentes de contaminantes:

- Aguas domésticas, ganaderas y lixiviados
- Aguas industriales (lácteas, textiles, lavado de envases)
- Efluentes de materias grasas y aceites
- Aguas con contenido en metales pesados.





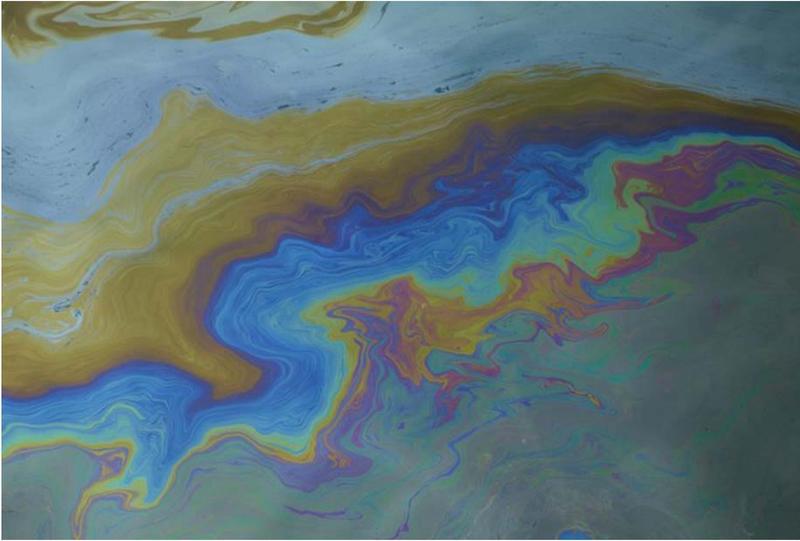


# ¿Quién la puede utilizar?

Este proceso presenta una alta versatilidad y puede emplearse para diversas fuentes de contaminantes:

- Aguas domésticas, ganaderas y lixiviados
- Aguas industriales (lácteas, textiles, lavado de envases)
- Efluentes de materias grasas y aceites
- Aguas con contenido en metales pesados.







# ¿Quién la puede utilizar?

Este proceso presenta una alta versatilidad y puede emplearse para diversas fuentes de contaminantes:

- Aguas domésticas, ganaderas y lixiviados
- Aguas industriales (lácteas, textiles, lavado de envases)
- Efluentes de materias grasas y aceites
- Aguas con contenido en metales pesados.





# Ventajas



- ✓ Requiere de equipos simples y fáciles de operar.
- ✓ Los costos de operación son menores que los de procesos convencionales pues elimina los requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- ✓ Los flóculos formados son similares a los producidos químicamente, pero contienen menos agua ligada, son antiácidos, más estables y pueden ser separados rápidamente por filtración lo que facilita su reciclaje.
- ✓ El proceso de EC evita el uso de agentes químicos, eliminando así el problema de neutralizar el exceso de químicos y por lo tanto la posibilidad de una contaminación secundaria provocada por los mismos.
- ✓ Remueve las partículas coloidales más pequeñas, ya que el campo eléctrico aplicado las pone en movimiento más rápidamente facilitando la coagulación, además, las burbujas de gas producidas facilitan la flotación del contaminante hacia la superficie de la solución, donde puede concentrarse fácilmente, ser recuperado y removido.
- ✓ En un solo proceso se reducen la DB05 y la DQ0 a la vez que la turbidez.

# Desventajas

- ⌘ Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
- ⌘ Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
- ⌘ Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- ⌘ El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.
- ⌘ No es efectivo en la remoción de DBO soluble, proveniente de solventes y anticongelantes.

# Experiencias Reales:

Agua residual Urbana

Purines de Cerdo

Agua de limpieza de mataderos

Agua hidrocarburada

Instalación en Aperitivos Snacks



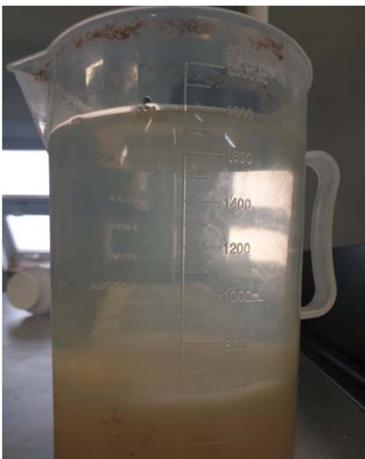
# Laboratorio de experimentación

## Pozo Izquierdo - ITC



# Proceso

1. Tomar la muestra
2. Regulación de pH
3. Sumergir, completamente, los electrodos en la muestra
4. Aplicar una corriente de 10A durante 10 minutos
5. Filtrar la muestra

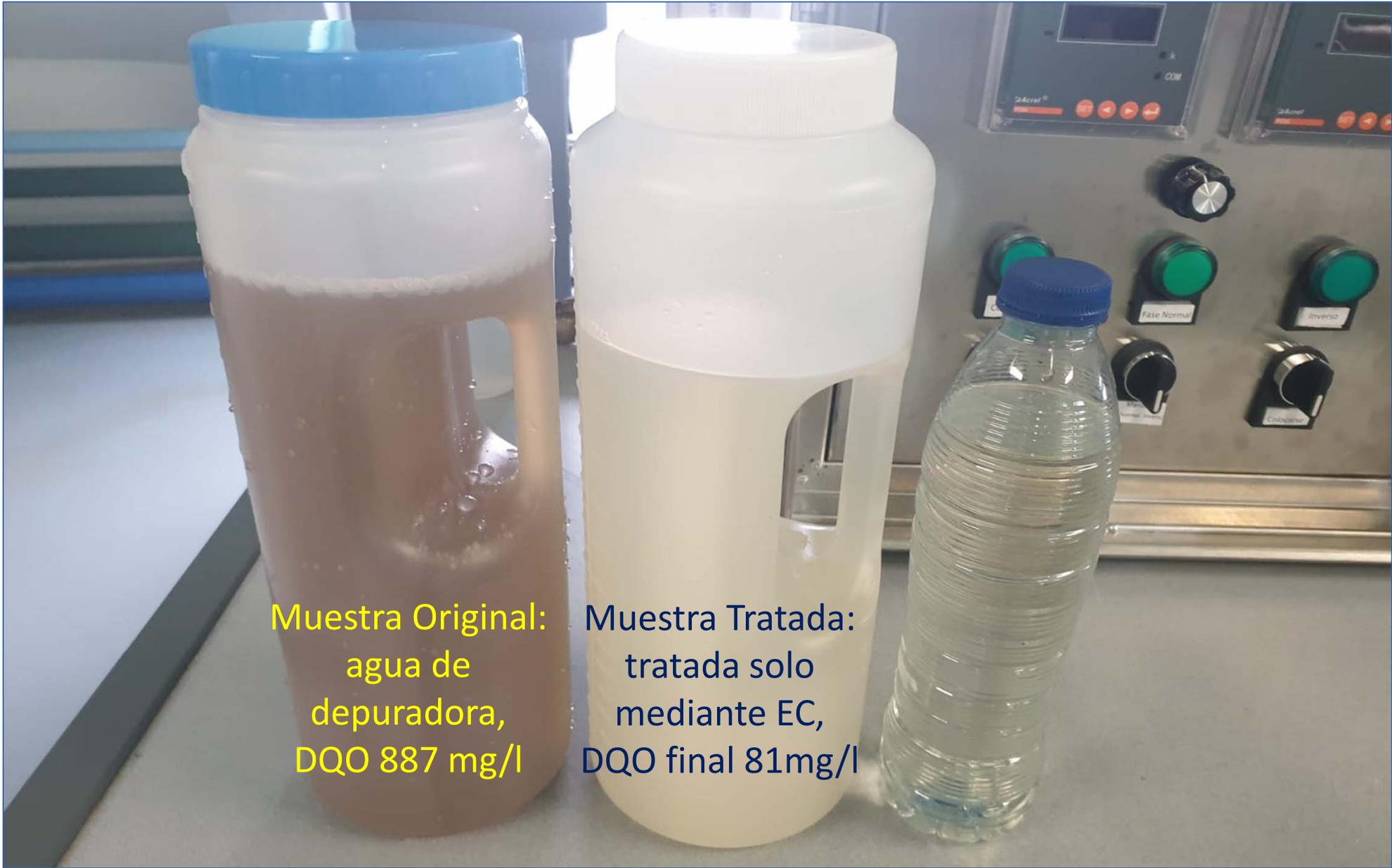




# Agua residual urbana

Esta experiencia se llevo a cabo con una muestra de agua de la depuradora del ITC de Pozo Izquierdo.





Muestra Original:  
agua de  
depuradora,  
DQO 887 mg/l

Muestra Tratada:  
tratada solo  
mediante EC,  
DQO final 81mg/l



# Análisis Económico:

$$**Potencia Empleada:**  $10A \cdot 2V = 20W$$$

$$**Energía Consumida:**  $20W \cdot 10min \cdot \frac{1h \cdot 1kW}{60min \cdot 1000W} = 0,00333kWh$$$

$$**Consumo Específico:**  $\frac{0,00333kWh}{2l} \cdot \frac{1000l}{1m^3} = 1,67 \frac{kWh}{m^3}$$$

$$**Precio Final:**  $1,67 \frac{kWh}{m^3} \cdot 0,08 \frac{€}{kWh} = 0,13 \frac{€}{m^3}$$$



# Purines de Cerdo:

**Se llevaron a cabo diversos tipos de depuración de las muestras:**

- **Mediante Electrocoagulación, con y sin reducción del pH**
- **Coagulación Química**
- **Coagulación Química + Electrocoagulación**



# Purines de Cerdo:





**Muestra Original: DQO 3.700 mg/l**

**Muestra Tratada: DQO final 1.022mg/l**

**Límite normativa vertidos: DQO 1.600 mg/l**

# Agua de limpieza de mataderos:

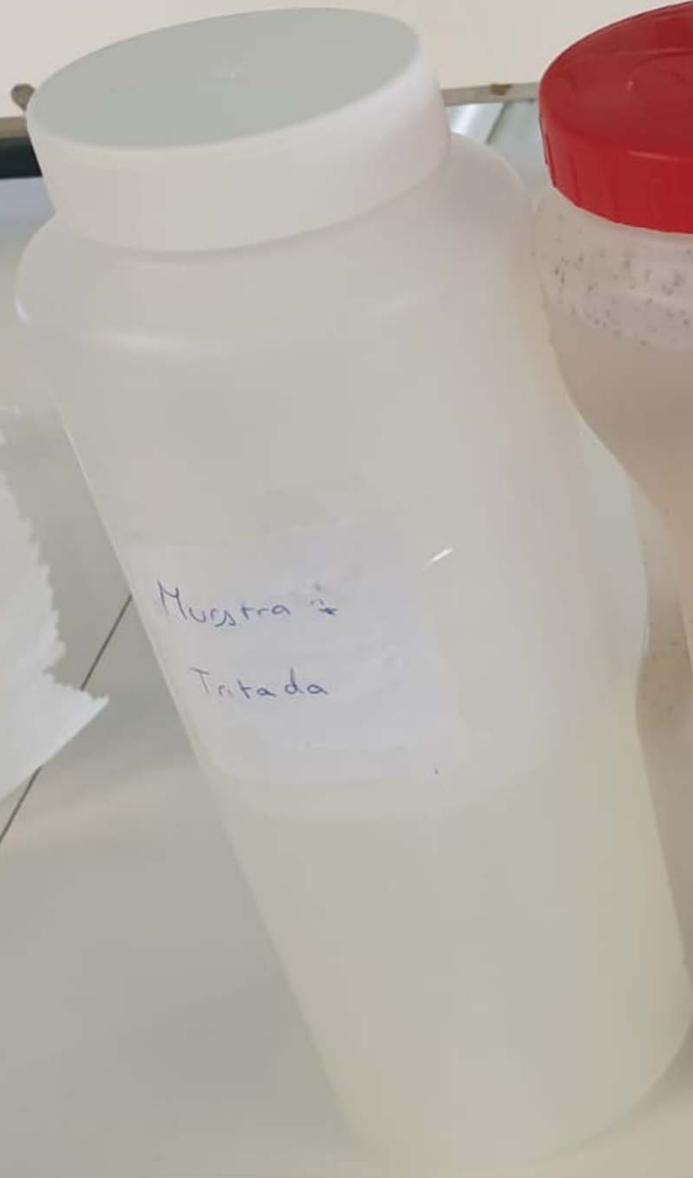


Las muestras de agua a analizar provenían de distintas etapas de la máquina de tratamiento que tiene la empresa interesada.

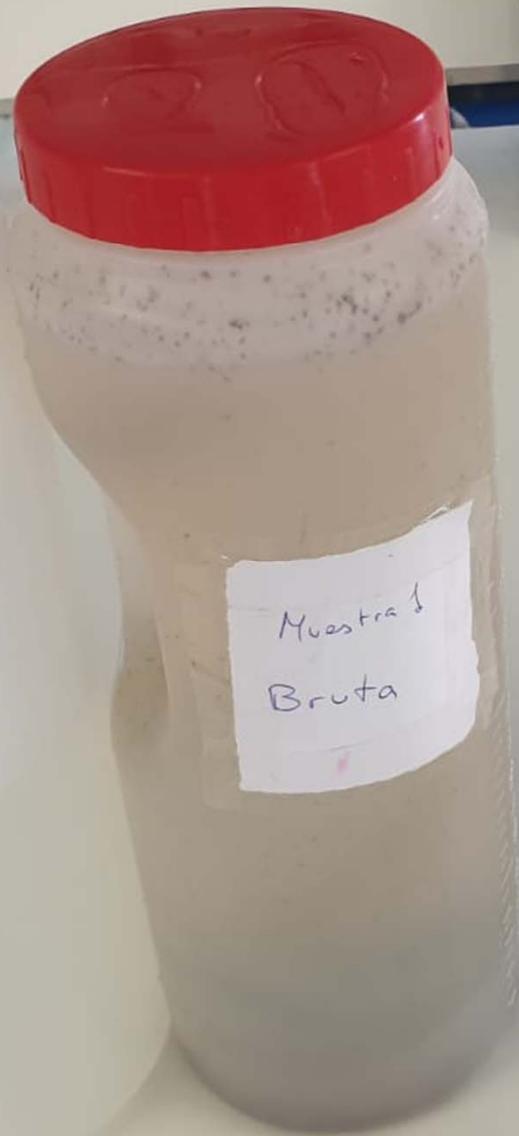
- La primera que analizamos había sido pretratada eliminando los sólidos en suspensión pero sin tratar los sólidos disueltos y la materia coloidal.
- En el caso de la segunda, tomamos el agua de salida del actual sistema de depuración completo.

# Agua de limpieza de mataderos:

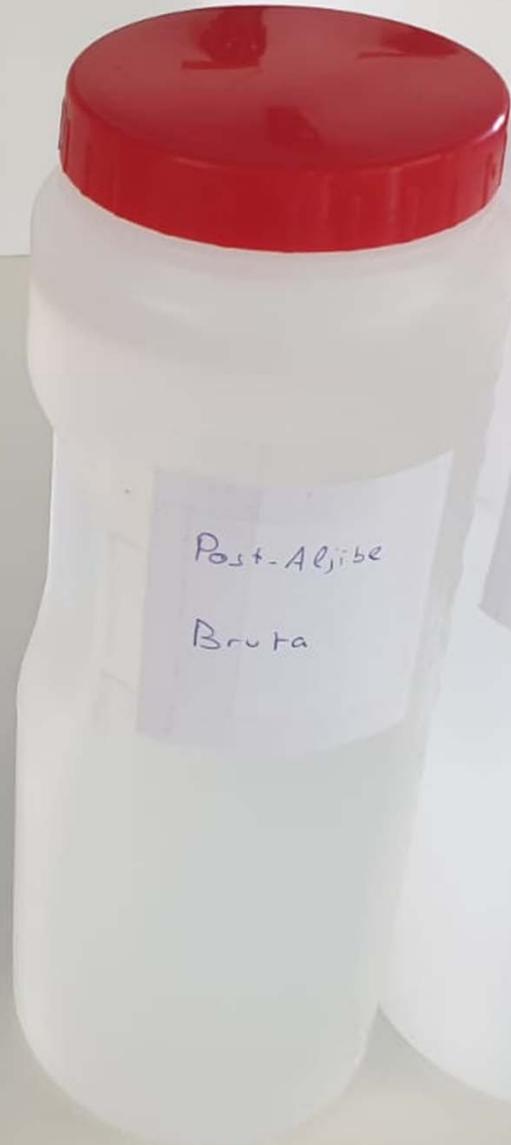




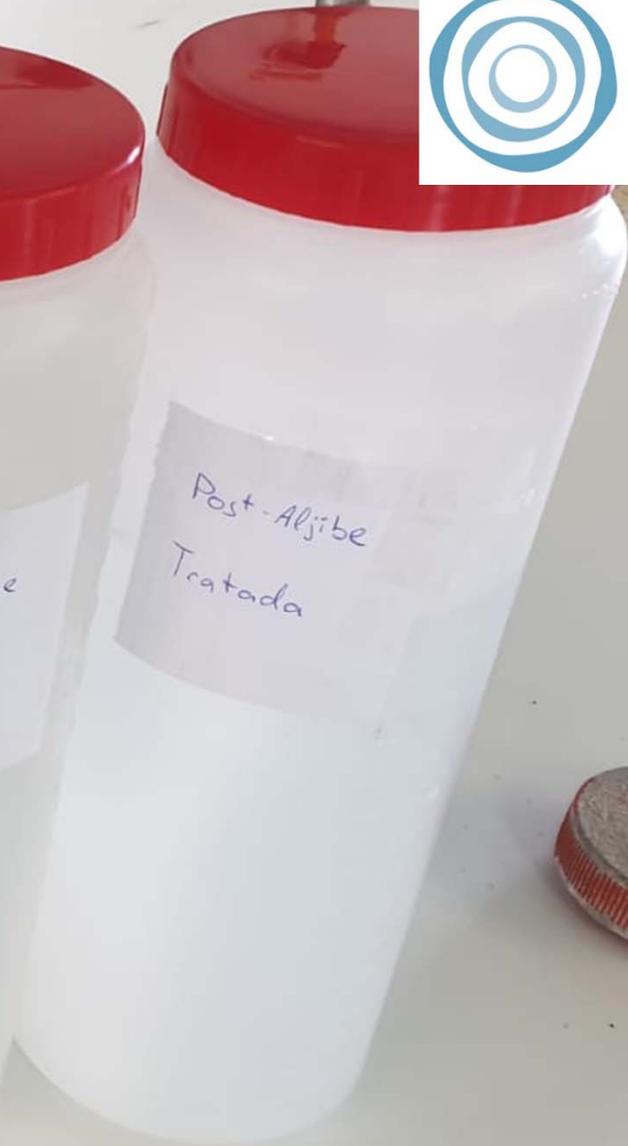
Muestra  
Tratada



Muestra  
Bruta



Post-Aljibe  
Bruta



Post-Aljibe  
Tratada



# Análisis Económico:

$$**Potencia Empleada:**  $26,9A \cdot 6V = 161,4W$$$

$$**Energía Consumida:**  $161,4W \cdot 10min \cdot \frac{1h \cdot 1kW}{60min \cdot 1000W} = 0,0269kWh$$$

$$**Consumo Específico:**  $\frac{0,0269kWh}{2l} \cdot \frac{1000l}{1m^3} = 13,45 \frac{kWh}{m^3}$$$

$$**Precio Final:**  $13,45 \frac{kWh}{m^3} \cdot 0,08 \frac{€}{kWh} = 1,08 \frac{€}{m^3}$$$

# Aguas Hidrocarburadas



Este agua provenía de la limpieza de un silo de almacenamiento de combustibles.





Actualmente hay una línea de trabajo abierta con el cliente para valorar el reciclaje de esta agua tratada como combustible nuevamente, debido a presencia de hidrocarburos y la inexistencia de contaminantes



# Análisis Económico:

$$**Potencia Empleada:**  $14,7A \cdot 7,4V = 108,78W$$$

$$**Energía Consumida:**  $108,78W \cdot 10min \cdot \frac{1h \cdot 1kW}{60min \cdot 1000W} = 0,01813kWh$$$

$$**Consumo Específico:**  $\frac{0,01813kWh}{2l} \cdot \frac{1000l}{1m^3} = 9,07 \frac{kWh}{m^3}$$$

$$**Precio Final:**  $9,07 \frac{kWh}{m^3} \cdot 0,08 \frac{€}{kWh} = 0,73 \frac{€}{m^3}$$$

# Instalación en Aperitivos Snacks



Sistema de tratamiento de 1 m<sup>3</sup>/h de capacidad nominal



# Retos



- **Testar el sistema en aguas urbanas midiendo todos los parámetros del RD1620/2007 para valorar la EC como sistema de depuración/reutilización compacto y de bajo coste**

# BIOREACTOR DE LECHO MÓVIL (MBBR)

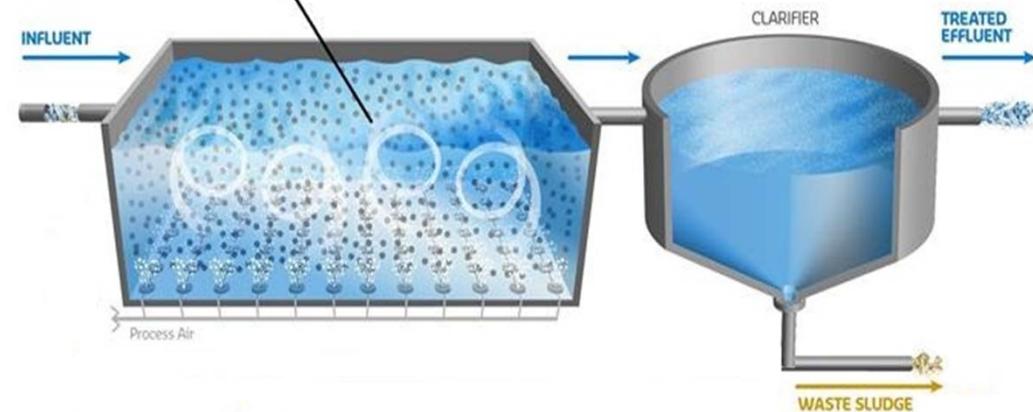


Este sistema es un tipo de tratamiento biológico basados en el crecimiento de la biomasa entorno a una película situada sobre unos soportes móviles en el interior del reactor biológico.

Los soportes tendrán una alta relación superficie/volumen para favorecer el desarrollo de la biomasa, pues esta es la encargada de la degradación de la materia orgánica y con ello, la depuración del agua.



## Moving Bed Bioreactors (MBBR)



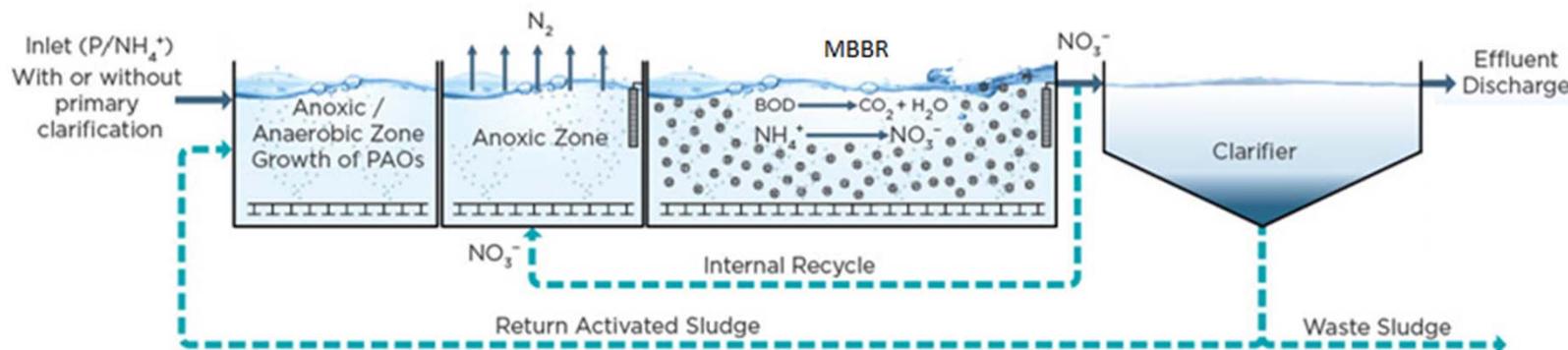


# ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO

El sistema MBBR es similar al de lodos activados, sin embargo, en este caso los microorganismos se encuentran adheridos a unas camas, lo que ahorra el proceso de recirculación de lodos, además, al estar la biomasa más concentrada, el tiempo de retención se ve altamente reducido para una misma degradación.

Este tipo de sistemas presenta una alta versatilidad, y se puede emplear y combinar de distintas maneras dependiendo de las particularidades de cada instalación, pudiéndose.

- Añadir una etapa anaerobia,
- Recircular para aumentar la eficiencia,
- Combinar con lodos activados (Tecnología IFAS).



# VENTAJAS

- ✓ Simple de operar,
- ✓ Menor volumen del reactor biológico,
- ✓ Menor superficie necesaria en planta por volumen de tratamiento,
- ✓ No precisa recirculación,
- ✓ Admite mayor variabilidad de la carga a tratar,
- ✓ Se genera menos fango,
- ✓ No existen problemas de bulking,
- ✓ Presenta alta versatilidad, pudiéndose emplear en sistemas de lodos activados existentes para cubrir ampliaciones del caudal previsto.

# DESVENTAJAS



- x Necesidad de colocar una malla interior para evitar que los soportes se vayan del reactor,
- x Generación de bioclogging en la malla, que podría causar el desbordamiento del reactor,
- x Debe de aportarse el aire preciso para no desprender el biofilm del soporte.

# PRÓXIMO SISTEMA PILOTO



- ✓ Capacidad de 50 l/h
- ✓ 77,6 W de consumo eléctrico
- ✓ 1 x 1 x 1.5 m
- ✓ 50 kg



# EQUIPOS COMERCIALES

## Part 4 : Biomedia ( Mutag Biochips 30TM )



**M**ulti  
**Umwelttechnologie AG**  
*Mutag BioChip™ and sustainable solutions for environmental protection*

**Specification data sheet**  
**Mutag BioChip 30™**

**Product name:** Mutag BioChip 30™

**Developer, manufacturer, distributor:** Multi Umwelttechnologie AG  
Zschorläuer Straße 56, D-08280 Aue (Germany)

**Description:** High-performance biofilm carrier media for immobilizing microorganisms in biological water and wastewater treatment plants.

**Applications:** COD/BOD removal, nitrification, denitrification, ANAMMOX process

**Active surface area (protected):** up to 5,500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

**Bulk weight (net):** 165.00 kg/m<sup>3</sup> ± 2%

**Color:** white

**Shape:** round, paraboloid, with protective outer ring

**Material:** PE virgin material

**Diameter:** 30.0 mm

**Material thickness:** approx. 1.1 mm

**Specific gravity:** approx. 0.95 kg/l (without biofilm)

**Packaging:** standard packaging:  
BigBags, each 247.5 kg net = 1.5 m<sup>3</sup>  
optional (on request only):  
small bags, each 27.50 kg net = 1/6 m<sup>3</sup>

**Container loading:** 30 m<sup>3</sup> in 1 x 20ft standard sea freight container or 66 m<sup>3</sup> in 1 x 40ft HC standard sea freight container

**Note:** quality product for optimal biological removal rates

**Mutag BioChip**  
More than 400 applications!  
100% porous  
100% virgin  
100% PE





**GRACIAS**