

# alimentación

## PROYECTO WATERREUSE

■ Mejora de la gestión eficiente del agua en industrias con elevada carga orgánica

■ LIFE+WOGAnMBR: Reactores anaerobios de membrana para el tratamiento de las aguas residuales complejas de la industria alimentaria

■ Reducción de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales industriales

### ENTREVISTA



**PEDRO MIGUEL MUÑOZ GÓMEZ**

Destilerías Muñoz Gálvez S.A.



## PROYECTO WATERREUSE

• Mejora en la gestión del agua en industrias con alta carga orgánica





ALGUNOS LO TIENEN  
DIFÍCIL PARA HACER UN  
BUEN ABREFÁCIL



*Las cosas más  
sencillas de  
manejar esconden  
siempre un  
complejo proceso  
de trabajo.*

*En Auxiliar Conservera el diseño, la tecnología y el control de calidad se dan la mano para conseguir el sistema de apertura de envases más cómodo, seguro y práctico del mercado.*



SI USTED  
TIENE UN  
PRODUCTO,  
NOSOTROS  
PODEMOS  
ENVASARLO.



AUXILIAR CONSERVERA, S.A.



Murcia • Ctra. Torrealta, s.n. • telf.: 968 64 47 88 • Fax: 968 61 06 86 • 30500 Molina de Segura (Murcia - España)  
Sevilla • Ctra. comarcal 432, km. 147 • telf.: 95 594 35 94 • fax: 95 594 35 93 • 41510 Mairena del Alcor (Sevilla - España)



**EULEN**  
alimentaria

Servicios al sector agroalimentario

# Sembramos calidad, cosechamos confianza

Cobertura **nacional**  
Presentes en **14 países**  
Más de **52 años de experiencia**  
Más de **7.000 clientes**  
Más de **82.000 empleados**

Sólo mediante la conjunción de una serie de actividades desarrolladas con eficacia se pueden obtener los mejores resultados en un centro alimentario.

La labor de EULEN Alimentaria consiste en la integración de todos los servicios con un único interlocutor.

El Grupo EULEN, consciente de su responsabilidad en asegurar la higiene de la industria transformadora de alimentos, ha desarrollado un modelo de trabajo basado en la Gestión Integral de la Higiene en las Industrias Alimentarias.

**Servicios agroalimentarios:** limpieza y desinfección • logística • mantenimiento • seguridad • apoyo • RR.HH.

Visítenos en

[www.eulen.com](http://www.eulen.com)



C/ Molina de Segura, 5 - Murcia  
Tf: 968 271 603

Av. Pintor Portela, 34 - Cartagena  
Tf: 968 500 229

## Proyecto WaterReuse

**W**aterReuse es un proyecto cofinanciado por el programa LIFE+ de la Unión Europea que tiene por objetivo establecer una solución definitiva a los problemas no resueltos en el tratamiento de las aguas residuales complejas, aquellas con alta carga contaminante de origen orgánico procedente de industrias agroalimentarias, químicas, etc. Para lograrlo se va a hacer uso de las mejores tecnologías disponibles, combinando la oxidación electroquímica y la filtración con membranas y la fotocatalisis, además de emplear fuentes renovables para la obtención de energía con el uso de paneles solares. Todo ello controlado por un sistema inteligente. WaterReuse pretende aplicar, validar y difundir un sistema ambientalmente sostenible y eficiente en el uso de la energía, que permita la reutilización del agua procedente de efluentes de proceso, consiguiendo la reducción de la Huella Hídrica y de la Huella de Carbono. El proyecto está en marcha desde octubre de 2013 y se prolongará hasta finales de septiembre de 2015 en la Región de Murcia. La coordinación es llevada por Destilerías Muñoz Gálvez S.A. y cuenta con la cooperación del Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación. Actualmente WaterReuse se encuentra en fase de dar difusión a los resultados conseguidos habiéndose realizado hasta la fecha numerosas jornadas y *workshops* así como un módulo dentro del VII Symposium Internacional sobre Tecnologías Alimentarias que se celebró en Murcia el 14 de Mayo de 2015. Coincidiendo con el Symposium se celebró el Murcia Food 2015 Brokerage Event, en total el evento contó con más de 500 asistentes de 350 empresas y organismos de 14 países, habiéndose generado un catálogo tecnológico de 380 perfiles (ofertas y demandas tecnológicas) que dieron lugar a más de 700 entrevistas. Con este monográfico WaterReuse de la revista CTCAlimentación se pretende dar una visión global tanto de la problemática como de algunas de las soluciones encontradas.

## ENTREVISTA

Pedro Miguel Muñoz Gómez. Destilerías Muñoz Gálvez S.A.

→ 4

## ARTÍCULO



Gémina, una empresa murciana con proyección internacional

→ 14

EULEN: ¿Qué tener en cuenta en el diseño de nuestro Plan Maestro de Limpieza?

→ 25



# PROYECTO WATERREUSE

- Mejora de la gestión eficiente del agua en industrias con elevada carga orgánica

→ 6



- 17 • Sistema de percolación híbrido para la depuración de las aguas residuales de las pymes agroalimentarias

- 22 • LIFE+WOGAnMBR: Reactores anaerobios de membrana para el tratamiento de las aguas residuales complejas de la industria alimentaria

- 28 • Gestión de salmueras en la industria agroalimentaria



- 31 • Reducción de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales industriales

- 34 • Aqua Freed®-Aqua Gard®: Sistemas de higienización y control bacteriano de sondeos

## NOTICIAS BREVES

Evaluación de las oportunidades de valorización de los diferentes residuos orgánicos generados por las empresas asociadas a ASAJA en la zona de Campoder

→ 34

## CRÉDITOS

**COORDINACIÓN:** OTRI CTC  
ÁNGEL MARTÍNEZ SANMARTÍN - angel@ctnc.es  
MARIAN PEDRERO TORRES - marian@ctnc.es  
**CONSEJO EDITORIAL**  
PRESIDENTE: JOSÉ GARCÍA GÓMEZ  
PEDRO ABELLÁN BALLESTA.  
FRANCISCO ARTÉS CALERO

LUIS MIGUEL AYUSO GARCÍA  
JAVIER CEGARRA PÁEZ  
MANUEL HERNÁNDEZ CÓRDOBA  
FRANCISCO PUERTA PUERTA  
FRANCISCO SERRANO SÁNCHEZ  
GASPAR ROS BERRUEZO  
BLAS MARSILLA DE PASCUAL

FRANCISCO TOMÁS BARBERÁN  
VICTORIA DÍAZ PACHECO  
**TRADUCTORA**  
MARÍA EVA MARTÍNEZ SANMARTÍN  
**EDICIÓN, SUSCRIPCIÓN Y PUBLICIDAD**  
FRANCISCO GÁLVEZ CARAVACA  
fgalvez@ctnc.es

**PUBLICIDAD**  
PUBLISEVEN, S.L. ALBERTO SÁNCHEZ SÁNCHEZ  
comercial@publiseven.es  
**I.S.S.N.** 1577-5917  
**DEPÓSITO LEGAL:** MU-595-2001  
El Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación no se hace responsable de los contenidos vertidos en los artículos de esta revista.



# PEDRO MIGUEL MUÑOZ GÓMEZ

## Director de fábrica

Es licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Murcia. Desde 1990 ha ocupado diversos puestos en Destilerías Muñoz Gálvez, como investigación en Aceites Esenciales y en síntesis de derivados de Aguarrás. Ha trabajado en la mejora de procesos productivos, desarrollando técnicas de análisis por GC-MS. Hasta 1999, ejerció como Director de Producción y supervisó las ventas nacionales. Actualmente, ocupa el puesto de Director de Fábrica. Pertenece a las Juntas Directivas de AEFAA (Asociación Española de Fragancias y Aromas Alimentarios, Madrid), como Vicepresidente, CROEM (Confederación Regional de Organizaciones Empresariales de Murcia) como miembro de la ejecutiva, y AMIQ (Asociación Murciana de Industrias Químicas de Murcia) como secretario. Además, forma parte de la Comisión Mixta para el Convenio Laboral de Perfumería y Afines.

### ¿Puede describirnos cuál es la trayectoria hasta hoy de Destilerías Muñoz Gálvez, S.A. y su actividad industrial actual?

Destilerías Muñoz Gálvez, S.A. es una PYME Murciana familiar fundada en 1941 pero con origen en 1928, hoy en día está gestionada por la tercera generación de la familia Muñoz. Destilerías es la empresa más antigua del sector Químico de la Región de Murcia. Su sector de actividad es la síntesis y comercialización de sustancias activas para los sectores de Fragancias, Aromas y Farmacéutico. La empresa es netamente exportadora, con un 75% de la facturación comercializada fuera de nuestras fronteras. Tenemos una plantilla de 81 trabajadores, 14 de ellos son Ingenieros y Químicos, y dedicamos el 5% de la facturación a I+D+i.

### ¿Qué perspectivas ve para Destilerías Muñoz Gálvez, S.A., y cuáles han sido los efectos de la crisis?

Miramos al futuro con optimismo. En Destilerías Muñoz Gálvez, S.A. hemos conseguido en el periodo 2000-2013 un incremento en la facturación del 122%, a la vez que incrementamos nuestra plantilla en 22 nuevos empleos. Y todo en un momento de profunda crisis internacional. Estamos convencidos de que nuestras cifras de crecimiento han sido posibles gracias al compromiso de la plantilla, a nuestra política de mejora de la eficiencia en el uso de recursos, la optimización de los procesos, y la garantía certificada

que aportamos a la calidad de nuestros productos. Añadimos a todo lo anterior el valor de hacerlo con el máximo respeto al medio ambiente y con el compromiso de reducción de nuestra huella ecológica. Tenemos la convicción de que siguiendo la visión que tenemos de nuestra empresa, seguiremos creciendo. Nos vemos como una PYME puntera en tecnología en su sector, con una política de innovación continua, respecto al medio ambiente, y preocupada por la calidad de sus productos.

Nuestro proyecto a corto plazo es el traslado de nuestras instalaciones a un nuevo emplazamiento en el municipio de Librilla. La nueva ubicación nos aportará no sólo el espacio para crecer, que ahora hemos agotado en nuestro emplazamiento actual de la Avenida Ciudad de Almería, sino que nos permitirá diseñar una instalación desde la base, concebida con la idea de utilizar las mejores técnicas disponibles, una instalación eficaz, eficiente y medioambientalmente sostenibles.

### ¿Que conexiones hay entre el sector de la Alimentación, el Químico y el de Aromas?

En lo comercial básicamente el de cliente a proveedor. El sector Químico proporciona al de la Alimentación aditivos que son muy utilizados como conservantes y modificadores de propiedades físico-químicas de los alimentos. Los aromas proporcionan cualidades organolépticas

al alimento que en la mayoría de los casos son la nota definitiva que hará que el producto sea del gusto o no del cliente.

En lo referente al aspecto industrial los tres sectores tratan con productos finales de consumo humano, y por lo tanto sujetos a legislación específica, cada día más garantista y exigente en aras a asegurar la calidad alimentaria de los productos de consumo humano. Se comparte la necesidad de trabajar bajo estándares internacionales de calidad y a ser auditados tanto por los clientes como por las autoridades sanitarias.

### ¿Puede ponernos algún ejemplo de colaboración de Destilerías Muñoz Gálvez, S.A. con empresas del sector de alimentación?

Actualmente la colaboración más señalada es un proyecto medio ambiental cofinanciado por el programa Europeo LIFE, de título WaterReuse "Mejora en la gestión de efluentes con alta carga orgánica" en el que Destilerías Muñoz Gálvez, S.A. es coordinador adjunto con la participación del Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Alimentación. En este proyecto abordamos la problemática de la reutilización de aguas procedentes de efluentes en los que es necesario eliminar una carga orgánica que en muchos casos es difícil para los tratamientos biológicos habituales, lo que es un problema común en instalaciones de los sectores de Alimentación y Químico.

Cooperamos también con nuestros clientes del sector de la alimentación en el desarrollo de nuevos productos alimentarios, en los que aportamos nuestros conocimientos en la preparación de aromas modificando las características organolépticas del producto.

### ¿Cómo afronta Destilerías Muñoz Gálvez, S.A. el actual reto medioambiental de la reducción de la huella ecológica?

Tenemos interiorizado que sólo es posible el crecimiento si éste es sostenible desde el punto de vista medioambiental. No es suficiente con ser eficaz en la actividad industrial, hoy en día hay que ser eficiente y no sólo lograr los objetivos de producción, sino hacerlo con los mínimos recursos posibles. Sólo bajo esa óptica hemos podido incrementar los materiales procesados en un 40% en el periodo 2000-2013, mientras que hemos reducido nuestro consumo de agua un 87%. En este punto quiero destacar la importancia del I+D+i. Es esencial mantener a la empresa viva en el aspecto innovador, estar no sólo al día de la tecnología disponible, sino explorando las tecnologías emergentes incluso antes de que estas sean comerciales. Este objetivo debe lograrse a través de una política de innovación, en la que se incluya la participación de la empresa en proyectos de I+D+i tanto internos como en cooperación con otras empresas o centros de investigación.



### En lo referente al tratamiento de efluentes y reutilización de aguas que mencionaba anteriormente, ¿Qué puntos hay en común entre el sector Químico y el de Alimentación?

En ambos casos el consumo de agua por unidad de producción es importante. Es bien conocida la escasez de agua, por lo cual la reutilización y el vertido cero debe ser un objetivo a alcanzar. Además compartimos la existencia de algunos efluentes que son de difícil o imposible tratamiento por los métodos tradicionales biológicos, o que por características de estacionalidad, discontinuidad o variabilidad en composición y caudal los hacen desaconsejable instalaciones biológicas. Para

estos casos, hemos diseñado, construido y estamos probando un prototipo dentro del proyecto LIFE WaterReuse que mencionamos anteriormente. Aparte de efluentes del sector Químico hemos probado los de varios subsectores de la alimentación, los resultados son prometedores. En todos los casos somos capaces de destruir totalmente la carga orgánica, de controlar esta destrucción y llegar hasta el nivel requerido de una forma automatizada. A diferencia de los tratamientos biológicos, el proceso no genera fangos, ni ningún nuevo residuo orgánico, requiere un mantenimiento mínimo, utiliza energía solar como fuente renovable de energía y reduce la huella de carbono de la instalación.



**Scharlab, S.L.**

Gato Pérez, 33. Pol. Ind. Mas d'en Cisa  
E08181 Sentmenat, Barcelona, Spain

+34937151940

+34937152765

exportsupport02@scharlab.com

# Scharlab

THE LAB SOURCING GROUP



# PROYECTO LIFE WATERREUSE

## MEJORA DE LA GESTIÓN EFICIENTE DEL AGUA EN INDUSTRIAS CON ELEVADA CARGA ORGÁNICA

PEDRO TRINIDAD, PEDRO MUÑOZ, JOSÉ AGUIRRE, MANUEL SUSARTE, INMACULADA CASTELLAR, MIGUEL OCTAVIO Y MARÍA ANTONIA PINILLA. DESTILERÍAS MUÑOZ GÁLVEZ, S.A-MUGASA. LUÍS DUSSAC, LUIS MIGUEL AYUSO, FUENSANTA MELENDERAS, AURELIO FUSTER, JOSÉ FERNÁNDEZ Y JENARO GARRE. CENTRO TECNOLÓGICO NACIONAL DE LA CONSERVA Y ALIMENTACIÓN-CTC

ES UNA REALIDAD QUE EL AGUA ES UN BIEN ESCASO Y, ACTUALMENTE, ES UN RECURSO CADA VEZ MENOS DISPONIBLE. ESTE HECHO ES ACUSADO EN CASI TODA LA PENÍNSULA IBÉRICA Y, CONCRETAMENTE, EN EL SURESTE ESPAÑOL, DONDE NOS ENCONTRAMOS QUE LA ESCASEZ DEL RECURSO SE VE MÁS AGRAVADA OBLIGANDO A PLANTEAR POLÍTICAS MEDIOAMBIENTALES ADECUADAS Y A LA BÚSQUDA DE TECNOLOGÍAS EFECTIVAS EN LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA.

La Unión Europea, consciente de la problemática en torno al agua, visible en muchos países inclusive algunos del norte como Irlanda, Reino Unido y Francia, estableció la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE, con el fin de desarrollar estrategias de gestión sostenible, aumentar la disponibilidad de este recurso y proteger su calidad.

A nivel nacional es diversa la legislación que regula el uso del agua: Texto Refundido de la Ley de Aguas (RDL 1/2001), el Real Decreto 1620/2007 de Reutilización de Aguas Residuales, Real Decreto 140/2003 de agua de consumo humano, etc., además de la decretada a nivel autonómico y municipal.

Según el Instituto Nacional de Estadística, en el año 2012, el consumo de agua de la industria agroalimentaria (alimentación, bebidas y tabaco) supuso un 35.3 % de la consumida por todo el sector industrial, mientras que en el sector químico y farmacéutico supuso un 17.1 %<sup>1</sup>.

La reutilización del agua en la industria, bien para reincorporarla al proceso productivo, a otros desarrollos auxiliares de fabricación, o bien para minimizar la cantidad de efluentes vertidos, debería ser una máxima en el buen hacer de toda industria, siendo incluso, el objetivo más ambicioso crear sistemas de gestión que permitan el vertido cero.

Es por ello, que se ha desarrollado el proyecto WaterReuse<sup>2</sup>, cofinanciado por el programa LIFE, un instrumento financiero europeo de apoyo a los proyectos innovadores de medio ambiente y conservación de la naturaleza.

Los beneficiarios del proyecto son por un lado, Destilerías Muñoz Gálvez, S.A., industria del sector Química Fina aplicada a Esencias y Aromas, la cual lidera el proyecto y es responsable del diseño, construcción y operación de un prototipo que aborda la depuración de efluentes complejos y la reutilización del agua de proceso en la industria; y por otro lado,

como entidad asociada, el Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Alimentación, cuya función es transferir las tecnologías desarrolladas a las empresas de sectores Alimentarios.

### Objetivos del proyecto

La finalidad del proyecto WaterReuse es la reutilización del agua procedente de efluentes con elevada carga orgánica, utilizando tres tecnologías consideradas como “Mejores Técnicas Disponibles” en los documentos BREF de la Comisión Europea<sup>3</sup>: Filtración con membranas (Ultra y Nanofiltración), Electroquímica y Fotocatálisis.

Entre los principales objetivos del proyecto, destacan:

El desarrollo, validación y diseminación de un sistema sostenible y adecuado para la reutilización de efluentes complejos con elevada carga orgánica, sin discriminar en el tipo de compuesto o naturaleza tóxica del mismo y cuyo tratamiento



Foto 1. Vista de las placas solares que alimentan el prototipo.



Foto 2. Contenedor que alberga el prototipo WaterReuse.

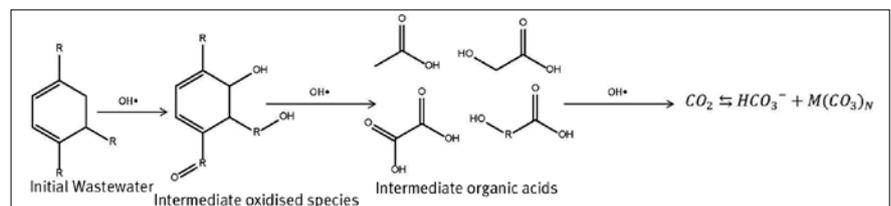
con métodos biológicos convencionales no funciona o tiene una eficacia limitada. Esto es debido a la naturaleza de los efluentes, constituidos mayoritariamente con contaminantes orgánicos refractarios, que hacen prácticamente inviable el tratamiento biológico pudiendo causar daños a la flora microbiana.

Por otro lado, el sistema es capaz de reutilizar hasta el 95 % del efluente, siendo posible la eliminación de Sólidos en Suspensión Totales (SST) y la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) por debajo de los parámetros que sean considerados adecuados para su reincorporación al proceso industrial.

Permite, además, la minimización de la Huella de Carbono mediante la aplicación de sistemas de optimización y el uso de energía renovable procedente de una planta solar fotovoltaica. Además, no genera CO<sub>2</sub> procedente de la respiración celular de los microorganismos aerobios (Foto 1).

Otro beneficio respecto a los tratamientos de depuración biológicos comunes es que no es necesario el uso de otros productos químicos que contaminen más aún el efluente y se evita también el uso de nutrientes orgánicos que favorecen la generación de fangos.

También, cabe resaltar la modularidad y las reducidas dimensiones de la instalación, lo que permite su escalado en función de las necesidades operativas y técnicas según los volúmenes de efluente a tratar. En cuanto al aspecto estratégico, las puestas en marcha y paradas del pro-



Mecanismo de reacción propuesto de electro-oxidación.

totipo son instantáneas frente a los largos periodos de tiempo que son necesarios en el acondicionamiento de las instalaciones biológicas (Foto 2).

### Tecnologías aplicadas

El proceso comienza con una filtración preparativa para evitar el paso de sólidos en suspensión superiores a 10 µm. Tras ella, el efluente es llevado a una de las cuatro líneas de tratamiento (Ultrafiltración, Nanofiltración, Electroquímico y Fotocatálisis). Cada una de estas líneas posee un tanque con sistema de recirculación, bomba, sistema de refrigeración por intercambiador de calor así como mediciones en continuo de parámetros de caudal, temperatura, presión y control de carga orgánica total, mediante un analizador en línea de COT (Carbono Orgánico Total).

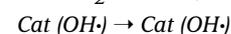
Las Ultra y Nanofiltración son procesos físicos de separación a tamaño molecular en los que el efluente es conducido hacia unas membranas, obteniéndose un permeado libre de sólidos, coloides y moléculas superiores al tamaño de poro de la membrana. La dirección del caudal permeado es perpendicular al del efluente, con lo que se minimiza la deposición

de sedimentos filtrados en las membranas evitando la obturación de las mismas (Foto 3).

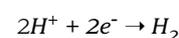
El tratamiento Electroquímico ofrece una alternativa para la destrucción, en aguas residuales, de compuestos refractarios o no adecuados para tratamientos tradicionales. La técnica consiste en hacer pasar el efluente por electrodos catalíticos estables en los que se mantiene una diferencia de potencial, formándose radicales hidroxilo, debido a las propiedades catalíticas del recubrimiento del ánodo. Dichos radicales hidroxilo reaccionan con la materia orgánica oxidándola y pasando por reacciones intermedias hasta su mineralización total en forma de carbonatos y, con ello, a la completa eliminación del contaminante orgánico.

Por otra parte, en el cátodo se produce la reducción del agua generándose Hidrógeno, susceptible de ser aprovechado.

Ánodo:



Cátodo:



En ensayos realizados, utilizando como trazador interno propilenglicol, se ha corroborado la hipótesis anterior, ya que, en



Foto 3. Interior contenedor. Tratamiento por membranas y electroquímico.

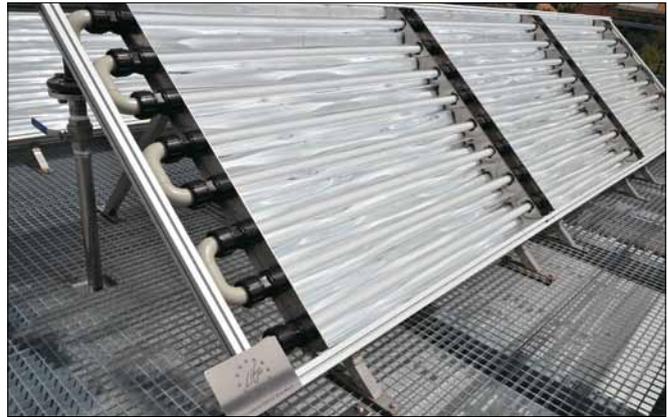


Foto 2. Detalle de la fotocatalísis.

las fases intermedias, se han detectado ácidos orgánicos, y más concretamente, se ha revelado la presencia de ácido acético mediante cromatografía de gases.

Por último, la Fotocatálisis se basa en el uso de un semiconductor como catalizador fotosensible, el cual es activado por la luz solar para generar reacciones Redox que modifican químicamente los contaminantes, bien convirtiéndolos en sustancias más biodegradables o, en muchos casos, logrando la mineralización de los mismos. El catalizador utilizado es dióxido de titanio, ya que sus propiedades, lo hacen idóneo a tal fin. Es muy activo para la fotocatalísis, relativamente barato, resistente a la corrosión e inerte química y biológicamente (Foto 4).

**Caracterización de efluentes**

En cuanto a los efluentes tratados procedentes de diversos sectores industriales se han encontrado vertidos de características muy dispares, incluso dentro de los pertenecientes a una misma industria. Se ha realizado una exhaustiva caracteriza-

ción de los mismos, no sólo teniendo en cuenta su procedencia, sino también, los principales parámetros analíticos, ver Tabla 1.

Los tipos de industrias estudiados han sido, por un lado, la de Química Fina y, por el otro, la Oleica, Láctea, Encurtidos y Golosinas, todas ellas englobadas en el sector agroalimentario.

Del análisis de la caracterización inicial de los efluentes podemos concluir los siguientes resultados: la DQO presenta unos valores muy variables en empresas del mismo ámbito, registrándose los valores más altos en la de Química Fina (de hasta 77500 ppm) y en las empresas de Golosinas (de hasta 61400 ppm). En cambio, el sector Oleico es el que tiene una DQO más estable (22900-29416 ppm). Respecto a la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) se han obtenido los valores esperados relacionados con la DQO, manteniéndose la relación DQO/DBO entre 2 y 3. Sin embargo, en algún caso se ha observado que dicha relación asciende hasta aproximadamente 10, lo que indi-

ca la baja biodegradabilidad de la carga contaminante. Esto ha sucedido en los efluentes de la industria de Química Fina. Igualmente, se evidencia la alta conductividad en los efluentes de la industria de encurtidos (entre 27.70 y 72.90 mS/cm), siendo unas aguas muy difícilmente tratables por métodos convencionales, conteniendo además compuestos fenólicos difícilmente biodegradables, que serían idóneas para el tratamiento electroquímico.

Respecto a los SST, cabe reseñar los bajos valores registrados en la industria de Química Fina (<10-98 ppm) en contra de las empresas de Golosinas (1840-22880 ppm). Este último tipo de industria presenta también unos valores muy extremos en el pH (3.52-10.93). En cuanto a los parámetros microbiológicos, toxicológicos, metales pesados y plaguicidas, no se han registrado hallazgos significativos.

**Condiciones de operación**

Tanto para el caso de Ultrafiltración como para la Nanofiltración, el sistema se ha

Sector de procedencia del efluente	DQO (ppm)	DBO (ppm)	COT (ppm)	SST (ppm)	Aceites y grasas (ppm)	pH	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Microbiología	Pesticidas y plaguicidas (ppm)	Metales pesados (ppm)	Ecotoxicología (Equitox/m <sup>3</sup> )
Lácteos	28778-10500	20145	3472	3100	1.2	3.42	20-5	No encontrados	<LDE	No encontrados	10.57
Golosinas	61400-45600	23500-22000	23102-12100	22880-1840-	-----	10.93-3.52	3.25-1.41	Enterococos Escherichia coli.	<LDE	No encontrados	5.1
Encurtidos	37300-9692	21500-4650	6485-4576	2190-480	66-26	4.02-3.76	72.90-27.70	Clostridium perfringens	Presentes	Zn: 4.21-1.41	10.77
Oleico	22900-29416	14800	86795-69150	6475-550	93-2	4.70	2.49	Escherichia coli 65000-100 (cfu/100ml)	<LDE	No encontrados	--
Química Fina	77500-10700	25000-1000	27999-2179	98-<10	12-<1	8.22-3.37	14.68-1.31	No encontrados	<LDE	No encontrados	8.1

Tabla 1. Caracterización de efluentes.

## “SU FINALIDAD ES LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA PROCEDENTE DE EFLUENTES CON ELEVADA CARGA ORGÁNICA”

operado en circuito cerrado, lo que supone un ahorro energético importante. El caudal de permeado se ha mantenido constante mediante la actuación sobre una válvula controlada por un PID permitiendo la variación de la presión transmembrana. La temperatura se ha controlado refrigerando con un cambiador de calor, de forma automática, manteniéndose una temperatura máxima prefijada. Los ensayos preliminares mostraron la dependencia lineal del caudal de permeado con la presión transmembrana, y se ha determinado la influencia de la temperatura disponiéndose además de ecuaciones para normalizar los datos obtenidos a otras temperaturas para poder compararlos con la de referencia. En todos los ensayos se han registrado caudal real permeado, presión transmembrana aplicada y temperatura.

El reactor fotoquímico ha sido operado siempre de forma estática, esto es, sin variar la orientación ni inclinación del equipo respecto del sol. Se ha aportado aire con el fin de asegurar la presencia de oxígeno disuelto en agua.

El sistema electroquímico ha sido operado en condiciones galvanostáticas, esto es a Intensidad constante. Se han aplicado diversas densidades de corriente y la temperatura ha sido controlada con un intercambiador de calor. Se han registra-

do voltajes, intensidades reales y temperatura de operación.

El proceso está controlado por un sistema de control PLC/SCADA que permite la captura y registro de numerosos datos de proceso: presión, temperatura, caudal, voltaje, intensidad, y paro/marcha. El sistema está dotado de controladores PID que permiten la operación automática y la consecución de puntos óptimos de operación, en la que se incluye una función de minimización de la Huella de Carbono. El prototipo cuenta con un analizador en continuo de Carbono Orgánico Total, el resto de parámetros analíticos, DQO, DBO, pH, conductividad, turbidez, etc., son analizados en el laboratorio a partir de muestras discretas.

### Resultados

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos en algunos ensayos significativos.

El tratamiento con membranas es capaz de reducir de un 20 a un 70% la contaminación del efluente expresada en DQO. De forma paralela, el tratamiento es capaz de llegar a la total eliminación de los sólidos suspendidos y la turbidez se reduce a valores muy bajos (en el entorno de 1 NTU). La eficacia del tratamiento con membranas es muy dependiente del tipo de efluente. Esto se debe al mecanismo de actuación de este equipo, basado en

el tamaño de poro de la misma, siendo más eficiente para aquellos casos en los que el contaminante es de mayor peso molecular relativo, frente al denominado “cut-off” de la membrana.

Los ensayos demuestran que los valores de DQO eliminada permanecen aproximadamente constantes durante la operación del prototipo y, en todo caso, la aparición de incrustaciones o ensuciamiento hace aumentar la presión transmembrana, pero no afectan a la eficacia de la separación.

De estos resultados se deduce que este tratamiento no podrá ser el único dado al efluente, ya que el nivel de contaminación residual es superior a los parámetros de vertido, por lo cual debe complementarse con un tratamiento más eficaz incluso a bajas concentraciones de DQO y frente a moléculas de bajo peso molecular para las que la eficacia del tratamiento con membranas es insuficiente. Sin embargo, desde el punto de vista económico, la reducción de DQO es significativamente inferior a los del tratamiento electroquímico, por lo que puede ser considerado un excelente pre-tratamiento.

El tratamiento fotoquímico ha demostrado ser muy lento en comparación con los otros procesos, tanto de membranas como electroquímico, por lo que la idea inicial de acoplarlo en serie no sería posi-

Sector de procedencia del efluente	DQO inicial (ppm)	DQO final (ppm)	% Reducción DQO	Permeado Membranas DQO (ppm)	Energía consumida en membranas (kWh/kg COD)	H <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	Energía consumida en electroquímico (kWh/kg COD)	Energía consumida total (kWh/kg COD)
Golosinas	43119	20	99.95%	14949	0.98	2.30	52.82	53.79
Encurtidos (1)	17100	402	97.65%	13900	8.59	1.80	38.31	46.90
Encurtidos (2)	14200	135	99.05%	12000	12.50	2.35	27.75	40.25
Oleico (1)	22900	0	100.00%	9500	2.05	1.80	73.01	75.07
Oleico (2)	13200	574	95.65%	4390	3.12	0.80	39.99	43.11
Química Fina (1)	54100	21	99.96%	28200	3.25	1.00	29.72	32.97
Química Fina (2)	42600	50	99.88%	29300	4.32	2.60	23.03	27.36
Química Fina (5)	61200	1.2	100.00%	45600	4.56	3.32	37.80	42.36
Química Fina (7)	23200	311	98.66%	15800	8.74	1.41	35.64	44.38
Química Fina (12)	10700	255	97.62%	N/A	N/A	1.68	42.81	N/A

Tabla 2. Principales resultados analíticos de los diferentes sectores industriales.

## “TRAS LA FILTRACIÓN, EL EFLUENTE ES LLEVADO A UNA DE LAS CUATRO LÍNEAS DE TRATAMIENTO (ULTRAFILTRACIÓN, NANOFILTRACIÓN, ELECTROQUÍMICO Y FOTOCATÁLISIS)”

ble al generar un superávit constante de efluente a tratar en el reactor. Tal y como se menciona en la bibliografía, este procedimiento es más adecuado para bajas concentraciones iniciales de DQO (del orden de cientos de ppm), frente a los niveles que se encuentran en los efluentes reales. La ventaja de este sistema es básicamente su bajo coste operativo, pero la limitación de bajas concentraciones de DQO iniciales y una velocidad incompatible con el tratamiento en línea de los otros sistemas, limitan su aplicabilidad.

El tratamiento electroquímico es muy eficaz en cuanto a la eliminación de efluentes de forma que se pueden conseguir valores residuales virtualmente nulos de DQO, es decir, se puede llegar a la total eliminación del contaminante y además de forma independiente tanto de la concentración inicial como de la naturaleza del efluente. Esto convierte a este sistema en una herramienta muy eficaz en la destrucción de cualquier contaminante en cualquier concentración. En la Figura 1 se muestra un ensayo típico de electro-oxidación en el cual se apre-

cia una caída lineal de la concentración frente al tiempo en casi todo el transcurso del ensayo. El pH evoluciona inicialmente hacia valores de mayor acidez debido a la formación de especies intermedias con carácter ácido como se ha mostrado anteriormente; este pH bajo se mantiene durante gran parte de la electrólisis debido al equilibrio que se mantiene entre el ácido formado a partir de la oxidación del efluente inicial y el ácido mineralizado que desaparece en forma de carbonatos. Al final de la electrólisis, cuando ya no queda apenas contaminante inicial, los ácidos intermedios no se reponen y estos van siendo mineralizados a carbonato aumentando finalmente el pH del efluente, hasta un valor de pH entre 7 y 8. En la Figura 2 se ha utilizado un trazador, en este caso propilenglicol, para seguir el valor concreto de la concentración del contaminante.

El propilenglicol ha sido seleccionado como trazador por ser una sustancia no tóxica, comercial, fácilmente disponible, de uso habitual en nuestro sector de actividad y que puede ser además cuanti-

ficado por cromatografía de gases como un único pico. La Figura 2 muestra cómo la destrucción del contaminante inicial se produce a la vez que aparece el intermedio ácido acético, que finalmente es también mineralizado. De hecho el contaminante inicial, propilenglicol en nuestro caso, es prácticamente eliminado en aproximadamente a un cuarto del tiempo necesario para eliminar toda la DQO del efluente. Por lo tanto, el ácido acético formado junto con menores cantidades de otros intermedios son la única contribución a la DQO desde aproximadamente los tres últimos cuartos del tratamiento. Desde el punto de vista de modelización del comportamiento de la DQO frente al tiempo, y con el fin de obtener ecuaciones que sirvan para el diseño de instalaciones y el cálculo de conversiones esperadas, se ha parametrizado el sistema haciendo uso de la conocida teoría de control de carga y de transporte de materia<sup>4</sup>.

En la Tabla 2 se han incluido valores de consumos energéticos por unidad de masa de DQO eliminada. Es importante tener en cuenta que los datos de la tabla

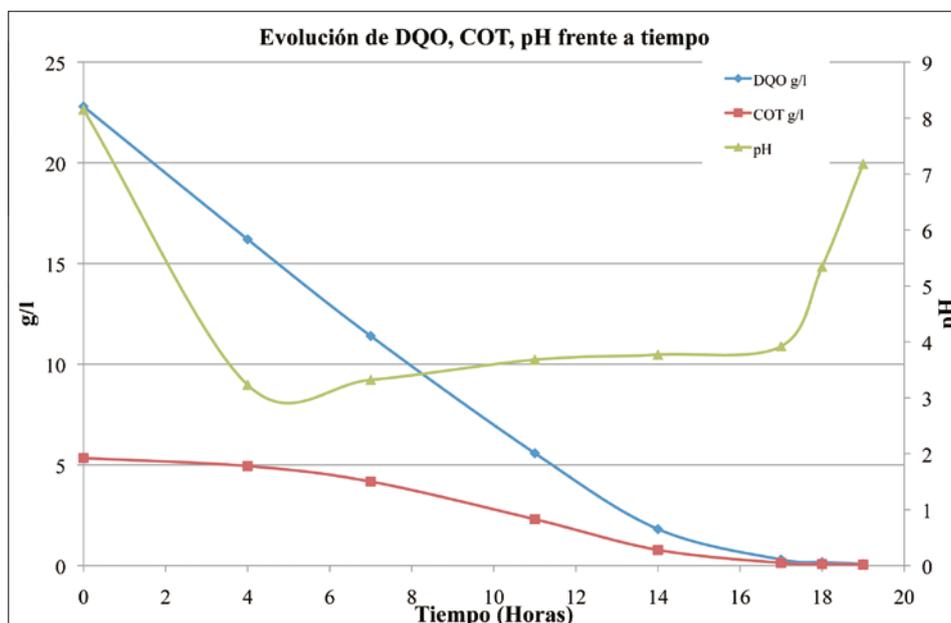


Figura 1. Evolución de DQO,COT, pH frente a tiempo.

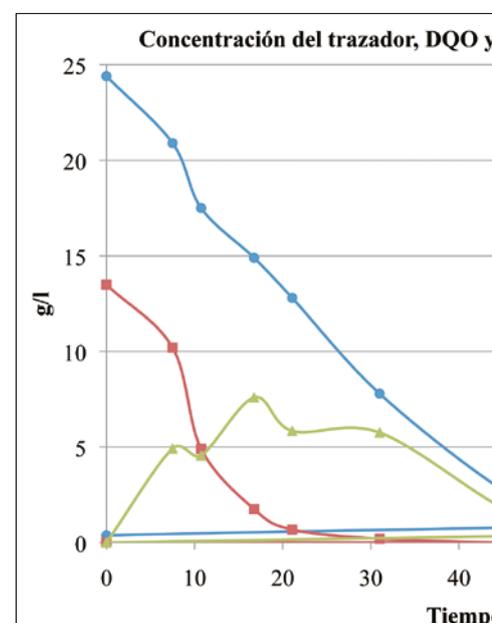


Figura 2. Concentración del trazador, DQO y ácido acético frente a tiempo.

## TIPOS DE INDUSTRIAS ESTUDIADOS EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO: OLEICA, LÁCTEA, ENCURTIDOS Y GOLOSINAS

son para conversiones muy altas y valores residuales muy bajos, incluida la total eliminación, y que los rendimientos a bajas concentraciones de DQO disminuyen sensiblemente frente a los altos rendimientos observados en el inicio del tratamiento con DQO más altas. En la siguiente sección, Optimización, se comenta las posibilidades que hay para reducir los costes energéticos asociados.

En el tratamiento electroquímico se ha observado la total eliminación de la DBO, toxicidad, y de la microbiología, incluso desde el inicio del tratamiento, mucho antes que la eliminación del contaminante principal.

Un punto interesante a tener en cuenta es la producción de Hidrógeno, como reacción paralela, debido a su posible impacto en la reducción de costes. En este proyecto no está prevista la utilización del Hidrógeno generado, pero sí su cálculo usando las leyes de Faraday. La Tabla 2 incluye este cálculo y, como puede observarse, las cantidades generadas de Hidrógeno son significativas por unidad de volumen tratado y sin duda, es un valor a considerar en la reducción de costes, tan-

to como vector energético como posible uso como reactivo tras una purificación mediante tecnología PSA (*Pressure Swing Adsorption*).

### Optimización

Con el fin de optimizar el proceso se han estudiado las variables de las que depende y se han realizado varios ensayos modificándolas para poder determinar su potencial de optimización y reducción de costes factible en cada caso.

En la tecnología de membranas existe ya un ahorro energético significativo, por diseño, al operarse en circuito cerrado de forma que la presión del sistema sólo es perdida por el fluido permeado y una pequeña recirculación, pero la energía del flujo general de recirculación se mantiene. Una posibilidad de optimización es aumentar los caudales de permeado, que en la operación normal están recortados por política conservadora en el balance ensuciamiento/incrustaciones frente a caudal permeado y necesidad de limpieza. Se ha ensayado el aumento del caudal permeado hasta valores que implicarían hasta un 30% de reducción en el consu-

mo eléctrico, si bien el aumento de ensuciamiento e incrustaciones así como las limpiezas necesarias deben evaluarse para cada caso antes de acometer una optimización por esta vía.

Desde el punto de vista del tratamiento electroquímico hay margen de optimización por diversas vías respecto de los valores descritos en la Tabla 2. Son dos los principales métodos de mejora en este proceso, según se actúe sobre la densidad de corriente o sobre la conductividad del electrolito.

La densidad de corriente aplicada es un compromiso entre velocidad de tratamiento y costes de operación, pero además es esencial su control de forma que se mantenga siempre en la denominada zona de control de carga, pues el paso al control de transporte de materia reduce de forma exponencial la eficiencia del sistema.

Por otra parte, la conductividad del electrolito tiene una influencia directa sobre la resistencia óhmica de la celda electroquímica y con ello un aumento significativo en el coste del tratamiento. Se han ensayado varias estrategias de aumento

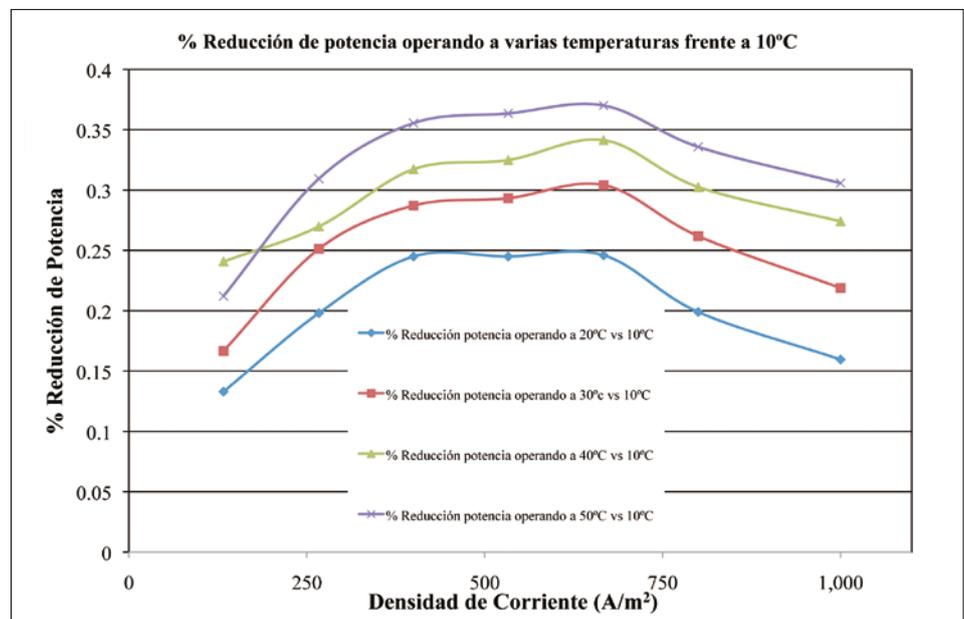
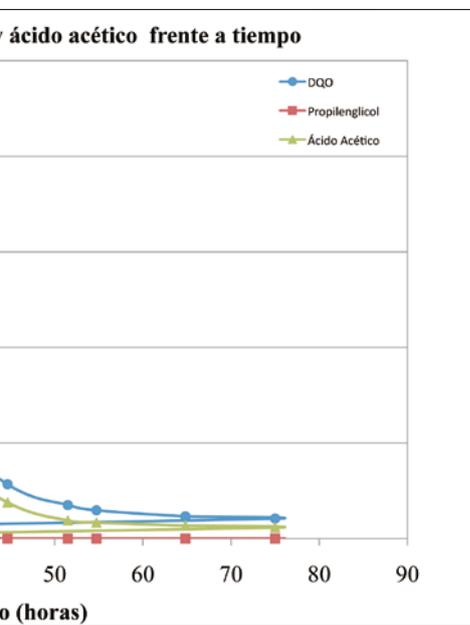


Figura 3. Reducción de potencia operando a varias temperaturas frente a 10°C.

de la conductividad y optimización de la densidad de corriente aplicada que llevan a disminuciones de hasta un 36% en la reducción de costes energéticos sin penalizar la velocidad ni la eficacia del tratamiento. En breve se dispondrá de una función completa de optimización del proceso que permita conocer las condiciones de operación más favorables para cada efluente y para cada momento del tratamiento.

En la Figura 3 se muestra el porcentaje de ahorro de potencia eléctrica al operar optimizando densidad de corriente aplicada y conductividad del electrolito.

Como se ha comentado anteriormente pese a que el uso del Hidrógeno generado está fuera del alcance de este proyecto, su aislamiento y purificación pueden suponer un considerable ahorro en costes de operación a tener en cuenta.

### Conclusiones

El proyecto WaterReuse ha demostrado que es especialmente adecuado para tratar efluentes con altas concentraciones de contaminantes tóxicos o químicos refractarios, donde los tratamientos biológicos convencionales no pueden trabajar bien por características inadecuadas del efluente o bien por toxicidad del mismo. Ha sido evidenciado que se pueden tratar aguas con altas conductividades, siendo el proceso incluso más eficiente en estos casos. Con la combinación del uso de los dis-

tintos tratamientos se ha logrado una completa eliminación de SST, DQO, DBO y ecotoxicidad en los ensayos realizados hasta el momento. Se ha observado, en ensayos realizados con trazador interno que, aproximadamente, a mitad del tratamiento desaparece el contaminante inicial, pero, sin embargo, los niveles de DQO siguen estando elevados. Se concluye, que esto es debido a la aparición de ácidos orgánicos, como por ejemplo el ácido acético, formados en las etapas intermedias del proceso de destrucción de la materia orgánica hasta su mineralización. Por tanto, llegados al punto donde el contaminante principal ha sido eliminado y teniendo en cuenta la biodegradabilidad de los ácidos orgánicos, esta técnica podría utilizarse además como pre-tratamiento de otros más convencionales que no son válidos al inicio del proceso de depuración.

Además, el sistema está totalmente automatizado, pudiéndose realizar paradas y puestas en marcha instantáneas sin perjudicar el procedimiento que se esté llevando a cabo, en contraposición a los sistemas biológicos en los que una parada del sistema puede desencadenar daños irreversibles en la flora microbiana existente. Incluso, es posible tratar dos efluentes simultáneamente, siempre que se estén aplicando dos tecnologías distintas.

Otra ventaja es la modularidad y reducidas dimensiones del prototipo, adaptán-

dose a las necesidades y volúmenes de tratamiento de cada industria.

Se trata de un sistema medioambientalmente sostenible, ya que además de no necesitar la adición de productos químicos o aditivos ni generar fangos que deban ser tratados posteriormente, el uso de energías renovables procedentes de las células fotovoltaicas hace que se disminuya considerablemente la huella de carbono e, incluso, el hidrógeno generado como subproducto podría ser susceptible de reutilización como fuente de energía o como materia prima en otros procesos.

En definitiva, el proyecto WaterReuse, con el apoyo del programa LIFE, está demostrando su utilidad para abordar uno de los grandes retos de nuestro tiempo, disminuir el impacto ambiental de las actividades productivas, aun cuando la industria continúe creciendo, a través de prácticas de producción más limpias y sostenibles.

### Referencias

- [1] <http://www.ine.es/> Encuesta Industrial de Empresas, Año 2012.
- [2] WEB Proyecto WaterReuse. <http://www.waterreuse.eu/index.php/es/>
- [3] <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>
- [4] F.C. Walsh, A First Course in Electrochemical Engineering, The Electrochemical Consultancy, Romsey, UK (1993).



Pol. Ind. San Jorge C/C-12, 30565 Las Torres de Cotillas, Murcia  
Teléfono: 968 626 509 Email: [info@equilabo.es](mailto:info@equilabo.es)

# la compañía líder en la industria alimentaria

Con más de 20 años de trayectoria,  
GÉMINA es una empresa única y  
altamente experimentada en el  
**SECTOR AGROALIMENTARIO**

Nuestras áreas de actividad  
profesional incluyen:

- > ASESORAMIENTO ESTRATÉGICO
- > DISEÑO E INGENIERÍA DE  
SISTEMAS PRODUCTIVOS
- > CONSTRUCCIÓN DE PLANTA  
Y MAQUINARIAS
- > OPTIMIZACIÓN DE  
PROCESOS



Llenadora aséptica  
GÉMINA FILLER AST 2A

*soluciones a la medida  
de sus necesidades*

**Gémina**®

Procesos Alimentarios, S.L.

+info:

[www.gemina.es](http://www.gemina.es)



# GÉMINA, UNA EMPRESA MURCIANA CON PROYECCIÓN INTERNACIONAL



LA COMPAÑÍA JUMILLANA GÉMINA PROCESOS ALIMENTARIOS CONSTITUYE UN CLARO EJEMPLO DE LA IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA DE LA REGIÓN DE MURCIA EN EL SECTOR ALIMENTARIO COMO LOCOMOTORA DE DESARROLLO Y DE LA RECUPERACIÓN ECONÓMICA ESPAÑOLA.

Con más de 20 años de trayectoria, GÉMINA es una empresa tecnológica única y muy experimentada, especializada en servicios industriales para todo el sector alimentario. Surgida a mediados de los años 90 en Jumilla, Murcia, comunidad española de referencia en producción alimentaria, el alto nivel y la profesionalidad de un completísimo equipo técnico, unido a la excelencia de sus instalaciones de producción, garantizan la máxima calidad y el riguroso cumplimiento normativo de todas las actuaciones profesionales abordadas por la compañía.

## Actividad profesional

GÉMINA diseña sistemas que aportan las soluciones más innovadoras para la industria alimentaria:

- Proyectos de ingeniería globales.
  - Soluciones de I+D+i.
  - Planificación productiva eficiente.
  - Desarrollos de procesos alimentarios.
  - Control de riesgos y seguridad.
  - Plantas, equipamientos e instalaciones alimentarias.
  - Maquinaria de procesado alimentario.
  - Seguimiento post-venta personalizado.
- Los valores diferenciales de GÉMINA, que la destacan como una compañía líder, pasan por aportar un *know-how* y una metodología profesional de altísima solvencia en el sector; la posibilidad de desarrollar servicios globales con presencia local; la potenciación de las economías de escala a disposición de los *stakeholders* y las audiencias de la empresa; la reducción de

costes productivos; el aporte de un gran conocimiento tecnológico y de I+D+i como motores de desarrollo para las marcas con las que colabora; la flexibilidad, la rapidez y la innovación exclusivas para cada cliente; así como la plena seguridad y estandarización de los procesos industriales aportados por la compañía.

GÉMINA dispone de un equipo profesional compuesto por ingenieros, diseñadores, analistas, ejecutivos y técnicos, que trabajan desarrollando un estrecho contacto con cada cliente a fin de avalar la ingeniería, el diseño de procesos, las producciones y acabados industriales de mayor calidad técnica para las cinco grandes industrias del sector alimentario: la industria láctea, de procesado del tomate, de zumos y bebidas, frutas y verduras y para el tratamiento de cítricos.

## Maquinaria alimentaria

GÉMINA es una empresa de fabricación industrial que desarrolla en talleres propios todas las labores de ingeniería, diseño y construcción de maquinaria adaptada o de serie, especializada para el sector alimentario: llenadoras asépticas, extractoras, intercambiadores de calor, evaporadores de recirculación forzada, tanques de almacenamiento, sistemas de limpieza CIP, plantas piloto de laboratorio, tanques asépticos de proceso, maquinaria para vaciado de bidones, unidades *hot/cold break*, pasteurizadores tubulares, calentadores y enfriadores, pasteurizadores de placas, *crusher*, bombas de pistones, unidades de extracción de cremas, *blending*, monobloques asépticos, equipos de ósmosis inversa para tratamiento de aguas, unidades de recepción de leche, tanques de almacenamiento de leche y unidades UHT indirectas.

En todos los casos, la empresa trabaja de

manera exclusiva para adecuarse plenamente a las necesidades y requerimientos de sus clientes, tanto en la fabricación de maquinaria específica adaptada, como en la realización de grandes proyectos y plantas industriales.

#### Internacionalización e I+D+i

Desde unos años, GÉMINA mantiene un crecimiento progresivo de su cifra de negocio con una proyección muy favorable gracias a las inversiones de la compañía en I+D+i y, especialmente, sus esfuerzos estratégicos de internacionalización gracias a la búsqueda de *partners* especializados y mediante convenios con la Cámara de Comercio de Murcia. Sus trabajos en diversos países africanos –Argelia, Túnez, Marruecos, Angola...–, los proyectos en la Unión Europea –Francia y Holanda– y la Europa del Este, así como la asistencia a ferias internacionales y la introducción en el mercado asiático –China, Rusia–, junto a la apuesta por el crecimiento de la floreciente economía turca, han convertido

a GÉMINA en una compañía experta que puede desarrollar todo tipo de proyectos en cualquier parte del mundo. Ejemplo de esta apuesta por la internacionalización de los mercados, la proyección de la tecnología española y los desarrollos de I+D+i característicos de GÉMINA, es el haber pasado las auditorías de calidad de la mayoría de las cadenas de distribución europeas, los más de 3.000 productos alimentarios elaborados diariamente con nuestros equipos, o bien, y concretamente, el 25% de los zumos envasados en España.

#### Responsabilidad y compromiso de futuro

GÉMINA es una empresa comprometida con la sociedad y su entorno. La RSC –Responsabilidad Social Corporativa–, constituye uno de los principales ejes estratégicos de la compañía. Una sólida ética empresarial, como complemento a una clara filosofía de crecimiento y desarrollo sostenible, les obliga a potenciar y estimular el equilibrio del triple balance

social, económico y medioambiental en todas las acciones en las que GÉMINA se implica.

GÉMINA Procesos Alimentarios suma en definitiva la máxima eficacia a las empresas del sector, optimizando procesos y aportando soluciones de calidad para desarrollar e implementar la cadena productiva precisada por cada cliente, detectando sus necesidades estratégicas y funcionales y facilitando todos los medios operativos para el desarrollo, puesta en marcha, funcionamiento, mantenimiento y optimización de sus sistemas de producción.

#### Contacto

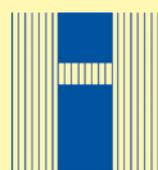
GÉMINA Procesos Alimentarios, S.L.  
Polígono Industrial Los Romerales. Parcelas 3 y 4 - 30520 Jumilla  
Murcia - España.  
Apartado de Correos 231  
T. +34 968 716 018 - F. +34 968 780 682  
E. [gemina@gemina.es](mailto:gemina@gemina.es)  
W. [www.gemina.es](http://www.gemina.es)



## “SU EMPRESA DE INSTRUMENTACIÓN”

# TECNOQUIM, S.L.

Polígono Industrial Oeste.  
Avda. Principal, P. 29/28  
30169 MURCIA (SPAIN)  
Tel. 968 880 298 - Fax 968 880 417  
[ventas@tecnoquim.es](mailto:ventas@tecnoquim.es)  
[www.tecnoquim.es](http://www.tecnoquim.es)

 **HANNA**  
instruments  
[www.hanna.es](http://www.hanna.es)



MEDIDORES MULTIPARAMÉTRICOS	FOTÓMETRO ENSAYO DQ0+TERMORREACTOR	CONDUCTÍMETROS PHMETROS. O2 DISUEL	TURBIDÍMETROS CLORÍMETROS
--------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------



### PROCESO: PCA ANALIZADORES AUTOMÁTICOS Y CONTROL DE pH, CLORO LIBRE/TOTAL, T<sup>a</sup> y ORP EN CONTINUO

#### SOLICITEN INFORMACIÓN Y PRESUPUESTO DE:

Autoclaves / Agitadores magnéticos / Balanzas / Baños termostáticos / Calibraciones / Cabinas flujo laminar  
Cromatógrafos CG y HPLC / Espectrómetros VIS-UV-A.A. / Estufas / Fibra / Grasa / IRTF / Microscópios / Mobiliario

Delegación: Polígono Industrial. Campollano. Calle D, 57, Nave 9. 02007 ALBACETE  
Tf.: 967609860 / Fax: 968880417 / [albacete@tecnoquim.es](mailto:albacete@tecnoquim.es)



# ¿QUIERE AHORRAR ENTRE UN 10% Y UN 38% EN EL PRECIO DE LA ENERGÍA SIN INVERTIR UN SOLO EURO?

**BeOPTIMUS LE OFRECE QUE COMPRE DIRECTAMENTE LA ENERGÍA SIN INTERMEDIARIOS EN EL MISMO MERCADO Y CON LAS MISMAS CONDICIONES QUE LAS GRANDES EMPRESAS SABIENDO EN CADA MOMENTO LO QUE PAGA Y OBTENIENDO UN AHORRO MUY INTERESANTE.**

## GENERAMOS AHORROS EN LAS DISTINTAS CATEGORIAS DE GASTOS:

### ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS

- Mensajería
- Seguros
- Material de Oficina
- Material de Informática
- Imprenta
- Gastos Financieros
- Comisiones Bancarias
- Impresión de fotocopias
- Mobiliario Oficina
- Factura electrónica
- Digitalización documento
- Traducción e Intérprete
- IBI
- Patentes y marcas
- Gestión documental (Oficina sin papeles)

### PRODUCCIÓN

- Gestión de residuos
- Energía
- Gas

### COMERCIAL Y MARKETING

- Publicidad
- Catálogos y folletos
- Ferias
- Artes Gráficas
- Packaging
- Merchandising
- Gastos de viaje y estancias
- Redes sociales

### RECURSOS HUMANOS

- ETT / Externalización
- Formación
- Kilometrajes
- Comidas
- Vestuario laboral
- Otros Gastos Sociales
- Análisis retribuciones
- Análisis cotizaciones
- Análisis organigrama

### SERVICIOS GENERALES

- Flota De Vehículos (Compra, Renting)
- Combustible
- Vigilancia y seguridad
- Reparación y conservación
- Limpieza
- Vending
- Agua
- Desinfectación y desratización
- Lavandería
- LOGÍSTICA**
- Almacenes
- Picking
- Transporte
- Envases y Embalaje
- Paquetería
- Palets

### SISTEMAS

- Telefonía
- Comunicación
- Webs
- E-Commerce
- Gestión de Archivos
- Mantenimiento Hardware
- Mantenimiento Software
- Red inteligente

### AYUDAS, SUBVENCIONES E IMPUESTOS

- Ayudas y subvenciones
- Optimización deducciones fiscales I+D+i
- Planificación fiscal

### NORMATIVAS

- ISO calidad
- Protección de datos
- Prevención blanqueo capitales
- Prevención riesgos laborales

# SISTEMA DE PERCOLACIÓN HÍBRIDO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS PYMES AGROALIMENTARIAS

MERCEDES LLORÉNS PASCUAL DEL RIQUELME. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA. UNIVERSIDAD DE MURCIA. EMAIL: LLORENS@UM.ES. ANA BELÉN MORALES MORENO Y LUIS MIGUEL AYUSO GARCÍA. ÁREA DE MEDIOAMBIENTE. CTC. EMAIL: AYUSO@CTNC.ES



Separación entre dos fases de tratamiento. En la parte inferior se puede ver la arlita y en la superior la biomasa generada.

- EL SISTEMA DE PERCOLACIÓN HÍBRIDO YA HA SIDO PROBADO TANTO CON AGUAS RESIDUALES URBANAS COMO CON AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

- ESTA TECNOLOGÍA PUEDE CONSIDERARSE ADECUADA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DE INDUSTRIAS CONSERVERAS

EL DESARROLLO INDUSTRIAL DE LA REGIÓN DE MURCIA HA SIDO IMPORTANTE EN LOS ÚLTIMOS AÑOS. SIN EMBARGO, LA MODERNIZACIÓN E INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE LOS SECTORES INDUSTRIALES NO HA EVOLUCIONADO AL MISMO RITMO QUE LA DEMANDA DE ADAPTACIÓN MEDIOAMBIENTAL, PRINCIPALMENTE EN CUANTO A LA IMPLANTACIÓN DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN EN ORIGEN. LA INDUSTRIA REGIONAL, FUNDAMENTALMENTE ASOCIADA A LA AGRICULTURA, ES UNA GRAN CONSUMIDORA DE AGUA Y SUS RESIDUOS LÍQUIDOS INCORPORAN ALTAS CARGAS DE CONTAMINANTES QUE, AUNQUE BIODEGRADABLES, EXIGEN UNA DEPURACIÓN MUY ENÉRGICA EN ORIGEN QUE ES PRECISO MEJORAR Y, EN ALGUNOS CASOS, DEBE TENERSE EN CUENTA PARA INTRODUCIR CAMBIOS EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS EN ORDEN A LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA.

La Ley 1/95 de Protección del Medio Ambiente es una importante referencia de la política de defensa del medio ambiente, y en particular, de la calidad de las aguas. Esta Ley regula, entre otros aspectos, los planes de incentivos a las inversiones para reducir la contaminación, para la recuperación y reutilización de los residuos

así como establece los mecanismos de adecuación de las industrias a las exigencias medioambientales. También regula las condiciones de los vertidos de aguas residuales al alcantarillado y define los correspondientes instrumentos de disciplina ambiental.

El Decreto 16/1999, de 22 de abril, sobre

Vertidos de Aguas Residuales Industriales al alcantarillado, complementado por las correspondientes ordenanzas municipales, que desarrolla esta materia es uno de los instrumentos básicos para garantizar el tratamiento de las aguas residuales en las instalaciones públicas.

El Real Decreto Ley 11/1995, de 28 de

diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, además de trasponer la Directiva 91/271/CEE, complementa el régimen jurídico establecido en la Ley de Aguas y en la Ley de Costas en cuanto a protección de la calidad de las aguas se refiere. La Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo, relativa al tratamiento de aguas residuales urbanas, señala la necesidad de que los vertidos de las aguas residuales industriales que entren en los sistemas colectores e instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas sean objeto de un tratamiento previo para garantizar que no tengan efectos adversos sobre las personas y el medio ambiente y no deterioren las infraestructuras de saneamiento.

La Ley 3/2000, de 12 de julio, de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia e Implantación del Canon de Saneamiento instaura el marco jurídico que permitirá el efectivo saneamiento y depuración de las aguas residuales urbanas generadas en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Una industria puede verter sus aguas residuales a distintos medios, con la correspondiente autorización administrativa del organismo competente, cumpliendo los límites máximos autorizados para los diferentes parámetros contaminantes y abonando un canon de vertido. La práctica totalidad de las industrias vierte sus aguas al alcantarillado público y por tanto las aguas residuales industriales son tratadas en depuradoras urbanas; ello implica que los tratamientos de depuración en origen resultan imprescindibles para asimilar los vertidos industriales a urbanos.

Parámetro	Valor
pH (intervalo)	5.5 – 9.5
Conductividad	5000 µS/cm
Sólidos en suspensión totales	500 mg/L
Aceites y grasas	100 mg/L
DBO <sub>5</sub>	650 mg /L
DQO	1100 mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl	50 m/L

Tabla 1. Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación.

Se considera que un agua residual industrial es tratable en una depuradora urbana cuando alcanza, como máximo, los valores establecidos en el Decreto 16/1999. El sector agroalimentario es el más importante de la Región de Murcia e incluye a la industria conservera, alimentación, bebidas, aceites, carnes y lácteos. El 85 % de las aguas residuales industriales vertidas al alcantarillado corresponde a este sector.

Los vertidos realizados por la industria conservera se caracterizan por:

- Elevado caudal.
- Alto contenido de materia orgánica (biodegradable).
- Alto contenido en sólidos en suspensión.
- En algunos casos pH extremos (por ejemplo en el pelado químico).
- En algunos casos elevada conductividad (caso de las salmueras).
- Ausencia de compuestos tóxicos.

Las características de las aguas residuales generadas difieren tanto en volumen como en carga contaminante, dependiendo del tipo de materia prima procesada, la estación del año, el grado de madurez de la materia prima, la técnica de recolección y las instalaciones y hábitos de trabajo dentro de la industria.

Una particularidad muy común en este tipo de industria, fundamentalmente en las pequeñas empresas, es que a lo largo del año se producen paradas en la producción y por tanto en la generación de aguas residuales, debido a las diferen-

tes campañas, precios de la materia prima, estación del año, etc. (Canales et al., 2006).

El tratamiento de las aguas residuales, ya sean industriales o urbanas, consiste en la aplicación de unos procesos básicos u operaciones unitarias cuya secuencia y utilización vienen definidas por el grado de depuración a alcanzar, las características del agua a tratar y el coste de las instalaciones. El grado de depuración a alcanzar va a depender de los valores de los parámetros establecidos en la normativa de aplicación. En la tabla 1 se muestran los valores de algunos de los parámetros de contaminación recogidos en el anexo III de Decreto 16/1999, sobre vertidos de aguas residuales industriales al alcantarillado.

### Tratamiento de las aguas residuales

La figura 1 muestra las etapas del tratamiento de un agua residual. La primera etapa es el pretratamiento. Toda planta depuradora de aguas residuales debe tener un conjunto de elementos estáticos y/o dinámicos que permitan eliminar los sólidos de gran tamaño, arenas y aceites y grasas, cuyo paso por los tratamientos posteriores dificultarían la acción de éstos. Por lo tanto el conjunto de operaciones que constituyen el pretratamiento cumple dos objetivos: eliminar contaminación y proteger los procesos que siguen.

Con el tratamiento primario se elimina principalmente materia en suspensión y una parte de la materia orgánica biode-



Figura 1. Etapas del tratamiento de un agua residual (Alianza por el Agua, 2008).

gradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica. Con el tratamiento secundario se elimina materia orgánica biodegradable, tanto disuelta como coloidal. El efluente del tratamiento secundario ya podría ser vertido a la red de alcantarillado. En el caso de que se desee reutilizar el agua y dependiendo del uso final habría que recurrir a tratamientos terciarios o avanzados.

El tratamiento secundario generalmente es de tipo biológico y es la etapa más importante en el proceso de depuración. Los procesos biológicos más utilizados dentro del tratamiento secundario son los procesos aerobios y los anaerobios. Ambos pueden llevarse a cabo en cultivo en suspensión, cultivo fijo o una combinación de ambos. El proceso biológico más ampliamente utilizado es el proceso de fangos activados (aerobio de cultivo en suspensión).

Frente a los tratamientos secundarios de tipo biológico, denominados genéricamente "tratamientos convencionales" destacan las tecnologías no convencionales, que presentan las siguientes ventajas (Puigagut et al., 2007; Libralato et al., 2012):

- Bajos costes de construcción y mantenimiento.
- Bajo consumo de energía.
- Operación sencilla (no se necesita mano de obra especializada).
- Elevada eficacia.
- Elevado nivel de inercia frente a fluctua-

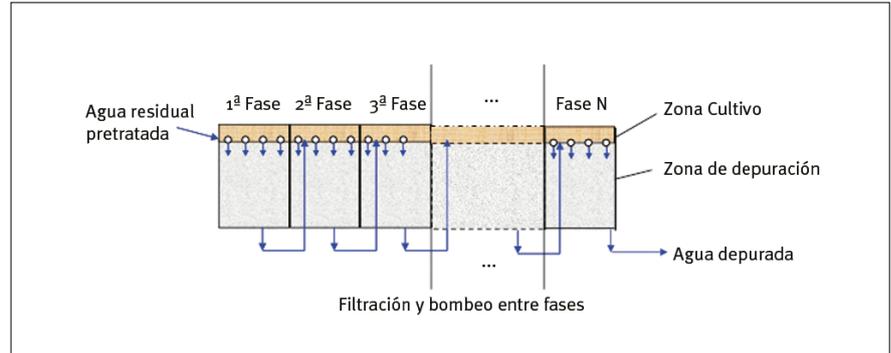


Figura 3. Sistema de percolación híbrido (distribución horizontal).

ciones en la carga orgánica e hidráulica.  
- Baja producción de fangos.

Se pretende proponer una alternativa de depuración biológica que minimice los problemas de gestión, explotación y mantenimiento de la depuradora y pueda ser una solución adecuada para la sistemática de trabajo de las pequeñas empresas. Es importante destacar que la dificultad de las empresas para poner en marcha de forma satisfactoria las depuradoras instaladas está en relación con el tamaño de la empresa (cuanto mayor es la empresa mayor grado de éxito). Existen claros ejemplos de empresas, fundamentalmente pequeñas, a las que la instalación de una depuradora ha supuesto un problema de difícil solución y que supone que la inversión realizada no se vea compensada con una buena depuración y con el cumplimiento de la normativa (Ayuso et al., 2008).

En una depuradora la línea de fangos es tan importante como la línea de agua. Los fangos se generan en el tratamiento pri-

mario (fangos primarios) y en mucha mayor cantidad en el tratamiento secundario (fangos secundarios). Con la línea de fangos se pretende reducir el volumen de los fangos así como su poder de fermentación. La figura 2 muestra las principales etapas del tratamiento de los fangos.

### Sistema de percolación híbrido

Entre las tecnologías no convencionales se incluye el sistema de percolación híbrido. Esta tecnología consiste en varios lechos filtrantes en serie a través de los cuales se hace pasar el agua residual a tratar. El agua residual se introduce sub-superficialmente a través de una red de goteros (similares a los utilizados en las instalaciones de riego), percolando lentamente a través del lecho filtrante. Este sistema de alimentación evita que el lecho se sature de agua permitiendo que el sistema funcione en condiciones aerobias (Pérez-Marín et al., 2009; Lloréns et al., 2011, 2015). El lecho filtrante está constituido por un material poroso (grava, arlita,



Figura 2. Principales etapas de la línea de fangos (Alianza por el Agua, 2008).

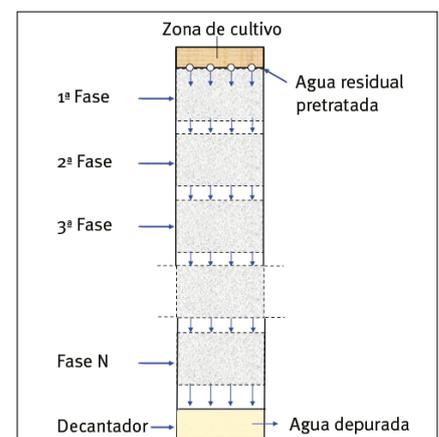


Figura 4. Sistema de percolación híbrido (distribución vertical).

etc....) al cual se adhieren los microorganismos formando una biopelícula. Estos microorganismos son los responsables de la degradación de la materia orgánica presente en el agua a tratar. El número de lechos filtrantes va a depender de la carga orgánica del agua residual a tratar. Para aguas residuales urbanas es suficiente con cuatro etapas de tratamiento. Cuanto mayor sea la carga orgánica mayor será el número de etapas de tratamiento.

Estos lechos filtrantes pueden combinarse horizontal o verticalmente.

En la distribución horizontal (figura 3), cada etapa consta de un medio filtrante de unos 100 cm de profundidad que está aislado del suelo con una lámina impermeable. Todas las etapas de tratamiento constan de una zona de depuración y una zona de cultivo. El agua residual se introduce en los lechos filtrantes a través de goteros subterráneos colocados directamente sobre el medio filtrante. El agua residual pretratada entra en la primera etapa a través de los goteros y desciende por gravedad a través del lecho hasta que alcanza la lámina impermeable. El efluente de cada etapa se filtra a través de filtros de anillas antes de ser bombeado a la siguiente etapa.

En la distribución vertical (figura 4) los lechos filtrantes están colocados uno sobre otro. En esta configuración los lechos tienen una profundidad de unos 50 cm. La zona de cultivo y el sistema de alimentación del agua residual están colocados sólo en el lecho superior. El agua pretratada entra a la primera etapa de tratamiento a través de los goteros y desciende por gravedad a través del primer lecho. El efluente de cada lecho pasa al siguiente lecho por gravedad, sin ser filtrado. Entre cada dos etapas de tratamiento hay una zona vacía que favorece la oxigenación.

La especial distribución del agua, gota a gota, hace que los lechos no estén saturados de agua, lo que permite una aireación pasiva. Además el sistema de percolación híbrido puede funcionar de forma continua sin problemas de colmatación de los lechos (Pérez-Marín et al., 2009, Lloréns et al., 2011).

La distribución vertical presenta unos menores costes de construcción y de mantenimiento así como una menor necesidad de superficie y de energía. En el caso de la distribución vertical se necesitaría 0.1 m<sup>2</sup>/habitante equivalente; para la distribución horizontal habría que multiplicar éste valor por el número de etapas de tratamiento.

Esta tecnología de depuración puede resultar muy interesante como opción de depuración aplicada a las PYMES del sector agroalimentario ya que presenta una serie de particularidades que pueden resultar muy ventajosas para su aplicación a este sector. Entre esas particularidades se puede citar:

- Construcción rápida.
- No precisa de la adición de reactivos químicos para su funcionamiento óptimo
- Menor necesidad de superficie que los tratamientos convencionales.
- Buena calidad del efluente y gran resistencia a las variaciones en la carga orgánica e hidráulica.
- Bajo consumo de energía.
- Gran versatilidad.
- Facilidad para adaptarse a los requerimientos de cada cliente, integrándose perfectamente en el entorno, tanto industrial como residencial.
- Posibilidad de funcionamiento continuo (sin paradas); sin embargo, se puede detener sin que se produzca una disminución significativa en el rendimiento al reiniciarse de nuevo el proceso.
- Bajo mantenimiento.
- No se producen olores.
- Baja producción de fango.

A título comparativo, la tabla 2 muestra los costes de construcción, operación y

mantenimiento de las tecnologías de depuración de aguas residuales más utilizadas (MARM, 2011) y los del sistema de percolación híbrido.

Si se tiene en cuenta que a lo largo del tiempo de vida de la planta, los costes de operación y mantenimiento son tan importantes como los costes de construcción, el sistema de percolación híbrido constituye una excelente alternativa a los sistemas convencionales.

### Aplicaciones del sistema de percolación híbrido

El sistema de percolación híbrido ya ha sido probado tanto con aguas residuales urbanas (Llorens et al, 2007; Pérez-Marín et al., 2009) como con aguas residuales industriales (Ayuso et al., 2008), tanto la distribución horizontal como la vertical.

Puesto que en muchas ocasiones la superficie que se necesita para la instalación de una depuradora es un obstáculo importante para que se pueda llevar a cabo la obra, la distribución vertical puede ser una solución cuando hay poca disponibilidad de superficie, además de que presenta unos menores costes de construcción y de mantenimiento y unas menores necesidades de energía.

A continuación se presentan los resultados de la aplicación, a escala piloto, de un sistema de percolación híbrido para el tratamiento de los efluentes de dos empresas de conservas vegetales de la Región de Murcia. Un efluente procede del procesamiento de melocotón y pera y el otro de alcachofa.

Este trabajo fue financiado por el Instituto de Fomento de la CARM y en él participó la empresa Golfrat S.L. (www.golfrat.

Parámetro	Melocotón y pera			Alcachofa		
	Influente	Efluente	% eliminación	Influente	Efluente	% eliminación
pH	4.76-7.80	7.71-8.97		3.87-4.95	4.92-7.48	
Conductividad (µS/cm)	1002-1579	1069-1800		1119-3500	1053-3740	
DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	2978-4302	298-660	77.8-92.6	3185-8100	1450-2352	53.3-80.2
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	1639-2420	40-343	79.1-94.4	2100-4300	680-1823	44.0-83.7
SST (mg/l)	270-430	45-210	45.9-87.5	478-765	140-344	45.8-79.1
NTK (mg N/l)	18.7-33.0	7.0-15.3	31.4-62.6	92.0-126.0	24.0-41.0	67.5-79.1
PT (mg P/l)	71.7-97.9	25.4-34.6	61.6-64.7	16.6-29.1	6.7-20.3	30.2-75.4

Tabla 3. Características del influente, efluente y rendimientos de eliminación.

com), el Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Universidad de Murcia. Para llevar a cabo este estudio se construyeron dos plantas piloto, una con cinco fases de tratamiento (procesado de melocotón y pera) y otra con seis fases (procesado de alcachofa). En ambas plantas los lechos filtrantes están colocados uno sobre otro (disposición vertical, figura 4), su superficie es de 1 m<sup>2</sup> y el caudal tratado es 80 L/h. Cada una de las fases de tratamiento contiene un relleno de arlita de 50 cm de espesor, y entre cada dos fases hay una separación de unos pocos centímetros (foto de portada) cuya misión es permitir la entrada del oxígeno atmosférico para que la depuración se produzca en condiciones aerobias. Sobre la arlita de la primera fase de tratamiento se sitúa la zona de cultivo compuesta de una capa de arena de sílice de 20 cm de espesor. Entre ambas zonas están colocados 20 goteros de 4 L/h cada uno. El efluente procedente del procesado de melocotón y pera ha sido sometido a un pretratamiento que consta de: desbaste de gruesos, tamiz rotatorio 0.8 mm, flotación con adición de floculante, homogeneización y ajuste de pH con ácido fosfórico. El efluente procedente del procesado de alcachofa sólo ha pasado por un tamiz rotario de 0.5 mm. El agua residual pretratada pasa a través de un filtro de anillas de 100 mm y a continuación es distribuida a través de los goteros colocados sobre la superficie del primer lecho, fluyendo por gravedad a través de las fases de tratamiento. El efluente de la última fase constituye el agua depurada. Para el estudiar el funcionamiento de ambas plantas piloto se tomaron muestras,

tanto del influente como del efluente, a lo largo de tres meses y se determinaron los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos en Suspensión Totales (SST), Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total (PT), Conductividad, pH y oxígeno disuelto. La tabla 3 muestra la caracterización del influente y del efluente de ambas plantas piloto, así como los rendimientos de eliminación de los parámetros estudiados. Si se compara con los valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación del anexo III del Decreto 16/1999 recogidos en la tabla 1, se puede ver que el efluente de la planta que trata el agua residual procedente del procesado de melocotón y pera cumple los requisitos establecidos en el Decreto 16/1999, pero el efluente de la otra planta no. Ello es debido a la peor calidad del influente por un insuficiente pretratamiento; sin embargo se puede comprobar que los rendimientos de eliminación son elevados. Es importante resaltar que la concentración de oxígeno disuelto aumentó a lo largo de las fases de tratamiento. Esto es debido a la difusión de forma natural del oxígeno atmosférico a la zona de depuración, consecuencia tanto del gradiente de concentración como de la demanda ejercida por la materia orgánica. En este sentido, la concentración de oxígeno disuelto no es un factor limitante para el buen funcionamiento de los microorganismos aerobios adheridos al lecho y además supone un ahorro de costes energéticos frente a otros tipos depuración biológica ya que no necesita el aporte externo de oxígeno para mantener las condiciones aerobias.

A la vista de los resultados obtenidos, esta tecnología puede considerarse adecuada para el tratamiento de los efluentes de industrias conserveras siempre que se complemente con un adecuado pretratamiento; debiendo ajustarse el número de fases a las características del agua a tratar

**Bibliografía**

- Alianza por el Agua, 2008. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Ed: Secretariado Alianza por el Agua/Ecología y Desarrollo.
- Ayuso, L.M., Cánovas, J.L., Lloréns, M. y Sáez, J., 2008. Una nueva tecnología para el tratamiento de las aguas residuales de la industria de conservas vegetales. Tecnología del Agua, 303, 48-54.
- Canales, C., Viniegra, V., Arnaiz, A., y Ayuso, M., 2006. Guía de Mejores Técnicas Disponibles del Sector de Transformados Vegetales. Edita Ministerio de Medio Ambiente. 196 pp.
- Decreto 16/1999, de 22 de abril, sobre vertido de aguas residuales industriales al alcantarillado. BORM nº 97.
- Libralato, G., Ghirardini, A.V. and Avezzi, F., 2012. To centralize or decentralize: an overview of the most recent trends in wastewater treatment management. Journal of Environmental Management 94, 61-68.
- Lloréns, M., Pérez-Marín, A.B., Aguilar, M.I., Ortuño, J.F., Sáez, J. y Meseguer, V.F., 2007. Estudio a escala planta piloto de una nueva tecnología para el tratamiento de aguas residuales. CTC Alimentación, 33, 37-42.
- Lloréns, M., Pérez-Marín, A.B., Aguilar, M.I., Sáez, J., Ortuño, J.F. y Meseguer, V.F., 2011. Nitrogen transformation in two subsurface infiltration systems at pilot scale. Ecological Engineering 37(5), 736-743.
- Lloréns, M., Pérez-Marín, A.B., Sáez, J., Aguilar, M.I., Ortuño, J.F., Meseguer, V.F. y Ruiz, J.A., 2015. Sewage treatment with a hybrid constructed soil filter. International Journal of Chemical Reactor Engineering. DOI: 10.1515/ijcre-2015-0008
- MARM, 2011. Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ed: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 9788449110719. Madrid, España.
- Pérez-Marín, A.B., Lloréns, M., Aguilar, M.I., Sáez, J., Ortuño, J.F., Meseguer, V.F. y López-Cabanes, A., 2009. An innovative technology for treating wastewater generated at the University of Murcia. Desalination and Water Treatment 4, 69-75.
- Puigagut, J., Villaseñor, J., Salas, J.J., Bécares, E. y García, J., 2007. Subsurface-flow constructed wetlands in Spain for the sanitation of small communities: a comparative study. Ecol. Eng. 30, 312-319.

Tecnología	Costes de construcción (€/persona)	Costes de operación y mantenimiento (€/persona/año)
Sistemas de lagunaje	250 – 800	8 - 34
Humedales artificiales	250 – 450	18 - 48
Biodiscos	340 – 490	16 - 24
Lechos bacterianos	200 – 700	17 - 25
Fangos activados	100 – 300	22 - 34
Sistema de percolación híbrido	100 – 250	10 - 20

**Tabla 2.** Costes de construcción, operación y mantenimiento de diferentes tecnologías de depuración.



# LIFE+WOGANMBR: REACTORES ANAEROBIOS DE MEMBRANA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES COMPLEJAS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

VICTORINO DÍEZ<sup>A</sup>, CIPRIANO RAMOS<sup>A</sup>, ANA GARCÍA<sup>A</sup>, RAQUEL MARTÍNEZ<sup>A</sup>, ANA PÉREZ<sup>B</sup>, LAURA PÉREZ<sup>B</sup>, IGNACIO MARTÍN<sup>B</sup>, NICOLÁS DE ARESPACOHAGA<sup>B</sup>, NURIA M<sup>B</sup> ARRIBAS<sup>C</sup>  
 (A) DPTO. BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LOS ALIMENTOS. ÁREA DE INGENIERÍA QUÍMICA. UNIVERSIDAD DE BURGOS. WWW.UBU.ES/BIOIND  
 (B) CETAQUA, CENTRO TECNOLÓGICO DEL AGUA. CARRETERA DE ESPLUGUES 75, CORNELLÀ DE LLOBREGAT (BARCELONA). WWW.CETAQUA.COM  
 (C) FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE INDUSTRIAS DE LA ALIMENTACIÓN Y BEBIDAS. C/. VELAZQUEZ, 64, MADRID. WWW.FIAB.ES

LAS INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS PUEDEN GENERAR AGUAS RESIDUALES CON ELEVADO CONTENIDO EN ACEITES Y GRASAS, CON ALTO POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, QUE NORMALMENTE SON RETIRADOS MEDIANTE PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS. EL PROYECTO LIFE+ WOGANMBR PLANTEA UNA SOLUCIÓN INNOVADORA PARA ESTAS AGUAS RESIDUALES QUE COMBINA PROCESOS BIOLÓGICOS ANAEROBIOS CON SISTEMAS DE ULTRAFILTRACIÓN, LO QUE PERMITE OBTENER BIOGÁS, UN EFLUENTE DE EXCELENTE CALIDAD TODO ELLO CON UNA MÍNIMA PRODUCCIÓN DE FANGOS.

La Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) en relación con en el tratamiento de aguas residuales no se limita a exigir niveles de calidad adecuados para el cauce receptor, sino que plantea objetivos más ambiciosos como es la recuperación de recursos, entre otras la posible valorización energética de sus contaminantes. El desarrollo de procesos de tratamiento adaptados al nuevo enfoque medioambiental constituye un reto tecnológico y una oportunidad de fortalecer la actividad económica de los sectores implicados: industria, servicios y centros de investigación.

Los nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales adaptados a este nuevo escenario deben ser eficientes, la producción de fangos debe ser mínima y, como consecuencia del potencial aprovechamiento energético de los contaminantes, los costes de operación pueden ser negativos. El biogás es una fuente de energía renovable que permite la reducción del consumo de combustibles fósiles y la emi-

sión de gases de efecto invernadero, que puede ser fácilmente aprovechado en las propias industrias.

El proyecto LIFE+WOGANMBR “Desarrollo y demostración de AnMBR para el tratamiento y valorización de aguas residuales complejas de industrias alimentarias”, busca eliminar y valorizar sustratos



Planta piloto AnMBR usada en ensayos previos al proyecto WOGANMBR para el tratamiento de aguas residuales industriales.

complejos mediante un proceso de digestión anaerobia apoyado por un sistema de ultrafiltración. La tecnología AnMBR (*Anaerobic Membrane Bioreactor*) combina la depuración biológica anaerobia, generadora de biogás, con la tecnología de membranas que, además de garantizar la retención de biomasa, permite obtener efluentes de elevada calidad. Para comprender mejor la selección de esta tecnología se debe profundizar en los problemas que los aceites y grasas y otros sustratos complejos provocan en los procesos biológicos convencionales, en particular en el tratamiento anaerobio.

La biodegradación de los aceites y grasas es un proceso lento, en el que se generan productos intermedios potencialmente inhibitorios para los microorganismos anaerobios y que tienden a acumularse sobre la biomasa, alterando su capacidad de absorción de otros contaminantes del agua. Por ello, las aguas residuales se desengrasan previamente mediante procesos en los que se añaden reactivos para



Fangos grasos separados en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la preparación de precocinados.

coagulación y floculación de los aceites y grasas dispersos, combinados con etapas de flotación en las que finalmente los aceites y grasas son separados como fangos de flotación. Estos fangos deben ser deshidratados y retirados por un gestor de residuos autorizado, siendo el coste de gestión uno de los más importantes del proceso global de depuración. Por último, se debe considerar que los procesos de coagulación y floculación son eficaces en la separación de materiales en suspensión y en estado coloidal, pero no en la eliminación de la materia orgánica en disolución.

De acuerdo con su naturaleza química y función biológica, los aceites y grasas poseen un alto potencial energético, esto significa, que mediante la digestión anaerobia se obtiene una mayor cantidad de biogás y con mayor concentración de metano, que el generado a partir de otros contaminantes orgánicos, proteínas e hidratos de carbono, presentes en las aguas residuales. En este sentido, el pre-desengrasado de las aguas residuales, además de aumentar los costes de gestión, impide el aprovechamiento del sustrato con mayor valor energético.

Por otro lado, la baja tasa de crecimiento de los microorganismos anaerobios, es otra de las ventajas destacadas de la tecnología anaerobia frente a los procesos aerobios convencionales, menor producción de fangos, a la que hay que añadir el ahorro de los costes de aireación.

Finalmente, la integración de un sistema de ultrafiltración en el proceso AnMBR permite obtener efluentes de calidad óptima tanto desde el punto de vista físico-químico como microbiológico.

Para favorecer el proceso biológico puede ser conveniente calentar el agua a temperatura cercana a 35°C, lo que representa un consumo energético al que se debe añadir el invertido e la filtración, asociada a la agitación por burbujeo en los sistemas sumergidos, o el empleado para el bombeo en los sistemas de membranas externas. En cualquier caso, la energía obtenida del aprovechamiento del biogás supera la demanda indicada.

En el proyecto LIFE+ WOGAnMBR se demostrará la viabilidad técnico-económica y ambiental de un sistema de tratamiento innovador compuesto por un digestor anaerobio de flujo ascendente con una elevada concentración de fangos, carente de dispositivos internos de separación de fases, y cuyo efluente es derivado a un



Reunión de consorcio del proyecto WOGAnMBR.

proceso de filtración externo, en el que la biomasa es retenida por completo mediante membranas sumergidas en un tanque de filtración o membranas externas tubulares, agitadas por el burbujeo del biogás. En ambos casos el efecto *gas-lift*, asociado a la agitación por burbujeo, favorecerá el retorno del rechazo de la filtración al reactor anaerobio.

El proyecto lo están realizando 5 socios de diferente perfil: dos industrias alimentarias, Eurofrits y PepsiCo Manufacturing, la Federación Española de Industrias de Alimentación y Bebidas, un centro tecnológico del ámbito del agua, Cetaqua, y la Universidad de Burgos. Cetaqua, que cuenta con un reconocido prestigio en el desarrollo de tecnologías sostenibles vinculadas al ciclo del agua, aporta su experiencia en la selección de las mem-

branas, diseño del prototipo y análisis de ciclo de vida y de costes. La Federación Española de Industrias de Alimentación y Bebidas constituye el enlace con los usuarios finales de la tecnología, siendo esencial en la difusión de los resultados del proyecto y el establecimiento de vínculos con otras entidades relacionadas en el ámbito de la temática del proyecto. Eurofrits y PepsiCo Manufacturing son dos empresas relevantes del sector agroalimentario que participan en la implementación del prototipo en condiciones reales de operación, mediante el tratamiento directo de sus vertidos, adecuándolo a los recursos técnicos y humanos propios de industrias del sector. Como coordinador, se encuentra la Universidad de Burgos, en concreto el grupo de investigación en Biotecnología Industrial y Medioambiental (BIOIND), dirigido al desarrollo de soluciones a problemas medioambientales, con una amplia experiencia en el tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria.

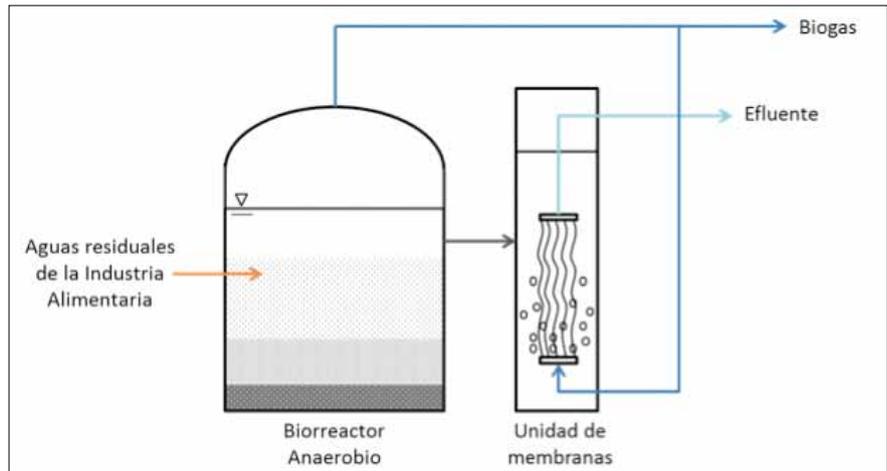
Dentro de las acciones preparatorias se han detectado los distintos vertidos de las dos fábricas participantes en el proyecto, observando variaciones importantes de composición, identificando vertidos que por su caudal o concentración tienen capacidad de alterar las características del vertido global. Se han realizado ensayos de biodegradabilidad anaerobia de las principales corrientes residuales generadas por las dos industrias, empleando como inóculo el mismo fango que más adelante será utilizado en la puesta en marcha del reactor anaerobio AnMBR. Además se está utilizando un reactor escala laboratorio del mismo tipo e idéntico fango para evaluar el efecto de condiciones de operación externas, y que servirá como referencia en la operación del piloto demostrativo de este proyecto.

En lo que concierne a las membranas, Cetaqua ha efectuado las pruebas para determinar el tipo de membrana que mejores resultados ofrece en relación con los costes de inversión y operación. En la primera fase se han ensayado membra-

nas sumergidas de fibras huecas, membranas tubulares externas poliméricas y cerámicas, operadas con y sin burbujeo de biogás. En una segunda fase se seleccionarán las mejores condiciones de funcionamiento, optimizando tanto los ciclos de operación como las estrategias de mantenimiento y limpieza.

El diseño y construcción del piloto demostrativo, permitirá la operación flexible desacoplando los procesos individuales de modo que tanto la filtración como la digestión anaerobia puedan ser optimizadas por separado. El registro y control en continuo de los principales parámetros de operación permitirá establecer estrategias de control predictivas, minimizando los tiempos de parada de la planta.

Los resultados esperados de la implementación de esta tecnología son la completa valorización de los aceites y grasas presentes en las aguas residuales con producción de biogás, sin el uso de



Esquema piloto demostrativo AnMBR

reactivos químicos, con la consiguiente reducción en la producción de gases de efecto invernadero y fangos de depuración, demostrando y sensibilizando al personal de las empresas de hasta qué punto el uso racional del agua facilita el tratamiento y la eficiencia energética del sistema, aumentando su competitividad y

mejorando su apreciación pública sobre el desarrollo ambientalmente sostenible.

**Agradecimiento**

Los autores agradecen el soporte económico del programa LIFE+ para el desarrollo del proyecto WOGAnMBR (LIFE13 ENV/ES/000779).



**Soluciones de principio a fin**

En Electromain somos expertos en la automatización de la industria.

Contamos con un equipo humano compuesto por profesionales altamente cualificados.

Ofrecemos a nuestros clientes un servicio integral: **Venta de material para la automatización industrial, Asesoramiento técnico y formación.**

Todo ello con la garantía de la mejor calidad, como lo asegura nuestra certificación ISO 9001.

**TODO EN AUTOMATISMO INDUSTRIAL**

Central Murcia  
Polígono Industrial El Tapiado  
C/ La Conserva, S/N • 30500 Molina de Segura (Murcia)  
Telf. 968 389 005 • Fax 968 611 100  
electromain@electromain.com  
www.electromain.com

Delegación Almería  
Parque Industrial El Real  
C/ Mojana, 5 • 04628 Antas (Almería)  
Telf. 950 393 188 • Fax 950 390 264  
antas@electromain.com  
www.electromain.com



# ¿QUÉ TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE NUESTRO PLAN MAESTRO DE LIMPIEZA?

POR CLAUDIO GOLDARBEITER<sup>1</sup>, EULEN ALIMENTARIA<sup>2</sup>



LA PRIMERA IMAGEN QUE ACUDE A LA MENTE CUANDO SE HABLA DE LIMPIEZA ES LA DE UNA ACTIVIDAD SIMPLE QUE CUALQUIERA PUEDE HACER SIN NINGUNA CAPACITACIÓN. PERO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA LA LIMPIEZA TOMA UN SENTIDO ESPECIAL, NO TIENE UNA FINALIDAD ESTÉTICA, ES UNA PARTE DEL PROCESO PRODUCTIVO.

Y como tal parte del proceso, debe ser tratada de igual forma, esto es analizar los procedimientos y costos a fin de controlar su coste y efectividad.

Razones por las cuales el proceso de limpieza debe estar en manos de personal especializado, con los conocimientos adecuados y dotado con medios técnicos avanzados.

Es necesario un análisis conjunto entre economía y calidad del producto, a nivel de la empresa.

Como cualquier proceso, la limpieza plantea costes fijos y costes variables.

Los costes fijos están fuertemente influi-

dos por el Diseño Higiénico, en el que es fundamental la etapa de planificación. Un diseño defectuoso va a obligar a sobredimensionar los medios de limpieza, ya sea el personal, los utensilios o productos. Los costes fijos tienden a aumentar hacia el infinito en el caso de un diseño

**“LAS METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SE ESTÁN CONVIRTIENDO EN PARTE DEL KNOW-HOW EN LA INDUSTRIA”**

defectuoso, con lo que en la mayoría de los casos, lo que se hace es una limpieza deficiente para mantener esos costes bajo control, con lo que el resultado es la no eliminación de la contaminación y el riesgo de producto se incrementa.

Desgraciadamente en el diseño higiénico de instalaciones Agroalimentarias queda mucho que hacer.

Vamos a poner algunos ejemplos de la vida real:

Sistemas de Ventilación-extracción: No

<sup>1</sup> cgoldarbeiter@eulen.com.

<sup>2</sup> EULEN Alimentaria es una división del Grupo EULEN.

poner las salidas de los difusores debajo de las líneas de producción, si no es posible una alternativa sería las mangas. El sistema de extracción debe estar en marcha durante las labores de limpieza, acaban goteando sobre el proceso productivo una vez terminado este.

Desagües, no se deben colocar desagües ni registros debajo de las máquinas. Y no olvidar que una línea de desagüe ubicada en una zona donde el tipo de limpieza es sin aporte de agua, se convierte con el tiempo en una fuente de contaminación.

Las metodologías de diseño y de aseguramiento de la calidad se están convirtiendo en parte del *know-how* en la industria. En relación a los costes variables o directos, el modelo de Feigenbaum (1974), modelo de costo de calidad PAF (Prevención- Evaluación- Fallas) es un buen modelo como punto de partida para analizar y realizar una reflexión interna de la decisión estratégica en lo relativo al punto óptimo de inversión-coste en temas de higienización.

Pueden ser divididos en tres categorías: Costos de prevención. Los costos de cualquier acción dedicada a investigar, prevenir o reducir los defectos y las fallas.

Costos de evaluación. Los costos para evaluar y registrar la calidad lograda.

Costos de fallas internas y externas. Los costes de fallas externas son los defectos detectados en casa de nuestros clientes, es probablemente la más cara de todas como son la inocuidad, prestigio (imagen de marca).

La aplicación de HACCP, un buen Plan Maestro Limpieza (PML) y el diseño de nuevas plantas, permiten que algunos costos de prevención puedan ser eliminados a través de un apropiado diseño y construcción de las máquinas, del local, de los equipos y de las líneas de procesamiento.

Los costes variables de limpieza son los relacionados con la cantidad de limpieza que se realiza y son fundamentalmente, los productos y la mano de obra, que deben estar lo más exactamente planificados para evitar sobrecostes o infralimpiezas.

En la elaboración de un Programa de Higiene hay que tener en cuenta el Principio de la Separación física por productos, de zonas de limpieza húmeda y seca, entre líneas capaces de originar contaminación cruzada.

El Principio de Zonificación, diferenciando:

Zona alimentaria: que comprende todas las superficies en contacto directo con los alimentos.

### “EL PROGRAMA DE HIGIENE DEBERÁ ESTAR ELABORADO A PARTIR DEL ESTUDIO DE LOS RIESGOS DE LA INSTALACIÓN Y DEL PROCESO”

Zona de salpicaduras: que está constituida por las superficies que pueden recibir proyecciones o salpicaduras de alimentos, en las condiciones normales de utilización.

Zona no alimentaria: que no entra jamás en contacto con los productos alimenticios.

El Programa de Higiene deberá estar elaborado a partir del estudio de los riesgos de la instalación y del proceso, evaluando las posibilidades de contaminación por agentes físicos, químicos y biológicos.

En relación a los contaminantes físicos un fallo común es la introducción de objetos o equipos que no han sido higienizados o lo han sido de forma incompleta o la introducción de elementos que puedan pasar a formar parte de la cadena productiva.

La contaminación química donde un exceso de producto químico o una mala operación de enjuague pueden convertirse en un contaminante del proceso productivo.

Si el producto químico ataca las superficies, estas, aparte de perder las propiedades para las que fueron concebidas, pueden convertirse en una fuente de contaminación para el proceso productivo.

Recordar que los desinfectantes utilizados en las Industrias Agroalimentarias han de disponer de registro HA, en función del tipo de principio activo y cómo se haya procedido a su registro pueden estar

clasificados como de uso profesional o de uso especializado (estos requieren que el aplicador este en posesión del título de aplicador de biocidas).

Una de las decisiones dentro de nuestro PML es la elección del principio activo cara a la desinfección, a tal efecto es bueno tener en cuenta los fenómenos de resistencia microbiana:

Resistencia aparente, cuando la concentración de aplicación está próxima al umbral de inhibición, se observa una destrucción incompleta de la flora bacteriana y una selección de las cepas más resistentes.

Resistencia aparente, en general, el gradiente de la dificultad de destrucción que presentan sería la siguiente (de más fácil a más difícil):

**Gram+ < Gram- < Levaduras < Hongos < Virus < Esporas bacterianas.**

Resistencia adquirida, este tipo de resistencia proviene de una modificación genética, entre ellas los principios activos como los amonios cuaternarios, los fenoles y los tensioactivos anfóteros. Este tipo de resistencia no puede existir con productos clorados, yodados u oxidantes ya que no poseen una acción selectiva sobre el material celular.

En relación a la contaminación biológica, solo comentar que en las zonas de limpieza deficiente pueden generar biofilms, que son fenómenos de adhesión microbiana a las superficies que pueden proporcionar un alto grado de resistencia frente a la mayoría de desinfectantes químicos habitualmente empleados así como a la temperatura.

### “UNA DE LAS DECISIONES DENTRO DE NUESTRO PML ES LA ELECCIÓN DEL PRINCIPIO ACTIVO CARA A LA DESINFECCIÓN”

Es conveniente realizar limpiezas intermedias durante el proceso productivo, resanalizaciones, con objeto de bajar la carga microbiana, y evitar en la medida de lo posible a la fase exponencial de crecimiento.

La Desinfección ambiental o aérea debe considerarse como un recurso adicional para “intentar desinfectar” aquellas partes no accesibles de la instalación sobre todo a nivel de zonas altas. No hay que olvidar que para que la desinfección sea eficaz primero hay que limpiar el sustrato en el que están contenidos.

**“CON TIEMPOS DE DESECACIÓN DE SEIS HORAS A 20°C Y AL 50% DE HUMEDAD RELATIVA AMBIENTAL, YA SE FORMAN SÓLIDAS COSTRAS EN LAS SUPERFICIES”**

#### **¿Cómo condicionan los residuos el tipo de Limpieza?**

La capacidad de adherencia de la suciedad depende de:

- Las irregularidades de las superficies de contacto.
- Las fuerzas eléctricas de atracción, que originan depósitos de proteínas con carga eléctrica contraria en las superficies e incluso puentes de hidrógeno.
- Los materiales, donde participan también acciones hidrófobas recíprocas.

Con tiempos de desecación de seis horas a 20° C y al 50% de humedad relativa ambiental, ya se forman sólidas costras en las superficies.

#### **¿Cuál es la metodología de limpieza más apropiada a cada instalación?**

Para determinar el sistema de limpieza a implementar en nuestras instalaciones, el punto de partida ha de ser:

- Aw (actividad del agua), para valores por debajo de 0,6 se recomienda una limpieza en seco por la poca proliferación de microorganismos, para valores superiores a 0.98, sin duda un sistema vía húmeda, y el rango intermedio a analizar acorde con los puntos críticos de la instalación.
- IP Protección, dentro de la limpieza húmeda la utilización de equipos de media presión, limpieza con vapor e incluso limpieza criogénica lo determinará la sensibi-

lidad de nuestra instalación, recordar que la segunda cifra es la que determina la protección contra la penetración del agua.

– Los materiales existentes acorde a:

- Estabilidad a la temperatura y los productos químicos, para los aceros inoxidables acorde con la clasificación AISI.
- Capacidad de absorción de partes de producto.
- El estado y rugosidad de las superficies. Existen distintas Normas como la DIN 11780 al respecto.

Partiendo de estas premisas se abre un amplio abanico de metodologías y técnicas que una vez definidas han de medios que deben quedar reflejados en nuestro Plan Maestro de Limpieza.

#### **¿Tiene sentido dedicar tiempo a supervisar la limpieza?**

Cuando falla la limpieza y desinfección la responsabilidad final recae sobre los operarios que la realizan. Para ello es necesario una formación y adiestramiento. Pero una vez el personal está formado, hay que revisar que lo hagan correctamente.

A tal efecto lo suyo es diferenciar el proceso en dos fases sucesivas y complementarias:

##### **• Validación o Control de Proceso de limpieza**

Obtención de pruebas documentadas que demuestran que el método de limpieza es lo suficientemente fiable como para reducir de manera constante los residuos por debajo del nivel aceptable predeterminado.

Una forma segura de dimensionarlo es partiendo del estudio del peor caso que se basa en asumir que si limpiamos nuestro equipo después de un producto muy difícil de limpiar, seremos capaces de limpiar nuestro equipo con mayor facilidad tras un producto menos difícil.

##### **• Verificación o Control de resultados de limpieza**

Obtención de pruebas documentadas que demuestran que el método de limpieza definido en el Control de Procesos y que constituye le PML está obteniendo los resultados previstos acorde con las exigencias de nuestro producto.

**“RECOMENDAMOS LA IMPLANTACIÓN DE UN INDICADOR DEL PROCESO DE LIMPIEZA PARA PARAMETRIZAR Y PODER EVALUAR LA EFICACIA DE LA LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN”**

Los procedimientos de supervisión se basan la Inspección visual de la limpieza aparente.

– Control diario por parte del Encargado del servicio de Limpieza y el Jefe de Línea.

– Control periódico por parte del Supervisor externo del servicio de Limpieza y el Responsable de Calidad.

– Controles microbiológicos mediante análisis de las muestras procedentes de las superficies de las instalaciones y utensilios, y del medio ambiente. Al no estar establecida la periodicidad de los controles ni los recuentos microbiológicos permitidos, se recomienda que cada empresa fije su “estándar de higiene” como conclusión a los muestreos y análisis repetidos y vaya aumentando su nivel progresivamente.

Recomendamos la implantación de un Indicador del Proceso de Limpieza para parametrizar y poder evaluar la eficacia de la limpieza y desinfección.

**• COMO HEMOS VISTO Y DECÍAMOS AL INICIO DE ESTE ARTÍCULO, LA ACTIVIDAD DE LIMPIEZA NO ES UNA COSA SENCILLA QUE TODO EL MUNDO PUEDE HACER, SINO QUE ES UNA ACTIVIDAD QUE REQUIERE DE UN IMPORTANTE GRADO DE ESPECIALIZACIÓN Y PREPARACIÓN, ES UNA PARTE IMPORTANTE DEL PROCESO CUYO VALOR NO SE PUEDE MENOSPICIAR, UN SERVICIO CUYA EFICACIA NO TODOS PUEDEN GARANTIZAR.**

# GESTIÓN DE SALMUERAS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

SANDRA MECA, XAVIER MARTÍNEZ. FUNDACIÓ CTM CENTRE TECNOLÒGIC, PLAÇA DE LA CIÈNCIA 2, 08242 MANRESA (ESPAÑA)  
CONTACTO: XAVIER MARTÍNEZ / E-MAIL: XAVIER.MARTINEZ@CTM.COM.ES / Tf. 93 877 73 73



LA SAL ES UTILIZADA EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS, SIENDO LAS INDUSTRIAS MAYORES CONSUMIDORAS DE ESTE PRODUCTO LAS DE ENCURTIDOS, LAS DE PRODUCTOS LÁCTEOS, PROCESADO DE PESCADO Y CONSERVAS. EL USO DE SAL EN ESTAS INDUSTRIAS HACE QUE SE GENEREN EFLUENTES RESIDUALES (SALMUERAS, SOLUCIONES OSMÓTICAS Y AGUAS RESIDUALES SALINAS) CARACTERIZADOS POR SU ELEVADA SALINIDAD Y ELEVADO CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA.

Por su composición, no pueden ser vertidas directamente al sistema de alcantarillado sin un tratamiento previo, pero su depuración es poco viable con las tecnologías convencionales como la depuración físico-química y la depuración biológica. Por otro lado, la gestión de estos efluentes supone un elevado coste para las empresas.

## Estrategias para la gestión de salmueras

Se pueden definir diferentes rutas para la gestión de las salmueras. La primera ruta a considerar es limitar la cantidad de salmuera o si es posible evitar su producción mediante la modificación de los procesos industriales. En algunos casos no existen alternativas tecnológicas y no se puede

evitar el uso de salmueras. Otras veces, la modificación del proceso implica grandes cambios y elevadas inversiones que las empresas no pueden implementar.

Como alternativa, se puede plantear la valorización de las salmueras, ya sea mediante su reutilización dentro del mismo proceso productivo o utilizándolas como recurso para la obtención de productos específicos que puedan ser utilizados en otras industrias. En cualquiera de los dos casos deberá realizarse un tratamiento que permita cumplir con los requerimientos de calidad necesarios dependiendo de su uso.

Como última opción, puede considerarse la disposición final. Esta opción es la menos favorable pero es inevitable para de-

terminadas salmueras que son muy difíciles de tratar y por lo tanto de valorizar. En este caso, se requiere aplicar tratamientos que permitan reducir el volumen a gestionar e incluso eliminar completamente el agua, y así reducir el coste debido a su disposición.

Los procesos de descarga líquida cero (ZLD) permiten eliminar todo el agua de las salmueras obteniendo un residuo sólido que puede gestionarse en vertederos, o en algunos casos valorizarse. Para su disposición en vertederos deben realizarse los ensayos pertinentes para definir su grado de toxicidad.

## Tecnologías para el tratamiento de salmueras

Para la implementación de las estrategias mencionadas es necesario tratar la salmuera ya sea para purificarla, recuperar compuestos específicos o reducir su volumen. En la Tabla 1 se muestran las tecnologías existentes actualmente, indicándose las ventajas e inconvenientes para cada una de ellas.

## Algunas experiencias en la industria alimentaria

En el caso de las salmueras producidas en la industria alimentaria la reutilización dentro del mismo proceso suele ser la opción más atractiva, ya que los contaminantes que contiene la salmuera son específicos del proceso. Aún así, hay que eliminar algunos componentes, normalmente materia orgánica, para su reutilización. Asimismo, la aplicación de tecnologías como la de membranas, que permiten recuperar agua que puede ser reutilizada, también es una opción prometedora.

Muchas empresas ya están trabajando

Tecnología	Ventajas	Desventajas
<b>Membranas diferencia de presión</b> -Microfiltración (MF) -Ultrafiltración (UF) -Nanofiltración (NF) -Ósmosis inversa (RO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación de agua.</li> <li>• Versatilidad y muchas posibilidades de separación.</li> <li>• Selectividad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado coste.</li> <li>• Necesario un pretratamiento para algunas tecnologías (eliminación de sólidos).</li> <li>• Problemas de ensuciamiento (scaling).</li> <li>• Gestión del concentrado.</li> <li>• Límite de concentración.</li> </ul>
Electrodialísis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperación de agua.</li> <li>• Recuperación de compuestos o producción de ácidos/bases (EDBM).</li> <li>• Adecuada para efluentes de muy elevada salinidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado coste.</li> <li>• Necesario un pretratamiento en algunos casos (eliminación de sólidos).</li> <li>• Problemas de ensuciamiento (scaling).</li> <li>• No separa las especies neutras.</li> <li>• Gestión del concentrado.</li> </ul>
Evaporación mecánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite ZLD.</li> <li>• Permite explotar el concentrado comercialmente.</li> <li>• Recuperación de sal y minerales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste elevado.</li> <li>• Elevado consumo de energía.</li> <li>• Producción de un residuo sólido que debe ser gestionado /valorizado.</li> <li>• Corrosión y ensuciamiento.</li> </ul>
Evaporación solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite ZLD.</li> <li>• Recuperación de sal y minerales.</li> <li>• No consume energía.</li> <li>• Costes de inversión y mantenimiento moderados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de un residuo sólido que debe ser gestionado /valorizado.</li> <li>• Requiere área de terreno elevada.</li> <li>• Baja productividad.</li> </ul>

Tabla 1. Tecnologías existentes para el tratamiento de salmueras [1, 2, 3, 4].

desde hace años en solucionar los problemas asociados a las salmueras aplicando estrategias de valorización que les permiten reutilizar el agua de la salmuera. Así por ejemplo, La Española, como resultado del proyecto de I+D+i Recisal, ha conseguido la reutilización del agua residual de las salmueras. Mediante el empleo de últimas tecnologías de evaporación y oxidación avanzada, se aprovecha el agua regenerada (900 litros por cada 1000 litros de salmuera) en el propio pro-

ceso productivo. El residuo sólido salino tiene un uso potencial como complemento alimenticio para alimentación animal. La implementación del proceso propuesto permite reducir el consumo de agua y los costes asociados a la gestión de la salmuera residual. En California, una de las principales industrias productoras de aceitunas, Tri Valley Growers (TVG) Inc., implementó un proceso de descarga líquida cero basado en la combinación de tecnología de

membranas [5]. El proceso desarrollado le permite a la empresa reutilizar un 80% de la salmuera.

También se han desarrollado procesos para tratar lactosueros salinos, como el comercializado por KMS Membrane Filtration Technologies (Figura 1). En este caso, el proceso, basado en tecnología de membranas, permite por un lado regenerar la salmuera para reutilizarla dentro del proceso y a la vez recuperar un producto de valor como la lactosa.

**Life+ ZELDA**

El proyecto ZELDA (“Zero Liquid Discharge Desalination: brine treatment based on electrodialysis methatesis and valuable compounds recovery”) [6] está cofinanciado por el programa Life+ de la Unión Europea [7]. El proyecto, ejecutado por importantes empresas del sector del agua tiene como objetivo desarrollar un nuevo proceso para el tratamiento de salmueras.

**“LOS PROCESOS DE DESCARGA LÍQUIDA CERO (ZLD) PERMITEN ELIMINAR TODO EL AGUA DE LAS SALMUERAS OBTENIENDO UN RESIDUO SÓLIDO QUE PUEDE GESTIONARSE EN VERTEDEROS”**

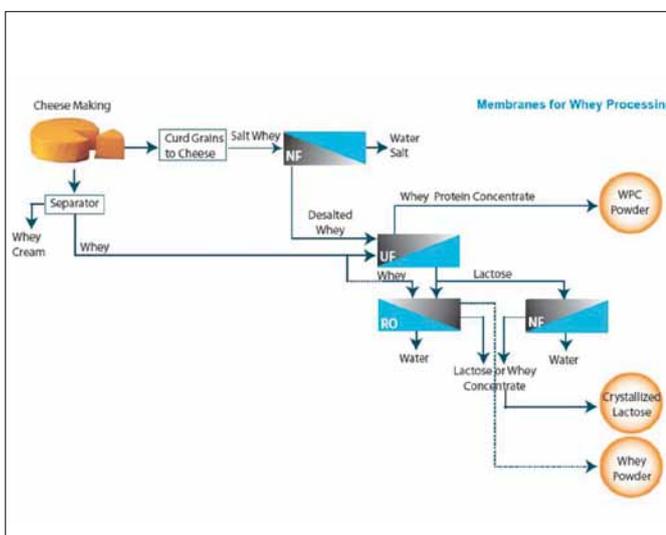


Figura 1. Esquema del proceso desarrollado por KMS Membrane Filtration Technologies [6].

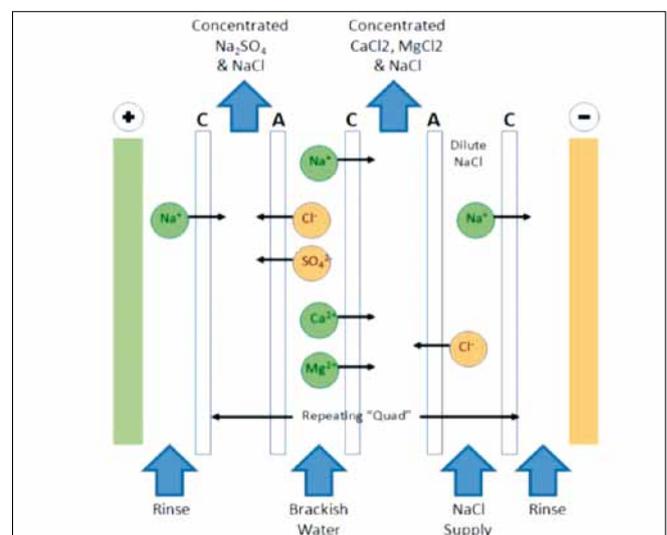


Figura 2. Configuración la tecnología electrodialísis metátesis.

El nuevo proceso se basa en el uso de la electrodiálisis metátesis (EDM) y procesos de recuperación de compuestos de valor con el objetivo final de alcanzar un proceso de descarga líquida cero (ZLD).

El proceso se está evaluando para tratar salmueras procedentes de la desalación de agua de mar y agua salobre, aunque presenta una gran versatilidad que permite su adaptación a otro tipo de salmueras.

La electrodiálisis metátesis (EDM), tecnología desarrollada por investigadores de la South Carolina University, es una nueva configuración de la electrodiálisis que permite aumentar la recuperación de agua con respecto a la electrodiálisis convencional. Mediante EDM se obtienen dos corrientes concentradas que contienen sales altamente solubles: una contiene sodio con aniones y otra con cloruros y cationes de modo que se evita la precipitación de sales como el  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  o el  $\text{CaCO}_3$ .

Las dos corrientes obtenidas son tratadas en una segunda etapa en la que se favorece la precipitación de compuestos de valor mediante la adición de productos químicos, obteniéndose después de dicho tratamiento una corriente pura de sal, que puede ser valorizada, después de una etapa de concentración y evaporación.

La etapa de precipitación, llevada a cabo en reactores y cristalizadores, debe diseñarse en función de la composición de la salmuera a tratar. Así pues existe un gran número de opciones para obtener diferentes compuestos dependiendo del origen de la salmuera.

En el proyecto se evaluará como etapa final la evaporación solar avanzada, tecnología que está desarrollando Fundació CTM Centre Tecnològic, que es la empresa coordinadora del proyecto ZELDA.

La tecnología de evaporación solar avanzada tiene como objetivo intensificar la evaporación natural, convirtiéndola en un proceso industrial de tratamiento de residuos, reduciendo la superficie necesaria y asegurando la fiabilidad del tratamiento. Esta tecnología está diseñada para ser integrada dentro de un proceso de des-

carga líquida cero (ZLD). La eliminación del contenido en agua de los efluentes residuales facilita el transporte y/o disposición del residuo seco en plantas de tratamiento adecuadas, y disminuye el coste asociado a la gestión. A diferencia de otras tecnologías de evaporación, el uso exclusivo del recurso solar reduce muy significativamente los costes energéticos de tratamiento. La solución desarrollada permite la evaporación del contenido en agua a razón de 1,4 a 2  $\text{m}^3/\text{m}^2$  al año y requiere de volumen de almacenamiento, dado que la productividad depende de la estación del año, acumulando residuo en la estación fría que es eliminado durante la estación cálida.

La intensificación de la evaporación natural está basada en la optimización de todos los parámetros que intervienen en el fenómeno evaporativo, como son: protección contra la precipitación, transmisividad de la radiación solar en la cubierta, absorptividad solar de la balsa, volumen de aire contenido, así como un control de la humedad y la temperatura empleando algoritmos de inteligencia artificial, que toman las decisiones óptimas sobre la operación de la planta, respecto a las renovaciones del aire contenido y la introducción de nuevo efluente en la balsa. Los algoritmos inteligentes mencionados permiten además un auto aprendizaje del sistema, a partir de un período de aprendizaje, toman las mejores decisiones basadas en la experiencia de la propia planta.

Finalmente, añadir que esta tecnología está en desarrollo. Durante el proyecto ZELDA se demostrará su productividad, y los siguientes pasos son determinar su eficiencia para otros tipos de efluentes, evaluar sistemas de recuperación del agua evaporada y añadir tratamientos previos a las corrientes que permitan procesar efluentes con elevados contenidos en materia orgánica, como es el caso de las salmueras generadas en la industria agroalimentaria.

En la Figura 3 se muestra el diseño de la planta piloto de evaporación solar avanzada, diseñada por CTM, que se evaluará

en el proyecto ZELDA.

El proceso EDM-ZLD se evaluará a escala piloto. En estos momentos, se está finalizando la construcción de la planta piloto, que se instalará en la planta desaladora de Almería. A partir de julio de 2015 y a lo largo de dos años se evaluará el nuevo proceso con diferentes tipos de salmuera y se determinará su impacto ambiental y coste económico mediante el uso de metodologías para el análisis del ciclo de vida y ciclo de costes (LCA y LCC).

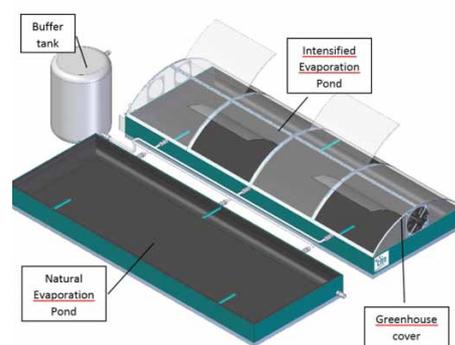


Figura 3. Balsas de evaporación (natural y forzada) que se van a evaluar en el proyecto ZELDA.

## Referencias

- [1] WssTP Report (February 2012). Brines Management. Research and Technology Development Needs Water in Industry.
- [2] Barranco, C.; Brenes, M.; García, P.; Garrido, A. (2001) Management of spent brines or osmotic solutions. *Journal of Food Engineering* 49 (2-3), 237-246.
- [3] Lefebvre, O.; Moletta, R. (2006) Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. *Water Research* 40, 3671-3682.
- [4] A. Pérez-González, A.; Urtiaga, A.M.; Ibáñez, R.; Ortiz, I. (2012) State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates. *Water Research* 46, 267-283.
- [5] California Energy Commission (2000). Membrane filtration installation at oberti olive division of tri valley growers. Analysis of Business, Environmental and Energy Issues.
- [6] <http://www.kochmembrane.com/Resources/Brochures.aspx>.
- [6] WEB Proyecto Life+ ZELDA LIFE12 ENV/ES/000901: <http://life-zelda.eu/en>.
- [7] WEB Proyectos LIFE+ Unión Europea: <http://ec.europa.eu/environment/life/>.

# REDUCCIÓN DE LODOS GENERADOS EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

CANUT, J. DONATO, R. SÁEZ. SOLUCIONES INDUSTRIALES Y TRATAMIENTOS AMBIENTALES, S.L. (SITRA)

EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LOS PROCESOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS DE LAS EDAR CONSTITUYE UNA PARTE FUNDAMENTAL DE LAS PLANTAS, DADO QUE LA PRODUCCIÓN DE ESTOS RESIDUOS IMPLICA TENER QUE GESTIONARLOS PARA EVACUARLOS DE LA EXPLOTACIÓN. EL COSTE DE LA GESTIÓN DE LOS LODOS, PUEDE LLEGAR A SUPONER UN 50% DE LOS COSTES DE EXPLOTACIÓN DE LA DEPURADORA. POR ESTE MOTIVO, EN CUANTO AL TRATAMIENTO DE LODOS, LAS PRINCIPALES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN QUE SE ESTÁN DESARROLLANDO EN ESTOS MOMENTOS EN EL SECTOR, SE BASAN EN EL DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MINIMIZAR LA GENERACIÓN DE LODOS EN LA LÍNEA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL, ADEMÁS DE EN LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE ESTE TIPO DE RESIDUOS.

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) son instalaciones donde se trata por diversos procesos las aguas residuales. Atendiendo al origen de esta agua, las depuradoras se pueden clasificar en depuradoras industriales; cuando tratan aguas procedentes de la industria y depuradoras urbanas; cuando tratan aguas procedentes de las áreas urbanas. Las principales diferencias entre estos dos tipos de agua residual (sobre todo en las aguas residuales procedentes de industrias agroalimentarias) es la cantidad de materia orgánica y materia inorgánica en suspensión, coloidal y disuelta. Generalmente, las aguas residuales industriales presentan una mayor carga contaminante, nutrientes descompensados, contaminantes específicos y por ello, requieren de unos tratamientos específicos para su tratamiento.

Habitualmente, un proceso de depuración consta de un pre-tratamiento con coagulación-floculación para eliminar sólidos, seguido de una clarificación o decantación primaria, donde las aguas son separadas de los lodos, los cuales en este

punto del proceso, se denominan lodos primarios. Posteriormente, el agua pasa a un tratamiento secundario que consta en primer lugar, de un tratamiento biológico donde mayoritariamente se reduce la carga contaminante del agua y después; una decantación secundaria o clarificación, donde se vuelve a separar el agua de los lodos secundarios. El agua sale de la EDAR y puede ser vertida a cauce público o ser reutilizada en el proceso industrial, siempre y cuando se le aplique un tratamiento terciario que permita que el agua tratada disponga de la calidad óptima para poder ser reutilizada.

## **Estrategias para la reducción de lodos en EDAR**

El tratamiento y gestión de fangos, se está convirtiendo en uno de los problemas más importantes de un gran número de plantas depuradoras. Los objetivos que actualmente se plantean, para la mejora del tratamiento de los lodos de EDAR se resumen en los siguientes:

- Reducción de la cantidad de lodos en la línea de agua y el volumen final genera-

do, con lo que se disminuirán los costes en la gestión de lodos y su disposición final.

- Reducción del porcentaje de sólidos suspendidos volátiles (SSV), estabilizando y reduciendo la presencia de patógenos y evitando la producción de malos olores.

- Recuperar compuestos de valor o de energía de los lodos generados, maximizando los beneficios potenciales de su tratamiento.

Para conseguir estos objetivos fundamentales en la línea de fangos de las EDAR, se realizan una serie de procesos básicos asociados a cada una de las tecnologías de tratamiento de lodos. Estos son:

- Espesamiento: por gravedad o por flotación.

- Estabilización: por digestión aerobia, digestión anaerobia (biometanización) o compostaje (tras el proceso de deshidratación).

- Deshidratación: por filtros banda, centrífugas y filtros prensa.

La línea de tratamiento de lodos comienza con el espesado de los lodos primarios y secundarios que consiste en un prepro-

cesado de los lodos antes de la deshidratación en un tanque que con ayuda de la gravedad, provoca la sedimentación de las partículas a unas piquetas que mediante el lento giro del espesador, provocado por un grupo motorreductor, envían los fangos a la parte inferior del mismo donde se incrementa la proporción de materia sólida y unas barrederas los evacúan. Este proceso también se puede producir por la flotación de los fangos obteniendo fango concentrado como resultado de la unión de burbujas de aire a los sólidos, lo que provoca una reducción de la densidad de los mismos hasta valores inferiores a los del agua.

Posteriormente, los lodos son estabilizados para disminuir su capacidad de producción de olores y putrefacción rápida. Así mismo, se produce la higienización del fango para obtener un producto libre de patógenos. Existen diversos métodos de estabilización: Estabilización con cal, higienización térmica (pasteurización), digestión anaerobia, digestión aerobia y compostaje, aunque los más habituales son la estabilización química, la digestión aerobia y anaerobia.

A continuación, se presenta una tabla con las ventajas e inconvenientes de los principales procesos de estabilización de los lodos.

Una vez estabilizados, el agua contenida en los lodos es eliminada mediante un proceso conocido como deshidratación, cuya finalidad es elevar el contenido de materia seca del 3-4% al 20-30%, para hacer el producto más manejable y transportable.

En resumen, las estrategias contempladas en la actualidad, para la reducción de

lodos de EDAR, pasan por actuar directamente sobre la generación de fangos en la línea de agua de las EDAR u optimizar el tratamiento de los mismos, en la línea de fangos, priorizando su aprovechamiento como fuente de energía y/o biofertilizante.

**Estrategias de minimización de la generación de lodos en la línea de aguas de las EDAR**

La minimización en origen de la producción de lodos en las EDAR, suele llevarse a cabo a partir de las siguientes estrategias: – Combinación de tecnologías y procesos de tratamiento de aguas con menor producción específica de lodos (kg SS/kg DQO eliminada). Entre los tratamientos existentes en la línea del agua, los que mayor cantidad de lodos generan son los tratamientos físico-químicos, los cuales producen fangos que están compuestos por sólidos suspendidos y los productos químicos utilizados para el tratamiento de coagulación-floculación, seguidos de los tratamientos biológicos; donde la cantidad de lodo producida depende del tipo de proce-

so, tecnología utilizada y el control operativo del proceso. Los tratamientos biológicos aerobios generan mayor volumen de lodos que los biológicos anaerobios.

Por lo que respecta a los procesos biológicos, el anabolismo se mide por medio del rendimiento en producción de biomasa “Y” (Yield), cantidad de microorganismos (como sólidos en suspensión volátiles) que se crean al degradar una determinada cantidad de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Esta cinética del proceso está basada en la velocidad con que se multiplican las bacterias (crecimiento celular) y la velocidad con que las bacterias eliminan el sustrato orgánico. Los reactores biológicos operan en un pequeño intervalo de la totalidad de la curva ilustrada en la figura 3, ya que el sistema tiende a trabajar con concentraciones de sustrato relativamente constantes en fase estacionaria.

Por tanto, la tendencia en la producción de fango en exceso en los reactores biológicos, en función de la carga másica y la edad del fango, muestran que los sistemas

Parámetro	Estabilización química	Digestión aerobia	Digestión anaerobia
Destrucción materia volátil (MV)	Inexistente	Menor	Mayor
Reducción sólidos totales (ST)	< o (genera más)	Menor	Mayor
Velocidad degradación	-	Menor	Mayor
Subproductos	-	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, NO <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, NH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S
Carga orgánica sobrenadante	-	Menor (<500 mg/L DBO <sub>5</sub> )	Mayor (>500 mg/L DBO <sub>5</sub> )
Deshidratación	Excelente	Regular	Buena
Flexibilidad cargas/tóxicos	Mayor	Mayor	Menor
Coste explotación	Mayor	Mayor	Menor
Facilidad explotación	Mayor	Mayor	Menor

Tabla 1. Comparativa entre tratamientos de estabilización de lodos.

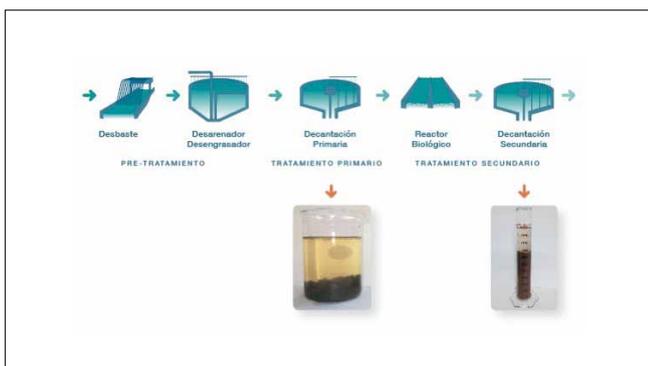


Figura 1. Esquema general del tratamiento en la línea de agua de una EDAR.

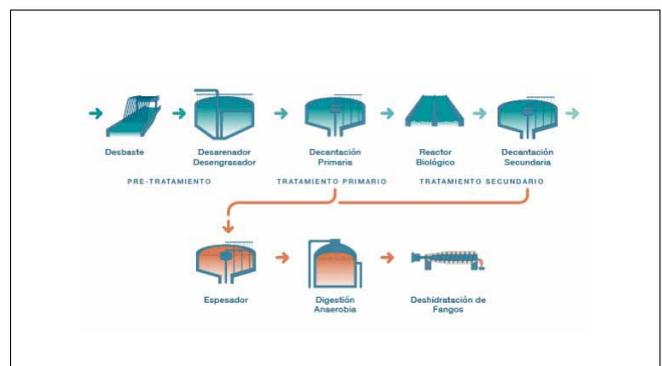


Figura 2. Esquema general del tratamiento de lodos en EDAR.

con una menor producción de fangos son aquellos en los que se trabaja con edades de fango altas como son los de aireación prolongada, biorreactores de membrana (MBR) y sistemas de biopelícula.

– Monitorización, control y operación de los procesos de depuración en base a parámetros de proceso y ratios orientados a un menor Yield ( $Y = f(\text{carga másica, edad del fango, purga, nivel de sólidos suspendidos en licor mezcla})$ ). Una óptima operación y control del proceso biológico de una EDAR en cuestión, puede conllevar una importante minimización de la producción de fangos. Un control equitativo de las purgas, edad del fango y concentración de sólidos suspendidos en reactor biológico, puede llevar asociado además, la minimización de los costes energéticos asociados a los procesos de aireación de reactores biológicos.

– Desintegración de la recirculación para la destrucción de los flocúlos por medios físicos, térmicos o químicos como son la alta presión, hidrólisis térmica, sonicación, ozonización, etc.

– La alteración del metabolismo celular con la adición de disruptores de la biomasa. Además, la alteración de las condiciones redox en procesos con régimen aeróbico, anóxico y anaerobio promete ser una estrategia prometedora para reducir los lodos en un 50% frente a los procesos convencionales.

**Estrategias de optimización del tratamiento/aprovechamiento de los lodos generados en la línea de fangos**

Las estrategias generales de tratamiento de lodos en la línea de fangos y las tecnologías asociadas al aprovechamiento de los mismos (suponiendo a los lodos como

un recurso y no como un residuo) son las siguientes:

– Monitorización y automatización de etapas y procesos en línea de fangos. Esto puede conseguirse mediante:

- La homogeneización del lodo, manteniendo constantes los ratios de floculante.
- Controlando los caudales en la línea de fango y operando en función del ratio: g floculante/g sólido en suspensión.
- Instalando un sistema de preparación de productos químicos adecuado, que permita una disolución, maduración y dosificación de los reactivos de forma óptima.
- Controlando la cantidad de retornos.
- Haciendo un balance de sólidos en la línea de fangos incluyendo los retornos e incluso el nitrógeno.

– Incorporación de procesos de recuperación de materiales y/o energía. El potencial de recuperación, es función del porcentaje de sólidos inertes y de los sólidos volátiles biodegradables y no biodegradables. En función del objetivo de cada depuradora, podrán utilizarse algunos de los procesos presentados en la tabla 2. Resultando la digestión anaerobia la vía de recuperación de energía más extendida a partir de la producción de biogás derivada del proceso. La tabla 2 indica diversas opciones de mejora de la digestión anaerobia.

La digestión de lodos anaerobia, consiste en un proceso biológico de fermentación por bacterias anaeróbicas en ausencia de oxígeno, donde se genera metano. Las fases que comprenden este proceso son: la hidrólisis; para solubilizar los compuestos orgánicos (etapa limitante), la acidogénesis; para transformar carbonos orgánicos solubles en ácidos orgánicos y la metanogénesis; donde se transforman estos

ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono.

Como sistema de optimización de la digestión anaerobia en cuanto a la minimización del volumen de lodos, cabe destacar el pre-tratamiento de los lodos mediante la adición de diversos productos químicos o la inclusión de otras tecnologías, que permitirán conseguir, por una parte, una mayor lisis celular solubilizando de este modo el material intracelular a la fase acuosa; y, por otra parte, una mayor biodegradabilidad de la materia orgánica al transformar la materia orgánica refractaria en especies biodegradables, lo que conllevará una mayor producción de biogás y una mayor reducción de sólidos suspendidos volátiles, patógenos y sustancias prioritarias/contaminantes emergentes.

Destacar en este punto, una nueva tecnología desarrollada por FACSA (Sludge4energy, Figura 4), cuyo objetivo es la maximización de la obtención de energía a partir de lodos mediante la combinación de procesos sinérgicos de oxidación y digestión anaerobia en doble fase de temperatura. Los resultados de esta nueva tecnología, demuestran un aumento en la producción de biogás en torno a un 59% respecto a condiciones normales (digestión anaerobia mesófila).

**Conclusiones**

Durante los últimos años, los gestores del sector del agua han visto cómo los costes de residuos han adquirido mayor importancia en la estructura de costes de su actividad. Tanto es así que la constante tendencia al alza del precio de la gestión de residuos, el poco espacio para su almacenamiento en algunas instalaciones y la mayor concienciación social en materia

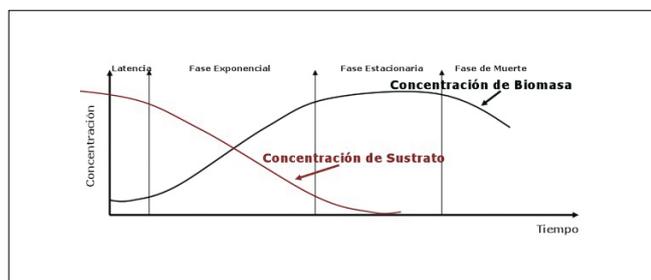


Figura 3. Curva de crecimiento microbiano y consumo de sustrato.

Conversión térmica	Digestión anaerobia
Incineración	Codigestión
Gasificación	Digestión termofílica (55°C)/hipertemofílica (70°C)
Pirólisis	Digestión en dos fases: acidogénica+metanogénicas (TPAD)
SCWO	Pretratamientos del lodo
Steam reformation	

Tabla 2. Procesos de recuperación de energía.

Pre-tratamiento	Tecnología
Hidrólisis térmica	Combinación de temperatura (>100°C), presión (6-20 bar), tiempo (30-60 min). Se higieniza el lodo. / Cambio®, BioThelys®
Hidrólisis alcalina	NaOH (pH 12), temperatura (80-150°C), incremento de presión (80 bar), despresurización brusca. / MicroSludge™
Ultrasonidos	Cavitación inducida, 20-40 Hz parálisis celular, 107 J/Kg ST Sonix
Cavitación hidrodinámica	CROWN®
Centrifugación	—

Tabla 3. Procesos establecidos para incrementar la eficiencia de la digestión anaerobia.



Figura 4. Planta piloto SLUDGE4ENERGY (Fuente: Fomento Agrícola Castellonense, S.A, FACSA).

medioambiental obliga, cada vez más, a las empresas a desarrollar estrategias de tratamientos de fangos, asociadas a la reducción de costes de gestión.

El *know-how* adquirido por SITRA durante sus años de experiencia en el sector de tratamiento de aguas industriales, demuestra que la mejor opción para minimizar el almacenamiento y transporte de lodos para su tratamiento y uso, se basa por una parte en combinar tecnologías y pro-

cesos de tratamiento de aguas con menor producción específica de lodos (kg SS/kg DQO eliminado) y por otra parte; seleccionar tecnologías de tratamiento *in situ* de lodos más eficientes y que permitan una mejor monitorización y automatización de etapas y procesos en línea de fangos.

### Bibliografía

- *Disposal and recycling routes for sewage sludge* Comisión Europea 2002.
- H. Odegaard. *Sludge minimization technologies – an overview*. Water Science and Technology Vol 10 p 31-40. 2004.
- J. Mata et al. Digestión anaerobia de fangos: posibles mejoras en su rendimiento. III Jornadas técnicas de saneamiento y depuración de aguas residuales. ACA. 2007.
- *Review of Alternative Technologies for Biosolids Management* Greater Vancouver Regional District (Canada) 2005.
- *Emerging Technologies for biosolids management*, US EPA, September 2006.

Pre-tratamiento
Ozonización
Campos eléctricos pulsados
Hidrólisis enzimática
Microondas
Biorreactores de membrana anaeróbicos
Cavitación oxidativa
Ultrasonidos de alta intensidad

Tabla 4. Procesos emergentes para mejorar la eficiencia de la digestión anaerobia.

- *State of Science Report: Energy and Resource Recovery from Sludge*, Water Environment Research Foundation (WERF) 2008.
- *Charting the Future of Biosolids Management: Final report*. WERF. 2011.
- *Innovative approaches for the minimization of excess sludge in water lines factsheet*. ENV 2010.3.1.1-2. 2013.
- Silvestre Tormo, G.; Ruiz Fuertes, B.; Fiter Cirera, M.; Cabera, V.; Castell Martínez, D.; Alonso Hernández, S.; Querol Rodríguez, S.; Berlanga Clavijo, J.G.; Ferrer, C.; García Ventoso, M. Mejora de la producción de biogás y la eliminación de sólidos volátiles durante la digestión anaerobia de lodos de EDAR mediante un sistema de doble fase ácido-gas. *Tecnoaqua*, 8, 58-62, 2014.
- García, M.; Castell, D.; Cabrera, V.; Ferrer, C.; Canut, A.; Ruiz, B. and Fiter, M. (2013). Maximizing energy production from sludge through oxidation and digestion processes. “SLUDGE4ENERGY”. International Water Association, 13th World Congress on Anaerobic Digestion: Recovering (bio) Resources for the World., Santiago de Compostela, 25-28 Junio.
- [www.sludge4energy.es](http://www.sludge4energy.es) Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense, S.A.

## Noticias Breves

### EVALUACIÓN DE LAS OPORTUNIDADES DE VALORIZACIÓN DE LOS DIFERENTES RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS POR LAS EMPRESAS ASOCIADAS A ASAJA EN LA ZONA DE CAMPODER

Éste es un proyecto encuadrado en el programa LEADER: Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural gestionado por la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia y desarrollado en colaboración entre ASAJA y el CTC

La zona de CAMPODER presenta una actividad agropecuaria muy importante y paralelamente una actividad industrial agroalimentaria asociada también muy importante. No cabe duda de que estas actividades generan una variedad y una cantidad de residuos orgánicos muy interesante para acometer acciones de valorización de los mismos con el doble objetivo de obtener un beneficio económico y mejorar la calidad ambiental de la actividad.

Cuando los restos se gestionan de forma inadecuada o se abandonan se agrava el riesgo de propagación de plagas y enfermedades, se incrementa el riesgo de un impacto ambiental negativo y se pierden oportunidades económicas de una correcta valorización de los mismos.

En este proyecto se ha obtenido información precisa sobre las características de los residuos orgánicos que se pretende valorizar: ubicación, estacionalidad, características físico-

químicas, análisis nutricional, contenido en materia orgánica, biodegradabilidad... Es decir, características de tipo logístico y analítico. Con esta información se puede llevar a cabo un estudio sobre el potencial de cada residuo para diferentes tipos de valorización y la capacidad o necesidad de combinarse con otros residuos de la zona para una mejor o adecuada valorización, así como informes preliminares de viabilidad económica de estas actuaciones de valorización. La conclusión más relevante que se obtiene el estudio es que en la actualidad existen una multitud de tecnologías de reciclado de gran interés y probadas en experiencias a escala industrial para la valorización de los restos vegetales que hacen posible que su gestión pueda generar un beneficio económico y ambiental lo suficientemente interesante como para plantearse la realización de las inversiones necesarias. Compostaje dirigido, biometanización, carbonización hidrotermal, extracción de compuestos de interés, elaboración de piensos animales, etc, etc, son tecnologías suficientemente probadas para priorizar el reciclado y la valorización frente a otros tipos de gestión y/o eliminación

# AQUA FREED<sup>®</sup>-AQUA GARD<sup>®</sup>: SISTEMAS DE HIGIENIZACIÓN Y CONTROL BACTERIANO DE SONDEOS

EDUARDO LUPIANI MORENO, SALVADOR BUESO SÁNCHEZ, CARLOS PÉREZ ANDRÉS<sup>1</sup>.

EL AGUA SUBTERRÁNEA ES SINÓNIMO DE PUREZA Y APTITUD PARA SU INGESTA HUMANA, LO QUE NO SIGNIFICA QUE SEA ESTÉRIL, SINO QUE CARECE DE GÉRMINES PATÓGENOS Y TIENE UNA BAJA CARGA BACTERIANA. EL ORIGEN DE ESTAS BACTERIAS SE ENCUENTRA EN LOS ACUÍFEROS, QUE COMO OCURRE CON EL RESTO DE AMBIENTES ACUÁTICOS NATURALES, SON ECOSISTEMAS DONDE SE DESARROLLAN COLONIAS ADAPTADAS A LAS CONDICIONES AMBIENTALES REINANTES, COMO SON: AUSENCIA DE LUZ, BAJO CONTENIDO EN OXÍGENO, FLUJOS LENTOS Y UNAS REACCIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE EQUILIBRIO ENTRE LAS FASES AGUA Y ROCA.

No son muchos los trabajos y publicaciones que describen este ecosistema y en su gran mayoría proceden de USA. Mansuy N. identifica en sus trabajos hasta 4.500 especies diferentes, e indica que se tratan de colonias autóctonas, no de contaminaciones, y con tendencia a formar biofilm, donde se concentra el 90% de las colonias, con cargas bacterianas típicas de  $10^8$ - $10^9$  células/gr. Las más frecuentes son:

- Enterobactersp.
- Citrobactersp.
- Klebsiellasp.
- Aeromonashydrophila.

El 95% de elementos aislados son aerobios y en igual proporción quimio-organo-heterótrofos.

Al construir un sondeo y extraer agua se modifican las condiciones de equilibrio de este ecosistema, propiciando el desarrollo de "especies oportunistas", que se adaptan a las nuevas condiciones impuestas por la extracción de agua subterránea. Entre las modificaciones que se generan en el ecosistema destacan:

- Contacto directo del agua con la atmósfera a través de la perforación.
- Contacto del agua con los elementos metálicos del entubado y equipo de bombeo.

- Creación de campos eléctricos en torno a la electrobomba.

- Modificación de la estratificación y equilibrio F- Q del agua.

- Incremento de flujos de agua en niveles permeables.

Además, la perforación supone una vía preferencial para la entrada de elementos contaminantes al acuífero.

La modificación con mayor incidencia en el contenido bacteriano del sondeo corresponde a la introducción de tuberías y elementos metálicos en el acuífero y desarrollo de procesos de corrosión. Este proceso es de origen electroquímico, y se asocia a la formación de pares galvánicos entre puntos de metálicos, que actúan como cátodo y ánodo respectivamente, generándose una transferencia de electrones entre ambos y propiciando un gradiente electroquímico apropiado para la implantación de colonias bacterianas.

Asociados a estos pares galvánicos se desarrollan unos típicos tubérculos de corrosión, con cubierta exterior dominada por ferrobacterias oxidantes y *pitting* interior donde anidan sulfobacterias reductoras que generan sulfídrico y que tras una acción prolongada llegan a perforar la tubería. Estos tubérculos se desarrollan especialmente en la zona de fluctuación

del agua en el interior del sondeo, entre el nivel estático y dinámico, y también en torno a la electrobomba.

Un segundo elemento que modifica sustancialmente el ecosistema es la alteración de la estratificación y equilibrio físico-químico del acuífero, al poner en contacto niveles permeables con aguas de diferente composición y alterar la posición de las zonas de equilibrio redox durante los bombeos. Esta última acción es crítica ya que crea gradientes físico químico que no llegan a estabilizarse y propician el desarrollo de especies oportunista que conforman importantes biomasas en torno al pozo.

La manifestación final de estos procesos es la formación de un biofilm que tapiza los elementos por donde circula el agua subterránea: rejillas de entrada de agua y elementos alojados en el interior del sondeo, filtros de grava del trasdós de la tubería y en el propio acuífero.

El biofilm, a su vez, actúa como filtro que captura elementos finos que se puedan movilizar durante los bombeos y fijan los precipitados minerales que se puedan

<sup>1</sup> Aqualogy-Aquatec. Proyectos para el Sector del Agua SAU. Santa Leonor, 39. 280027 Madrid. Spain. elupiani@aqualogy.net

generar, lo que incrementa su volumen y acelera sus efectos sobre la captación, que pueden llegar a ser importantes en fases avanzadas del proceso (Foto 1).

**Efectos del biofilm sobre el funcionamiento del sondeo**

La creación de una biomasa en los conductos de circulación de agua subterránea del acuífero y sondeo tiene un efecto directo sobre la permeabilidad del medio, que se ve disminuida al reducirse las secciones de paso y esta pérdida de eficiencia hidráulica tiene repercusión inmediata sobre los costes de producción.

El incremento de costes de bombeo por pérdida de eficiencia hidráulica del sondeo (caudal específico) puede tener un impacto económico similar al de una bomba desajustada, que para un pozo promedio con extracciones del orden de 300.000 m<sup>3</sup>/año, pueden suponer hasta 8.000-10.000 €/año (Figura 1).

Otros efectos secundarios del desarrollo desmedido del biofilm, pero no por ello menos importantes, son:

- Incremento de carga bacteriana del agua.
- Desprendimientos de flóculos de materia orgánica.
- Generación de eventos de turbidez.
- Aceleración en la degradación de equipos y elementos del sondeo.

En la industria de alimentación y bebida el agua adquiere la consideración de materia prima y para su incorporación al proceso productivo normalmente debe ser previamente acondicionada, siendo los tratamientos más frecuentes la osmosis

y descalcificación. El aporte continuado de colonias desde la biomasa del sondeo es uno de los focos de “contaminación” bacteriana que sufren estas instalaciones y causa del desarrollo de biofilm en membranas de osmosis y resto de elementos, que obligan a incrementar sus operaciones de limpieza y mantenimiento.

**Tratamientos de eliminación del biofilm**

El mercado ofrece una extensa variedad de técnicas de limpieza y rehabilitación de los sondeos, que pueden agruparse en dos grandes grupos:

- Métodos físicos-mecánicos.
- Métodos químicos.

Los primeros producen desprendimiento y movilización física de la biomasa y los segundos a su disolución y eliminación, siendo habitual que se combinen para garantizar un mejor resultado.

Entre los tratamientos más frecuentes destacan:

**DESINCRUSTACIÓN MECÁNICA:** Cepillado, Pistoneo, Descargas de aire comprimido, *Jet Grouting*, *Airshock*.

**DESINCRUSTACIÓN QUÍMICA:** Ácidos comerciales como acético, láctico, sulfámico...; Aditivos inhibidores, retardantes, anti-espumantes...; Preparados comerciales.

**DESINFECCIÓN:** Hipoclorito sódico, Peróxido de hidrógeno...

La rehabilitación de sondeos mediante estas técnicas normalmente logra buenos resultados pero se enfrenta a graves inconvenientes, como son:

- Escaso radio de acción, limitado al propio sondeo y entorno inmediato.
- Agresión física al entubado, por gene-

ración de esfuerzos y presiones de difícil control, que pueden provocar su colapso.

- Agresión química y pérdida de espesor del entubado por ataque de los ácidos concentrados utilizados en la disolución de incrustaciones, llegando a perforar el entubado.

- Gestión de aguas de purga, que presentan elevada turbidez y pH muy bajos e incumplen la normativa ambiental para su vertido a cauces y suelos.

La aplicación estricta de esta última normativa invalida la aplicación de tratamientos químicos en la mayor parte de casos, salvo su combinación con sistemas de neutralización, lo cual no siempre es de fácil ni económicamente viable.

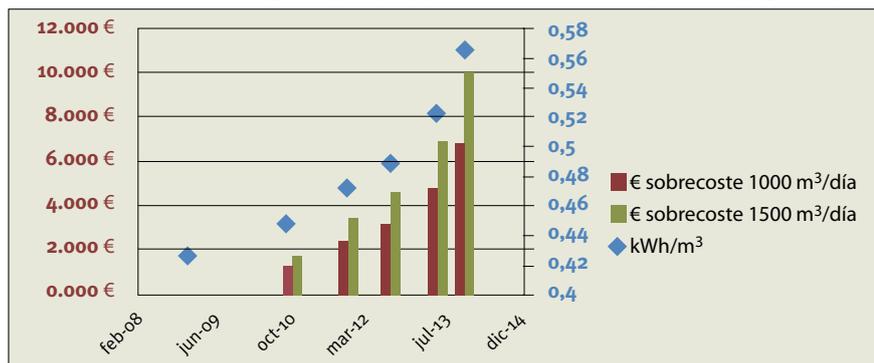
El mercado ofrece otros sistemas alternativos a los comentados, entre los que se encuentra limpieza y desarrollo de pozos CO<sub>2</sub> líquido.

**Tratamiento de sondeos con CO<sub>2</sub> líquido**

Este sistema de tratamiento ha sido desarrollado y patentado por la empresa Sub-surface Technologies Incorporated (STI), con la que AQUALOGY tiene acuerdo de comercialización exclusiva.

El proceso de rehabilitación utiliza dióxido de carbono licuado industrial

**Evolución de consumo energético (kWh/m<sup>3</sup>) y sobrecoste extracción para 1000 y 1500 m<sup>3</sup>/día**



**Figura 1.** Sobrecoste por pérdida de caudal.



**Foto 1.** Biofilm del entubado del sondeo y elementos del equipo de impulsión.

(99,9% de pureza), que se inyecta en el sondeo mezclado con fase gas en un volumen suficiente y adaptado a su diámetro y sumergencia, considerando también un volumen adicional para la actuación en la formación circundante.

La limpieza y desarrollo de pozos CO<sub>2</sub> líquido presenta varias ventajas operativas frente a sistemas clásicos de rehabilitación, ya que en una única operación se logra un triple efecto:

- Movilización y retirada de fracción fina acumulada en el acuífero + macizo de grava + rejillas del entubado, gracias a la energía liberada en el cambio de fases.

- Disolución de sales, óxidos e hidróxidos por formación de ácido carbónico y alta presión parcial de CO<sub>2</sub>.

- Eliminación de biofilm, por desprendimiento de placas y destrucción de la sustancia polimérica extracelular, apoyado por el efecto bacteriostático del CO<sub>2</sub>.

Aparte de esta simplificación operativa, la principal ventaja del sistema es su mayor radio de acción y eliminación de la biomasa localizada en el acuífero hasta cierta distancia del pozo, lo cual genera una mejora generalizada de su permeabilidad y retrasa la recurrencia de la colmatación, al ser mayor el volumen a recolonizar. Este superior radio de acción se fundamenta en la expansión que registra el CO<sub>2</sub> al pasar de fase líquida a gas, que a 1 atm y 15 °C multiplica su volumen por 570, y que con el sondeo presurizado garantiza su penetración hacia el acuífero extendiendo sus efectos.

Tampoco es desdeñable la escasa agresividad del CO<sub>2</sub> hacia las tuberías metálicas y de PVC, y el control de presiones que se ejerce en todo momento, lo cual minimiza el riesgo de colapso del pozo y abre el campo de aplicación a sondeos de cierta antigüedad y con procesos de corrosión ya iniciados.

Por último, el agua de purga que se extrae para retirar detritus y limpiar la perforación, tiene pH entre 5,6 y 8, lo que posibilita su vertido cumpliendo normativas de protección ambiental, al contrario que ocurre con las purgas de métodos convencionales.

La limpieza e higienización de sondeos con CO<sub>2</sub> líquido se puede aplicar en dos modalidades diferentes según la necesidad:

- AQUA FREED®, indicado para tratamientos puntuales en pozos con pérdidas de rendimiento hidráulico ya ostensible.

- AQUA GARD®, para tratamientos preventivos o tratamientos con fases tempranas de desarrollo de biofilm/biomasa.

Para el tratamiento puntual y desarrollo de un sondeo con pérdida de eficiencia hidráulica se aplica el proceso intensivo denominado Aqua Freed®, que consta de los siguientes pasos:

1. Retirada del equipo de bombeo y cepillado de paredes del pozo.

2. Instalación de cabezal de presurización y dispositivos de inyección y control.

3. Inyección de CO<sub>2</sub> con auxilio de *packer*, controlando la presión en cabeza de pozo mediante la actuación coordinada sobre la inyección y válvulas de alivio. La oscilación de presiones estimula la expansión rápida del dióxido de carbono licuado y la liberación de energía suficiente para movilizar finos arrastrados y desprender minerales y el biofilm, tanto en la tubería como en la formación acuífera circundante. El tiempo mínimo de contacto del dióxido de carbono en el pozo sellado es de 12 h.

4. Purga y desarrollo mediante *swabbing*, utilizando doble obturador y efecto pistón, que se prolonga hasta extraer agua totalmente clarificada y sin arrastres.

5. Finalmente el equipo de bombeo se vuelve a instalar.

Los resultados que se obtienen son espectaculares, logrando la limpieza y eliminación de adherencias al entubado y restituyendo los caudales específicos a sus valores originales, siendo relativamente frecuente que incluso se mejoren por el desarrollo del acuífero.

Los procesos que desencadenan la pérdida de eficiencia hidráulica en sondeos son muy lentos y los primeros síntomas pueden retrasarse hasta decenas de años, en función de la composición del agua, condiciones de bombeo e incluso de la naturaleza del acuífero y de los materia-

les utilizados en su construcción. Una vez que aparecen, es normal que se manifiesten de nuevo, exigiendo rehabilitaciones recurrentes cada periodos de 2 a 5 años. Para estos casos se ha desarrollado el sistema Aqua Gard®, que posibilita la inyección periódica de pequeñas dosis de CO<sub>2</sub> y desarrolla el pozo en fases tempranas del proceso de colmatación, no precisando la intervención intensiva de equipos y medios que exige el tratamiento de choque y sin necesidad de desinstalar el equipo de bombeo.

A esta simplificación se le une un reducido tiempo de intervención, que normalmente no superan las 24 horas, garantizando una mínima interrupción del servicio.

Los balances económicos realizados indican que el sistema Aqua Gard® es totalmente competitivo para tratamientos recurrentes con cadencia inferior a 5 años, alcanzando un ahorro de costes entre el 30 y 50% frente a los sistemas puntuales de rehabilitación, incluido Aqua Freed®, para desarrollos cada 2 a 3 años.

Aqua Gard® puede considerarse como una técnica de mantenimiento preventivo de rendimientos de captaciones de agua subterránea, teniendo pleno encaje entre las actividades recurrentes de mantenimiento de estos activos de producción.

## Ejemplos de aplicación

### CASO 1

Pozo de 35 m de profundidad y tubería troquelada sin filtros, que en su aforo arroja un caudal de 56,6 l/s y descensos de 11,2 m (caudal específico, Qs de 5,1 l/s/m), que al cabo de 10 años de explotación y cambio de bomba queda en 23,8 l/s, con de Qs: 1,3 l/s/m.

Se realiza tratamiento Aqua Freed® con 9 Tn de CO<sub>2</sub> y tras su desarrollo con *swabbing* aporta 76,3 l/s con 4,23 m de depresión (Qs: 17,8 l/s/m) multiplicando por 3 el rendimiento hidráulico original del sondeo.

Aparte de la mejora en disponibilidad del recurso y poder atender la demanda bombeando en horas valle, el menor nivel dinámico permite un ahorro energéti-

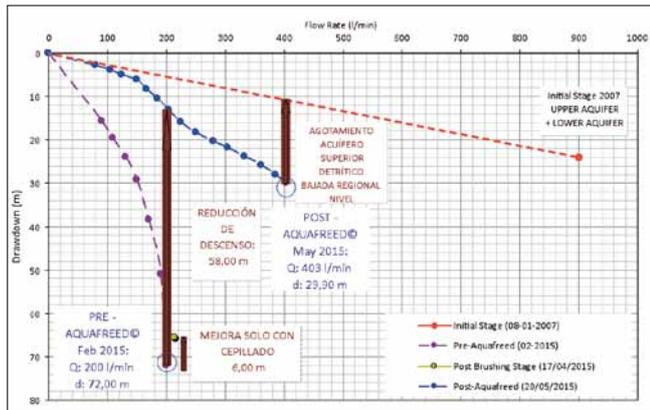


Figura 2. Bombeos pre y postratamiento del CASO 1.

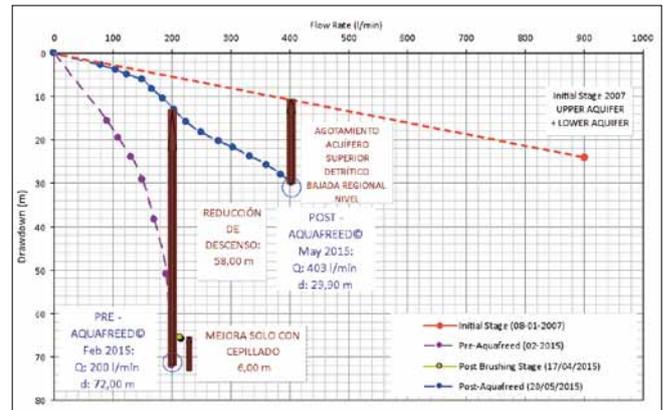


Figura 3. Bombeos pre y postratamiento del CASO 2.

co de 30.000 kWh, para un volumen total anual de 405.000 m<sup>3</sup> (Figura 2).

CASO 2

Sondeo de 250 m profundidad que forma parte de una batería de pozos que tiene por misión desecar el tramo superior de un acuífero y mantener el nivel de agua subterránea por debajo de una cota concreta. La tubería tiene instalada en sus

rejillas un filtro geotextil para evitar la entrada de arenas.

El pozo aporta en su inicio 15 l/s con Qs: 0,62 l/s/m y progresivamente pierde caudal, que inicialmente se interpreta asociado a la pérdida de Trasmisividad abatimiento del nivel de agua, y posteriormente se verifica que también se registra un proceso severo de colmatación por biofilm en filtros, quedando finalmen-

te el caudal en 3.3 l/s, con 72 m de abatimiento y Qs de 0,042 l/s/m.

El sondeo es desarrollado con medios físicos, cepillado y *air lift*, que apenas si tienen efecto.

Tras su desarrollo con tratamiento Aqua Freed® y la inyección 11Tn de CO<sub>2</sub> líquido el sondeo aportó 6,7 l/s con 51,4 m de depresión y Qs: de 0,13 l/s/m, lo que supone una mejora de rendimiento hidráulico más del 300 %.

Esta actuación supone una disminución de consumos eléctricos de hasta 27.000 kWh/año, e incremento del radio de acción del bombeo, que posibilita la reducción del número de sondeos que conforman la batería de drenaje (Figura 3).

Resumen

La productividad y funcionamiento de sondeos se ve afectada por la formación de biofilm en rejillas y filtros y de biomasas en el acuífero. Entre sus principales efectos destacan los procesos de colmatación y pérdida de rendimientos hidráulicos, corrosión de elementos metálicos, incremento de carga bacteriana del agua y generación de eventos de turbidez.

Las bacterias que las generan son autóctonas y su proliferación desmedida está asociada a cambios en su ecosistema inferido por sondeos y explotación de aguas subterráneas, que modifican el equilibrio natural y propician el desarrollo desmedido e incontrolado de especies oportunistas.

Los sistemas de limpieza y desarrollo de pozos Aqua Freed® y Aqua Gard® se basan en la aplicación de CO<sub>2</sub> líquido y en una misma operación se genera un desarrollo físico-mecánico, que moviliza elementos adheridos, la disolución de precipitados y la eliminación del biofilm, obteniendo mayor efectividad que los tra-

tamientos convencionales y un radio de acción superior. También cuenta con la ventaja de su compatibilidad medioambiental, al no generar subproductos peligrosos ni aguas ácidas, lo cual posibilita que la purga se pueda verter al medio tras simple decantación.

Aqua Freed® está diseñado para tratamientos intensivos puntuales, o de choque, mientras que Aqua Gard® es un tratamiento de tipo preventivo, y está orientado a limitar la generación de procesos que desencadenan la obstrucción/incrustación.

Se muestran dos ejemplos reales de aplicación AquaFreed®, en la que se han alcanzado significativas mejoras de rendimientos hidráulicos y se ha propiciado unos importantes ahorros en costes energéticos y otros aún mayores de tipo operativo, en un caso al posibilitar atender la demanda con bombes exclusivamente en horas valle y, en el otro, al disminuir el número de pozos precisos para abatir el nivel de agua a una cota concreta.

Bibliografía

- Bueso, S. Lupiani, E. y Cantudo, A. Bueso, S. (2013). Recuperación y mantenimiento de rendimiento hidráulico de sondeos tratados con CO<sub>2</sub> líquido. X Simposio Hidrogeología, Granada.
- Mansuy, N. y Layne Geosciences Inc. (1999). Water Well Rehabilitation – A Comprehensive Guide to Understanding Problems and Solutions. CRC Press (Lewis Publishers).
- Mansuy, N. y Gregory P. Miller. (2007). Treatment Approach to Reduce Well Maintenance Costs. ULTRAPURE WATER July/August.
- Stuart A. Smith. (1995). Monitoring and Remediation Wells: Problem Prevention, Maintenance and Rehabilitation. CRR Press.

# Boletín informativo

## Mejora de la gestión del agua residual en industrias con alta carga orgánica

**Desde el 30 de junio de 2014 el prototipo está montado y listo para operación.**

El proyecto WaterReuse finalizó en junio la construcción de su planta piloto, que muestra una solución práctica para las aguas residuales con alta carga orgánica, basada en el uso combinado de la Oxidación Electroquímica y la Filtración de Membranas. Concretamente el prototipo es capaz de tratar un vertido

de hasta 5 m<sup>3</sup>/día e incluye un sistema de filtración con membranas (ultrafiltración y nanofiltración), además de reactores electroquímicos y de fotooxidación.

El prototipo se apoya en un sistema de paneles solares fotoeléctricos que disminuirá los requisitos de energía en más de un 30%, con el consiguiente beneficio de reducción de la huella de carbono debido al uso de la electricidad.

## DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA WaterReuse

### Reuniones técnicas con grupos de interés

El proyecto ha sido difundido a diferentes grupos de interés, mediante reuniones técnicas con organismos del sector agroalimentario como la Fundación Cluster Agroalimentario de la Región de Murcia (Agrofood) y empresas asociadas a la Agrupación de Conserveros y Empresas de Alimentación de Murcia, Alicante y Albacete (Agrupal). Estas reuniones han pretendido promover el conocimiento de un proceso innovador que permita alcanzar el refuerzo de la competitividad de las empresas.

Otras empresas alimentarias, grupos de I+D, empresas suministradoras de tecnologías del agua y futuros técnicos de empresas han sido objeto de su transferencia. Mediante exposición del proyecto y reuniones se ha podido dar a conocer el sistema y ahondar en la problemática de las empresas alimentarias de la Región de Murcia, que generan aguas con diferentes características y particularidades. En todo caso, este grupo de interés se ha mostrado alentado por un sistema que puede dar solución a sus vertidos.

### ACCIONES DE NETWORKING

Visite la sección de Networking en la página web del proyecto donde se hayan incluidas las referencias a proyectos LIFE, del 7PM y grupos de investigación en área de agua que ya han mostrado interés por WaterReuse.

*Sistema solución  
a las aguas  
complejas.  
Transferible a  
industria  
agroalimentaria*



### Participación en ferias

**SMAGUA marzo-2014. Expoquimia octubre-2014. Achema junio-2015.** WaterReuse ha estado presente en varias ferias internacionales, donde más de 200.000 asistentes de más de 100 países han tenido la oportunidad de conocer los excelentes resultados del proyecto.

Promoción de **acuerdo de colaboración** con el proyecto SANePLAN "Integrated Planning and Sustainable Management of Sanitation Infrastructures through innovative precision technology"

# Boletín informativo

## Mejora de la gestión del agua residual en industrias con alta carga orgánica

### Positiva puesta a punto y validación del sistema

Las valoraciones del proyecto están siendo muy positivas.

Se han obtenido interesantes resultados para aguas del sector químico y de algunos



subsectores alimentarios, en concreto estas últimas provienen de empresas de encurtidos, lácteo, golosinas y almazara. Además, no se debe olvidar que esta tecnología permite una elevada reutilización de las aguas residuales regeneradas, reduciendo de esta manera la demanda de agua potable de otras fuentes y rebajan los vertidos industriales contaminados al medio ambiente.

Actualmente el prototipo está siendo evaluado con nuevas aguas de estos subsectores.

*El sistema dispone de un PLC que ejerce de controlador y que efectúa cálculos de optimización, de tal manera que busca máximos de eficiencia*

## DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA WaterReuse

### Reuniones técnicas

El proyecto apuesta por reuniones con organismos de la administración con competencias en la gestión de agua: Consejería de Agricultura y Agua; además de con organismos relacionados con el sector agroalimentario: FENAVAL (Federación Nacional de Asociaciones Transformados Vegetales y Alimentos Procesados). Otro grupo de interés al que dirige su atención es el de las empresas y asociaciones empresariales, por lo que su equipo técnico y directivo ha mantenido reuniones con empresas privadas del sector agroalimentario, así como directamente con Agrupal.

### Participación en ferias

**ACHEMA - Junio.** WATERREUSE abrió, el pasado 16 junio, el ciclo de conferencias sobre Gestión del Agua en la Industria dentro del Foro Mundial y la 31ª Feria Internacional para la Industria de Proceso, Achema 2015, en Frankfurt am Main, Alemania. Con más de 166.000 asistentes procedentes de 100 países, 3.813 expositores, y más de 480 ponencias.

***Bajo el titular "El programa LIFE+ financia un nuevo sistema de depuración con 1,6 millones", fue publicado con fecha 4 de agosto de 2014 en el periódico La Verdad\_Región de Murcia, un artículo donde se detalla las características generales del proyecto: objetivos, socios, presupuesto y posibilidades de transferencia.***

***A lo largo del 2014 y 2015 diversos medios de comunicación a nivel Regional y Nacional se han hecho eco de nuestro proyecto despertando el interés por su aportación a la mejora de la calidad ambiental de las empresas. Toda la información se puede encontrar en nuestra página web: [www.waterreuse.eu](http://www.waterreuse.eu)***

***WaterReuse es una de las 27 iniciativas con financiación europea de la Región de Murcia para la conservación y protección del medio ambiente con aplicación real.***

Prototipo para la gestión de aguas residuales que utiliza la filtración con membranas, la biología lúpida y la electro-oxidación.

- La filtración con membranas permite de las aguas la presencia de sólidos en suspensión.
- La aplicación de reactores biológicos reduce la carga orgánica (contaminantes).
- La electro-oxidación oxida los gases.

## Nuestro proyecto LIFE+ en imágenes

Reuniones del grupo de trabajo,



Transferencia del proyecto a diversos grupos de interés,

Publicación de artículos técnicos,

WATERREUSE: EL RETO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUA DE PROCESO EN LA INDUSTRIA



Fluido levita en la Herxia CTC  
Alimentación nº 57

Construcción y puesta a punto de nuestro prototipo!



## INTERESANTE - Asistencia a Ferias



Pedro Muñoz: «El dióxido de carbono de una planta de aguas residuales estándar se libera a la atmósfera, pero en este proceso se crean carbonatos, lo que reduce las emisiones un 70%».

Periódico La Verdad de Murcia, 4 agosto de 2014

Visítanos en [www.waterreuse.eu](http://www.waterreuse.eu)

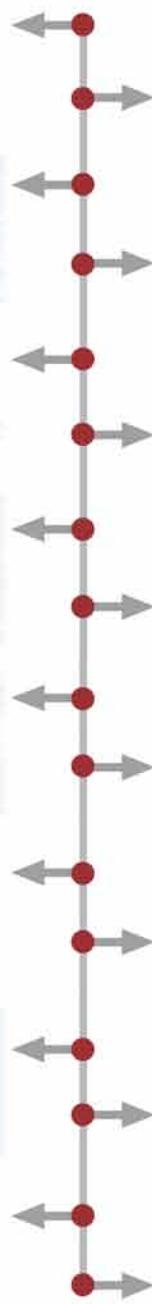
¡¡TE ESPERAMOS!!

# Spain products from Murcia.com

Promociona tu empresa  
dentro y fuera de la región



[www.spainproductsfrommurcia.com](http://www.spainproductsfrommurcia.com)



[www.spainproductsfrommurcia.com](http://www.spainproductsfrommurcia.com)

