



Informe del proyecto:

DESARROLLO DE UNA ALTERNATIVA DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA APLICABLE A LAS PYMES DEL SECTOR DE CONSERVAS VEGETALES.

TECNOLOGÍAS HÍDRICAS – 2007-2008

CENTRO TECNOLÓGICO NACIONAL DE LA CONSERVA
Departamento de Medioambiente y Agua
D. Luis Miguel Ayuso García

1.- INTRODUCCIÓN	2
1.1.- El agua en la industria de conservas vegetales.....	2
2.- MATERIAL Y METODOS.....	6
2.1.- La depuración biológica simbiótica	6
2.2.- Descripción de las plantas piloto.....	8
2.3.- Resultados de las plantas piloto	10
2.3.1.- Capacidad de la depuración simbiótica para depurar aguas residuales de conservas vegetales.....	11
2.3.2.- Adaptación del sistema a las singularidades de funcionamiento de este tipo de empresas (variabilidad de vertidos, irregularidad en la generación de aguas residuales, etc...)	21
2.3.3.- Necesidades de mantenimiento y gestión de la depuradora	22
2.3.4.- Viabilidad económica	23
3.- CONCLUSIONES	24
4.- BIBLIOGRAFIA	25

1.- INTRODUCCIÓN.

En la actualidad el desarrollo económico y la protección del medioambiente van cada más unidos. Hoy día ya no se entiende que se realice algún tipo de actividad industrial sin las medidas de protección o prevención necesarias para minimizar los impactos medioambientales. Ello es así a causa de la presión ejercida en las últimas décadas por parte diferentes sectores de la sociedad, presión recogida por las distintas Administraciones y traducida en la elaboración de una amplia legislación encaminada a la protección del medioambiente. Todo ello ha supuesto que empresas de todos los sectores industriales hayan mejorado notablemente la calidad ambiental de sus procesos productivos.

El sector de conservas vegetales es uno de los sectores que ha asumido esta realidad. Ello se reflejó en la firma del Convenio de Adecuación Ambiental entre dicho sector y la Consejería de Agricultura, Agua y Medioambiente. Dicho Convenio ha supuesto una notable mejora en la calidad ambiental de las empresas dicho sector. Sin embargo, a pesar del esfuerzo que las empresas del sector de conservas vegetales están realizando para su adecuación a la normativa ambiental, muchas empresas del sector agroalimentario de la Región de Murcia todavía presentan un déficit ambiental importante fundamentalmente en lo referente a la depuración de sus vertidos. Es necesario señalar que la mayoría de las empresas del sector mencionado son PYMES que no tienen la capacidad técnica ni económica, para una fácil integración de la variable ambiental en su estructura empresarial. De acuerdo con los datos de Ministerio de Agricultura, la industria de conservas vegetales en España está conformada por un 73.1 % de pequeñas o muy pequeñas empresas, el 19.7 % son medianas y el 7.2 restante son grandes. El 40 % de las empresas se concentran en Murcia y Navarra.

1.1.- El agua en la industria de conservas vegetales

En la industria agroalimentaria y en particular en el sector de conservas vegetales el agua es una materia prima imprescindible para el desarrollo de su actividad, de hecho este sector tiene un consumo de agua importante tal y como se puede observar en la figura siendo una de las actividades industriales que tiene un mayor consumo de agua y la que más consume si nos referimos a agua potable.

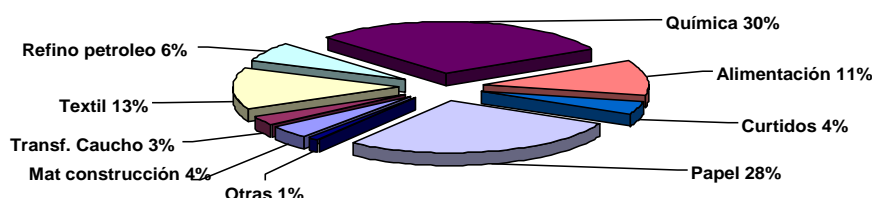


Figura 1. Dotación de agua por sectores industriales.
Fuente: Hispagua. 2003

Son numerosas las fases de producción y las operaciones que utilizan agua: lavado de materias primas, escaldado y enfriamiento, tratamiento térmico, equipos auxiliares (producción

de vapor, generación de frío, etc.), limpieza, etc. Como consecuencia de ello la generación de aguas residuales en el sector de conservas vegetales es muy elevada sobre todo en cuanto a su volumen o caudal; aproximadamente entre el 70 al 80 % del consumo de agua se vierte en forma de aguas residuales (el 20-30 % restante se incorpora al producto como líquido de gobierno, se pierde en evaporaciones, ...) (Seoánez, 2003; Canales et al., 2006). En la Región de Murcia el consumo anual de agua del sector de conservas vegetales es entre 10 y 15 hm³ por lo que el vertido será entre 8 y 12 hm³ anuales.

Las empresas conserveras consumen entre 4 - 60 litros de agua de consumo por Kg de materia prima tratada; el amplio rango presentado depende de varios factores entre los que se pueden enumerar los siguientes:

- ⇒ El **producto elaborado**: las características de la materia prima determinan el tipo de operaciones y tecnologías por las que tiene que pasar hasta obtener el producto final.
- ⇒ El **tipo de elaboración**: hay productos que admiten diferentes tipos de elaboración. Por ejemplo el pimiento se puede pelar en horno o bien mediante pelado químico lo que supone un gasto mayor de agua.
- ⇒ La **productividad** de la empresa. A mayor producción el consumo de agua, expresado en litros por Kg de materia prima procesada es menor.
- ⇒ Implantación de **sistemas de recirculación y buenas prácticas medioambientales**: la reutilización de aguas limpias, la optimización del caudal en las distintas operaciones y otras buenas prácticas influyen en el consumo de agua.

En la Región de Murcia el consumo de agua anual del sector de conservas vegetales es entre 10 y 15 Hm³. De forma muy aproximada las empresas del sector que consumen menos de 30.000 m³/año corresponden a empresas muy pequeñas con una producción estacional y dispersa; el consumo entre 30.000 y 200.000 m³/año se produce en pequeñas y medianas empresas y las grandes conserveras gastan más de 200.000 m³/año.

Como consecuencia de este elevado consumo de agua, la generación de aguas residuales en el subsector de conservas vegetales es también muy notable sobre todo en cuanto a su volumen o caudal; aproximadamente entre el 70 al 80 % del consumo de agua se vierte en forma de aguas residuales (el 20-30 % restante se incorpora al producto como líquido de gobierno, se pierde en evaporaciones, ...).

Otro aspecto importante de las aguas residuales es la carga contaminante que contienen. La carga orgánica es el principal componente contaminante de estas aguas residuales y la variabilidad en relación al nivel de la misma y al volumen generado son sus principales características. Además el contenido salino de las aguas residuales generadas por este sector es también variable dependiendo fundamentalmente del tipo de agua utilizada (pozo, red, etc...), la

materia prima procesada y por tanto de la tecnología en el procesado de la misma (por ejemplo que se utilice o no el pelado químico) y también de los tratamientos de acondicionamiento del agua (ósmosis, descalcificación, etc...). A estas características se le une la ausencia de compuestos de naturaleza tóxica tales como: metales pesados, productos fitosanitarios, etc...

Dichos contaminantes se traducen analíticamente en parámetros como DBO (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno) y sólidos en suspensión (SST), y en ocasiones vertidos con alta conductividad y pHs variables en función de la materia prima procesada y tecnología utilizada.

Si bien desde el punto de vista cualitativo las características del vertido generado por la elaboración de conservas vegetales es similar con independencia del producto elaborado (carga orgánica de origen vegetal y sales procedentes de la propia materia prima o de ciertas fases del proceso de elaboración) difieren muy significativamente desde el punto de vista cuantitativo en función de:

- **Materia prima procesada**
- **Estado de la materia prima:** grado de madurez, corte o laminado, etc.
- **Forma de recolección:** manual o automática .
- **Tiempo de contacto** entre el producto escaldado y el agua, etc.
- **Buenas prácticas de fabricación** empleadas: barrido sólidos, etc.
- **Cantidad de agua** utilizada para las operaciones.
- **Sistemas de recirculación** o recuperación del agua: torres de refrigeración, etc.

En la siguiente tabla recogida en la Guía Europea sobre Mejores Técnicas Disponibles del sector alimentación se pone de manifiesto la amplitud de los intervalos en volumen y carga contaminante de las aguas residuales generadas por la industria de conservas vegetales:

Tabla 1. Caudal y carga contaminante en subsectores.

Subsectores	Caudal (m ³ /t materia prima)	Carga contaminante
Conservas y congelados vegetales	3.5 a 8.5	DBO ₅ : 140 a 7.000 mg/l SST: 60 a 3.000 mg/l
Zumos	0.5 a 6.5	DBO ₅ : 500 a 3.200 mg/l SST: 300 a 1.300 mg/l

Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. 2005

En la tabla 2 se presentan los rangos (mínimo y máximo) en el consumo de agua, volumen de vertido de aguas residuales y de carga contaminante de algunas campañas de conservas vegetales de acuerdo con la Guía de las Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de los Conservas Vegetales:

Como podemos observar las características de las aguas residuales vertidas difieren muy significativamente en función de la materia prima procesada, tanto en volumen como en carga contaminante. El rango de carga contaminante de las aguas residuales es amplio en todos los casos, dependiendo sobre todo de la materia prima, de las técnicas empleadas, de los sistemas de reutilización de agua y del tratamiento de aguas residuales instalado en la empresa.

Tabla 2.- Volumen de agua consumida y vertida por Tn de producto elaborado y carga contaminante de aguas residuales generadas en distintas campañas.

Producto	Carga contaminante				
	m ³ agua consumida /Tn	m ³ agua vertida /Tn	pH	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
Melocotón	8-11	6-9	7-8.5	1.200-4.400	150-550
Albaricoque	8-13	6-9	6-8	600-2.700	75-250
Alcachofa	6-20	5-16	6-8.5	400-2.600	100-350
Pimiento morrón	7-10	5-9	6.5-9.5	400-2.000	150-400
Pimiento piquillo	15-40	12-32	5-7.5	500-3.500	100-500
Satsuma	7-10	5-9	5.5-7.5	700-3.200	175-400
Naranja zumo	6-10	4-9	5-7.5	1.500-5.500	150-550
Tomate	5-10	4-8	4.5-7.5	1.000-4.000	400-2.500

Fuente: Guía de las Mejores Técnicas Disponibles en España del sector de los conservas vegetales. 2006.

Otra 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 de forma irregular y dependiendo de varios factores (diferentes campañas, precios de la materia prima, estación del año,...), esta circunstancia condiciona y dificulta notablemente las posibilidades de tratamiento de las aguas residuales.

Todo lo comentado anteriormente obliga a las empresas a implantar algún tipo de tratamiento de sus aguas residuales para ajustar los parámetros a los niveles de vertido exigidos por la ley. La mayoría de las empresas realizan algún tipo de pretratamiento previo al vertido de las aguas residuales como la separación de sólidos gruesos, homogeneización de los vertidos, neutralización, etc. En los últimos años y en respuesta a la cada vez mayor importancia del factor ambiental y a las exigencias legales, son numerosas las empresas que están instalando depuradoras y el porcentaje de las mismas que dispone de sistemas de depuración aumenta progresivamente y muy significativamente con el tamaño de la empresa.

El tipo de tratamiento que más se ajusta a las características de estas aguas residuales es la depuración biológica y por ello son muchas las empresas del sector que han puesto depuradoras biológicas de fangos activos en sus instalaciones. Se está observando que aunque la depuración biológica es la más idónea para tratar estas aguas residuales no siempre tiene un funcionamiento adecuado y unos rendimientos satisfactorios. Además se observa que cuanto

más pequeña es la empresa mayores dificultades tiene para que la depuradora funcione correctamente. Ello es debido a varias causas pero posiblemente la irregularidad en la generación de vertidos y la falta de personal especializado son las dos que más influyen en el mal funcionamiento de las depuradoras biológicas instaladas ya que estas basan su actuación en una biomasa microbiana que necesita aportes de sustrato orgánico de forma más o menos continua para funcionar adecuadamente y las paradas de actividad le afectan enormemente; además este tipo de depuración también es exigente en el mantenimiento y gestión y por ello necesita personal cualificado para poder realizar esta función.

En este marco se ha realizado el proyecto propuesto que ha sido **ajustar y proponer una alternativa de depuración biológica que se adapte mejor a las características de las PYMES del sector de conservas vegetales**. La depuración simbiótica® (Fábregas, 2000; Golftrat, 2008) es un tipo de depuración biológica que, desde la experiencia adquirida con el tratamiento de otros tipos de aguas residuales (Lloréns et al., 2004 y 2007), puede resultar muy interesante como opción de depuración aplicada a las PYMES del sector de conservas vegetales ya que presenta una serie de particularidades (menor coste de instalación y de mantenimiento, no necesita personal especializado para su gestión, no parece verse tan afectada por las paradas de actividad, no necesita aireación externa, consume menos energía, etc) que pueden resultar muy ventajosas para su aplicación a este sector.

2.- MATERIAL Y METODOS

2.1.- La depuración biológica simbiótica

La depuración simbiótica es un tratamiento novedoso de patente Murciana (ES 2 157 861 A1-año 2001) para depurar aguas residuales. Esta tecnología ha sido desarrollada por D Javier Fábregas González responsable de la empresa Golftrat que colabora en la realización de este proyecto. La depuración simbiótica es un tipo de depuración biológica que ha demostrado su eficacia en aguas residuales con carga orgánica más baja que las generadas por el sector de conservas vegetales y similares (manipulación hortofrutícola, congelados, etc). (Lloréns et al., 2004 y 2007).

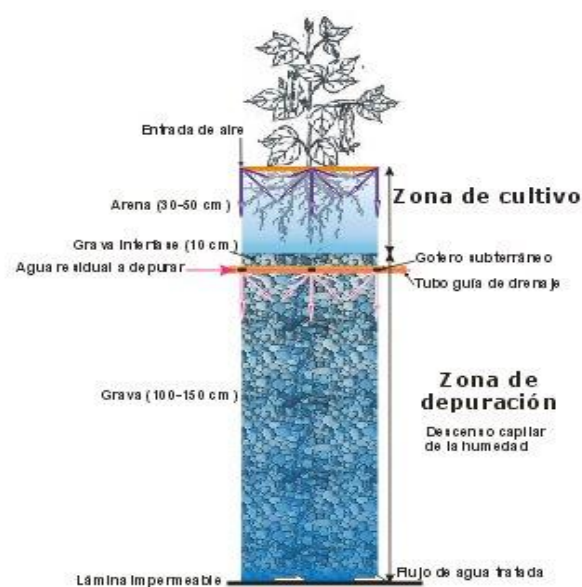


Figura 2.- Depuradora simbiótica.

La depuración simbiótica es un tipo de depuración biológica aerobia que como se puede observar en la figura 2 consta de dos partes bien diferenciadas: zona de depuración y la zona de cultivo.

La zona de depuración está constituida por un lecho de arlita o similar colocada sobre una base impermeable. El agua residual, previamente filtrada por unos filtros de 100 micras de tamaño de poro, se aplica por medio de una red de goteros subterráneos, colocados directamente en la parte superior del lecho para provocar su percolación a través de la grava donde está fijada la biomasa microbiana que es la encargada de degradar la materia orgánica del agua residual. Una vez alcanzada la base impermeable, el agua residual, ya depurada o parcialmente depurada, discurre, por gravedad, hacia los puntos de vertido o bombeo al cabezal de filtración para su introducción a otro lecho para continuar su depuración. Cada conjunto de zona de depuración y zona de cultivo se considera una fase. El número de fases necesarias estará en función de la carga orgánica del agua, a mayor carga contaminante mayor número de fases.

La zona de cultivo se sitúa sobre la de depuración y está formada por un substrato arenoso, de unos 30 a 50 cm de espesor. Su importancia para el funcionamiento de la depuradora estriba en varios aspectos:

- Su función más importante es la de conseguir la oxigenación de la zona de depuración asegurando que el sistema de depuración sea en todo momento aerobio.
- Este permite mantener un cultivo que se ha demostrado favorece la oxigenación de la zona de depuración y además mejora notablemente el aspecto de la depuradora.
- Impide la generación de algas en la zona de depuración, al evitar el contacto de la luz con el agua sin depurar.
- Protege a operarios de la depuradora del contacto directo con las aguas residuales, garantizando la ausencia de aerosoles.
- Evita la evaporación del agua residual y por tanto el aumento de la concentración salina.
- Evita malos olores.

Es importante subrayar que la zona de cultivo es fundamental porque promueve la renovación, del aire en el lecho para que la depuración funcione correctamente.

Respecto a otros sistemas de depuración aplicados a las aguas residuales del sector de conservas vegetales la depuración simbiótica puede presentar las siguiente ventajas:

- 1.- Sencillez de instalación y mantenimiento.
- 2.- Ahorro de energía frente a depuradoras biológicas de fangos activos (habitualmente utilizadas por la industria conservera) ya que la oxigenación es espontánea y no precisa de elementos externos para ello (soplantes, sistemas de difusión de oxígeno, etc...) que tienen un elevado consumo de energía.

- 3.- Los costes de infraestructura y de mantenimiento del sistema son inferiores a otros tipos de depuradoras biológicas. La depuradora funciona como un sistema de riego por goteo (cabezal de filtración, bombeo de las aguas a los goteros) por lo que los costes de mantenimiento se asemejan más a un sistema de riego que a una depuradora biológica.
- 4.- En este tipo de depuración no se desarrollan bacterias filamentosas por lo que no presenta problemas de bulking, foaming, etc que se producen en las depuradoras de fangos activos. Esto es importante porque la resolución de estos problemas además de ser complicada requiere personal especializado en depuración que es precisamente una carencia de las PYMES del sector de conservas vegetales.
- 5.- Según la experiencia adquirida en la depuradora simbiótica instalada en la Universidad de Murcia, el mantenimiento de la biomasa microbiana en periodos de inactividad de la empresa es más sencillo y permite un arranque más rápido al reiniciar la actividad. En todo caso este será uno de los parámetros clave a estudiar durante el estudio.
- 6.- No necesita personal con un elevado nivel de cualificación para la gestión y explotación de este tipo de depuradora, lo que resulta muy interesante teniendo en cuenta el déficit que en este aspecto presentan las PYMES, fundamentalmente las pequeñas empresas, del sector.

El estudio propuesto pretende aplicar este tipo de depuración en industrias conserveras; para ello es necesario ajustar el funcionamiento de la depuradora a las condiciones de una empresa de conservas vegetales y comprobar su eficacia en aguas residuales generadas en la elaboración de conservas vegetales tanto de frutas como de hortalizas y con diferentes tecnologías mediante la instalación de plantas piloto en empresas de conservas vegetales.

2.2.- Descripción de las plantas piloto

Se han instalado dos plantas pilotos con diferencias significativas de diseño con el fin de comprobar el funcionamiento de las mismas y ajustar las condiciones de trabajo al tipo de aguas a depurar.

Una planta piloto (a partir de ahora Planta 1) se instaló en la empresa Columbia Fruits SA que elabora conservas de fruta (melocotón, pera, albaricoque, ...) y la otra planta piloto (planta 2) se instaló en Halcón Foods y se ha experimentado con aguas residuales procedentes del procesado de alcachofa y fresa.

La planta 1 (figura 3) consta de cinco fases de tratamiento con disposición vertical, tiene una superficie de 1 m² (correspondería a 5 m² si estuviera en horizontal) Cada una de las fases de tratamiento contiene un relleno de arlita de 60 cm de espesor (encargada de fijar la biomasa responsable de la depuración del agua residual y con mejores resultados que la grava utilizada anteriormente) y entre cada dos fases hay una separación de unos pocos centímetros cuya

misión es permitir la entrada del oxígeno atmosférico para que la depuración se produzca en condiciones aerobias (figura 4).



Figura 3.- Vista de la planta piloto

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 (figura 5). Previamente a la planta piloto se ha colocado un filtro de anillas de 100 micras con una bomba que proporciona un caudal de unos 4 litros por hora y por gotero. El agua filtrada se introduce en la planta piloto a través de los goteros y fluye por gravedad pasando a través de las cinco fases de tratamiento, saliendo del sistema por su parte inferior. La carga volumétrica que recibe esta planta es $0.08 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. en un régimen de trabajo de 12 horas para un total aproximado de 1 m^3 de agua tratada al día.

El agua residual generada por Columbia Fruits SA es sometida a un pretratamiento antes de su entrada en la planta piloto. Dicho pretratamiento consta de: desbaste de gruesos, rototamiz de 0.8 mm, flotación con adición de floculante, homogeneización y ajuste de pH con ácido fosfórico.



Figura 4.- Separación entre dos fases de tratamiento. (En la parte inferior se puede ver la arlita y en la superior la biomasa generada).



Figura 5.- Líneas de goteros

En la planta piloto 2 la zona de depuración estaba conformada por 6 fases de 1 m² en disposición vertical (una más que la planta 1) pero con un espesor menor de arlita aproximadamente unos 10 cm menor es decir unos 50 cm y con una separación de unos diez cm entre fases con el fin de facilitar la oxigenación del tratamiento asegurando el carácter aerobio de la depuración.

La zona de cultivo también estaba compuesta de una capa de arena de sílice de 20 cm de espesor y entre las dos zonas se dispusieron 5 líneas de goteros con cuatro goteros cada línea para un total de 20. En este caso no se instaló ningún filtro de anillas y el bombeo a los goteros se realizaba mediante una bomba que proporcionaba un caudal de unos 9 litros por hora y por gotero, lo que supone doblar el caudal de la planta 1.

El agua residual generada por Halcón Foods SA es sometida a un pretratamiento antes de su entrada en la planta piloto. Dicho pretratamiento consta de: desbaste de gruesos un rototamiz de 0.8 mm y una homogeneización.

Las diferencias entre ambas plantas piloto han permitido sacar conclusiones, como veremos a continuación sobre la importancia de filtrar el agua previamente cuando esta viene ya filtrada por un rototamiz de 0.8 mm y con una cantidad de sólidos en suspensión ya rebajada a priori. Si el caudal de entrada es muy determinante o si se puede compensar el aumento de caudal con la adición de más fases de depuración.

2.3- Resultados de las plantas piloto.

El proyecto ha pretendido comprobar la validez de la depuración simbiótica para tratar las aguas residuales generadas en la elaboración de conservas vegetales. La validez de un sistema de depuración está relacionada con el grado de efectividad para rebajar la carga contaminante de las aguas pero también está íntimamente relacionada con la sistemática de trabajo, la capacidad técnica y naturaleza de la empresa donde se va a instalar. Por ello la validez del sistema la hemos buscamos en varios aspectos:

1. Capacidad para depurar aguas residuales con alta carga orgánica de origen vegetal.
2. Adaptación del sistema a las singularidades de funcionamiento de este tipo de empresas (variabilidad de vertidos, irregularidad en la generación de aguas residuales, etc...).
3. Necesidades de mantenimiento y gestión de la depuradora, teniendo en cuenta la práctica ausencia de personal cualificado en depuración en este tipo de empresas.
4. Viabilidad económica.

2.3.1.- Capacidad de la depuración simbiótica para depurar aguas residuales de conservas vegetales.

Para evaluar la capacidad de este tipo de depuración respecto a rebajar la carga contaminante de las aguas residuales generadas en la elaboración de conservas vegetales se han tratado en las plantas piloto aguas residuales derivadas de la producción de melocotón, pera, albaricoque y otra vez melocotón en la planta 1 y alcachofa y fresa en la planta 2. Lógicamente siguiendo la dinámica de producción de las empresas colaboradoras con el proyecto.

Para el seguimiento de los tratamientos se han estudiado los siguientes parámetros:

- pH
- Conductividad eléctrica
- DQO
- DBO
- Sólidos en suspensión
- Oxígeno disuelto
- Nitrógeno total
- Fósforo total

Los resultados obtenidos los exponemos en las figuras 6 a 9.

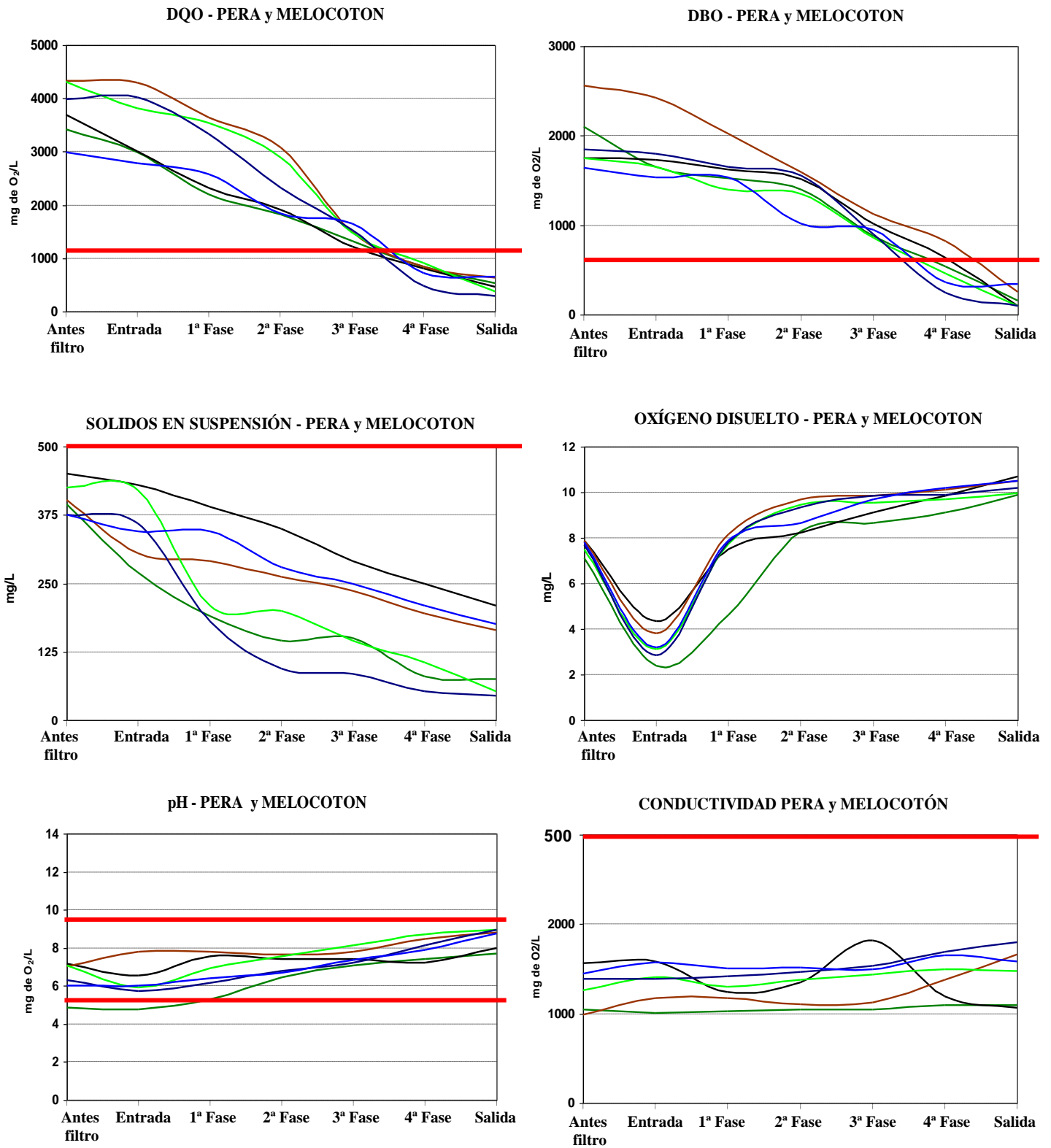


Figura 6.- Resultados obtenidos en el tratamiento de melocotón y pera en la planta 1. (pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO, sólidos en suspensión y oxígeno disuelto)

Las figuras 6 y 6.1 se muestran los resultados obtenidos al tratar aguas residuales generadas en la elaboración de pera y melocotón (el hecho de trabajar con las dos campañas de manera conjunta es porque la empresa desarrolla estas dos campañas de forma paralela y lógicamente trata conjuntamente las aguas residuales). Hay que señalar que en ambas campañas se utiliza el pelado químico, aunque la empresa realiza un pretratamiento que ajusta bastante bien las condiciones del agua residual que entra a la planta piloto. Se han tomado un total de 12 muestras de agua residual en la entrada, diferentes fases y salida a lo largo de los dos meses que han durado las campañas. Sólo hemos representado seis en las gráficas por mejorar su visualización pero hay que decir que el comportamiento de la planta piloto ha sido bastante homogéneo a lo largo de las campañas.

En la figura 6 podemos observar que la depuración simbiótica ha rebajado notablemente la carga contaminante de las aguas residuales procedentes de la elaboración de melocotón y pera en DQO, DBO y sólidos en suspensión. También se observa, como es lógico por otra parte, que no afecta al contenido salino, en todo caso se puede producir como en la mayoría de las depuradoras biológicas un pequeño incremento de la conductividad eléctrica debido a evaporaciones de agua. En relación al pH se observa que hay un incremento de aproximadamente uno o dos puntos. Veremos este hecho prácticamente en todas las ocasiones y es interesante porque significa que en las sucesivas fases la biomasa va ajustando el pH a niveles más óptimos para la actividad microbiana favoreciendo con ello la depuración..

Respecto al oxígeno disuelto se observa una evolución interesantísima porque ello va a incidir de manera muy significativa en el coste de la depuración de este sistema frente a otros que necesitan aportes externos de oxígeno mediante soplantes y difusores que encarecen tanto la instalación de las plantas como el coste del tratamiento. En este caso observamos que antes de filtrar el agua residual tiene un contenido importante de oxígeno disuelto debido con toda seguridad a la aireación aportada en el pretratamiento de flotación con adición de floculante que tiene la empresa, posteriormente con la filtración en el filtro de anillas se elimina bastante oxígeno disuelto y cuando se introduce en la planta piloto se observa un aumento muy notable en las primeras fases y más sostenido en las últimas hasta llegar a niveles de unas 10 ppm de oxígeno disuelto. Esta evolución asegura que el tratamiento sea en todo momento aerobio y, hay que volver señalar, con un aporte de oxígeno absolutamente natural.

Los rendimientos de la planta piloto en relación a la carga contaminante han sido muy significativos con reducciones mayores del 80 % en DQO y DBO en todas las muestras tomadas llegando hasta un 92 % en ocasiones y eliminando por encima del 50 % los sólidos en suspensión llegando hasta el 85 %.

Respecto al contenido en nutrientes el tratamiento de depuración simbiótica ha supuesto como media una disminución superior al 60 % de nitrógeno y fósforo en el agua de salida respecto al agua de entrada (figura 6.1.). El contenido tan elevado de fósforo es debido a que en el pretratamiento para ajustar el pH la empresa utiliza ácido fosfórico incrementando con ello el contenido en fósforo del agua residual.

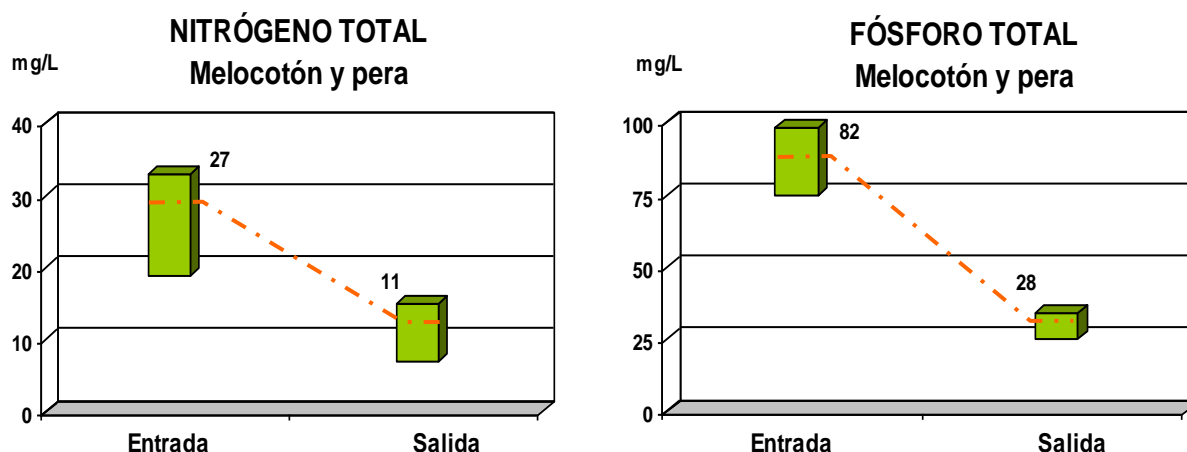


Figura 6.1.- Resultados obtenidos en el tratamiento de melocotón y pera en la planta 1. (nitrógeno y fósforo)

Un detalle muy importante es que los únicos lodos que se han generado en la planta piloto son los que se han producido en la filtración en el filtro de anillas de 100 micras. En las fases no se han sacado lodos en los dos meses que han durado estas campañas ni tampoco en las siguientes campañas que se han experimentado. Los restos de biomasa, los fangos, se han eliminado como sólidos en suspensión, por ello el nivel los mismos es mayor del esperado que debería de estar por debajo de 100 habida cuenta del tratamiento efectuado. Sería interesante disponer de un decantador con el fin de separar estos fangos y evitar su vertido a la red de saneamiento.

En las figuras 7 y 7.1 donde se exponen los resultados de aplicar la depuración simbiótica a las aguas residuales generadas en la elaboración de albaricoque observamos una evolución muy similar a la descrita para las aguas generadas en la elaboración de melocotón y pera.

El rendimiento de la planta piloto respecto a la DQO y la DBO han sido por encima del 90 % asegurando con ello valores siempre por debajo de los establecidos en la normativa. Los sólidos en suspensión también han tenido una disminución importante (por encima del 80 %) lo que también asegura el cumplimiento de la normativa. El pH y la conductividad han tenido un comportamiento similar al descrito anteriormente, esto es se mantiene el valor de la

conductividad y se ajusta el de pH incrementándose para adquirir valores más adecuados a la actividad microbiana.

La evolución del valor oxígeno disuelto vuelve a poner de manifiesto el mantenimiento del carácter aerobio de la actividad microbiana sin necesidad de aportes externos de oxígeno observándose un aumento de la concentración de oxígeno disuelto en todas las fases de la planta piloto hasta niveles por encima de 9 ppm muy por encima de lo necesario para mantener la depuración aerobia.

Respecto a los niveles de nitrógeno y fósforo se observa una disminución en los contenidos de ambos nutrientes a la salida de la depuradora respecto al agua de entrada (casi el 70 % de disminución en el caso del nitrógeno y menor en el caso del fósforo, cercano al 30%). En el caso del fósforo se observa que el contenido de las aguas de entrada es mucho menor ahora que cuando trabajábamos con aguas residuales de pera y melocotón, ello es debido a que en este caso no se utiliza el pelado químico en la elaboración de albaricoque y por lo tanto no es necesario usar ácido fosfórico para ajustar el pH de las aguas residuales

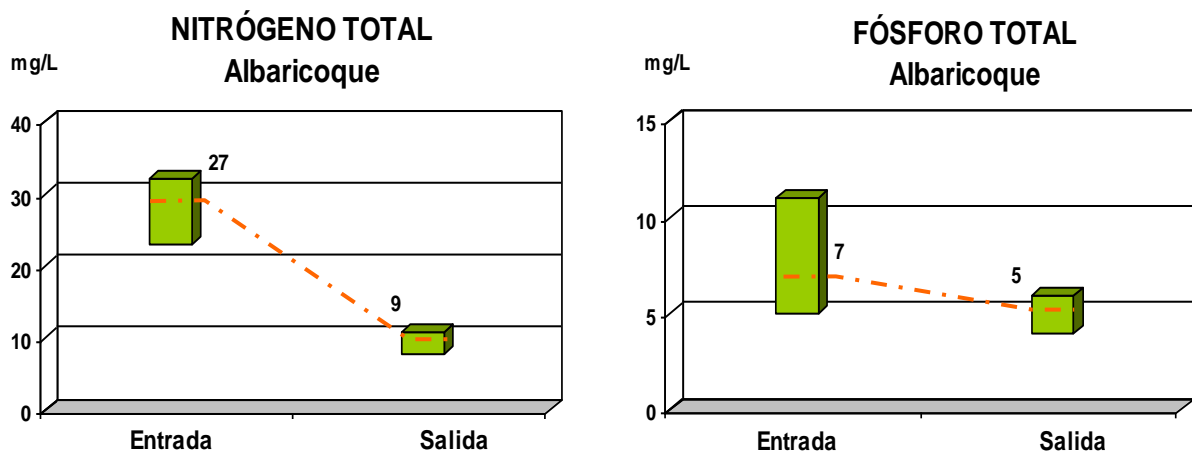


Figura 7.1.- Resultados obtenidos en el tratamiento de albaricoque en la planta 1. (nitrógeno y fósforo)

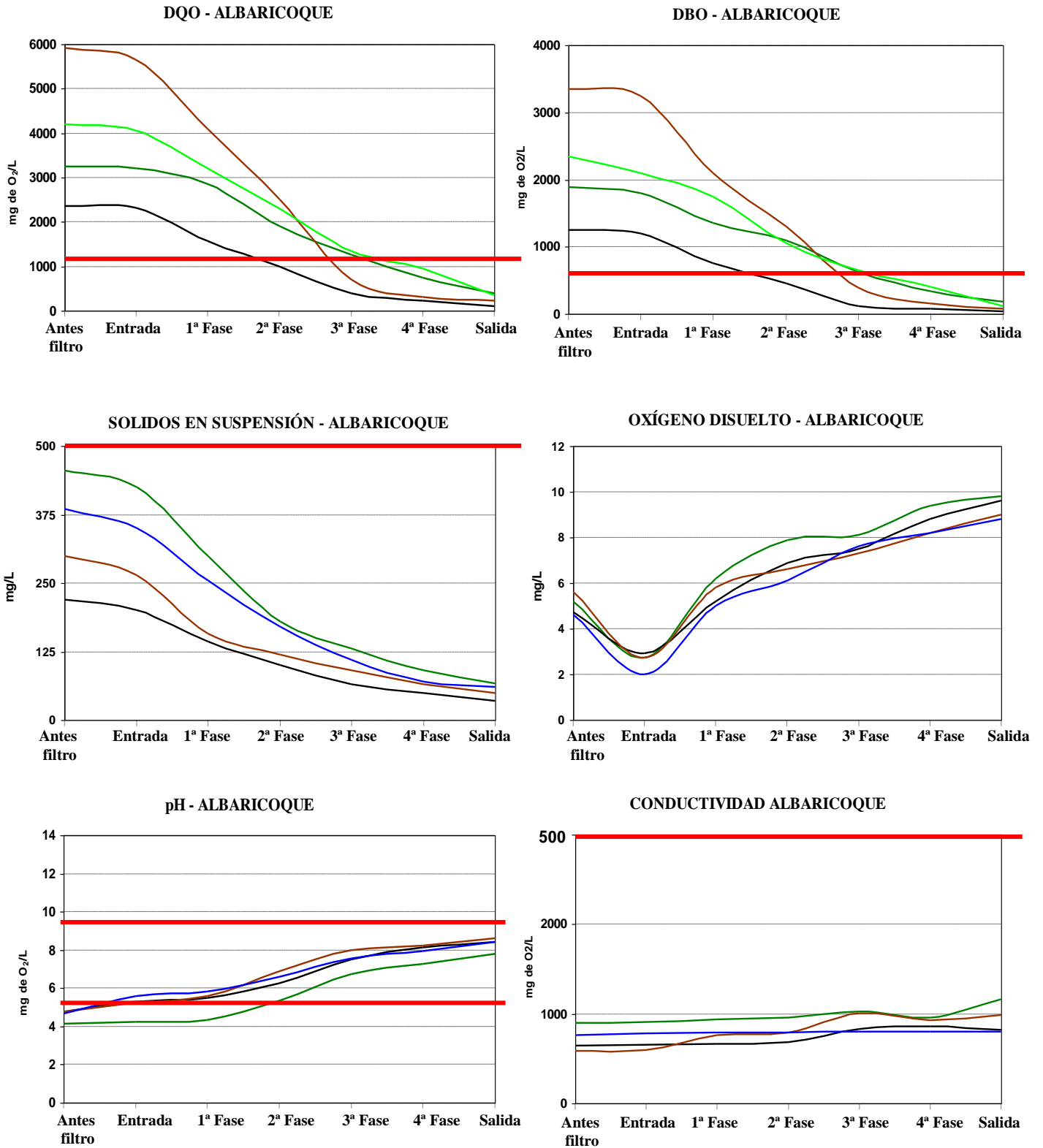


Figura 7.- Resultados obtenidos en el tratamiento de albaricouque en la planta 1. (pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO, sólidos en suspensión y oxígeno disuelto)

Si comparamos estos resultados con los obtenidos en la planta 2, recordemos que se hicieron algunos cambios de diseño y técnicos, menor espesor de las fases con una fase más, el doble de caudal de entrada y sin filtración previa, que se pueden observar en las figuras 8, 8.1, 9 y 9.1 donde se muestran los resultados obtenidos en la aplicación de la planta piloto en aguas residuales procedentes de la elaboración de alcachofa y fresa. De todo ello podemos sacar las siguientes conclusiones:

1. El rendimiento de la planta piloto 2 en relación a la DQO y la DBO, es decir la carga orgánica de las aguas residuales, oscila entre el 54 y el 70 % con una media del 62 % para la alcachofa y entre el 43 y el 64 con una media del 64% para la fresa. Podemos decir que aunque estos rendimientos son importantes no aseguran el cumplimiento de la normativa y son significativamente más bajos que los conseguidos con la planta 1. Ello, a tenor de la experiencia observada y de estos resultados nos indica que el pretratamiento de la planta 1 ayuda a que las características del agua de entrada a la planta piloto fuera mucho más homogénea favoreciendo el funcionamiento de la planta y el paso más lento del agua a través de las fases (en la planta 2 el paso era mucho más rápido debido al aumento de caudal y el espesor de las fases, también hay que decir que en esta planta hubo ciertos problemas de inclinación que hacia que aunque la introducción del agua a través de los goteros fuera homogénea la distribución a lo largo de las fases no lo fuera tanto influyendo este hecho también en peor funcionamiento de la planta 2 ya que esta tenía zonas muertas que no trabajaban correctamente).
2. Respecto a los sólidos en suspensión los rendimientos de la planta 2 han sido entre el 62 y 79% con una media del 68% para la alcachofa y entre el 62 y 85 % con una media del 69% para la fresa. Estos rendimiento aseguran el cumplimiento de la normativa y son bastante parecidos con los conseguidos por la planta 1; parece ponerse de manifiesto que la no filtración previa, el aumento de caudal y la disminución del espesor de las fases no afecta a este parámetro, en todo caso hay una mayor concentración de sólidos en suspensión en las aguas que salen de la planta 2 respecto a la planta 1. Es muy posible que no filtrar las aguas previamente a su entrada a la planta piloto también haya sido en parte responsable del peor funcionamiento de esta respecto a la planta 1.
3. Respecto al oxígeno disuelto se han observado diferencias apreciables entre el comportamiento de las dos plantas piloto mientras en la planta 1 en todas las fases se incrementaba el oxígeno disuelto de forma notable hasta alcanzar niveles entre 8 y 10 mg/L en la planta 2 este aumento es menos apreciable siendo la primera fase donde se incrementa de manera más significativa para a continuación incrementar en pequeña

medida o bien mantenerse. Es claro que estas diferencias están muy relacionadas con el caudal de entrada y el diseño de la planta piloto que hace que la velocidad de infiltración del agua en las fases sea mucho más elevada en la planta 2 que en la 1. en todo caso el nivel de 2 a 6 mg/L de oxígeno disuelto que se mantiene en todas las fases de la planta 2 en ambas campañas es suficiente para asegurar el funcionamiento aerobio de la planta sin aportes externos de oxígeno.

4. El pH y la conductividad tienen un comportamiento muy similar en ambas plantas. El pH se incrementa conforme el agua va avanzando por las fases, aunque en el caso de la planta 2 de forma más atenuada (por las mismas razones de velocidad de infiltración y caudal de trabajo) y la conductividad se mantiene más o menos constante a lo largo de todas las fases con ligeros aumentos.

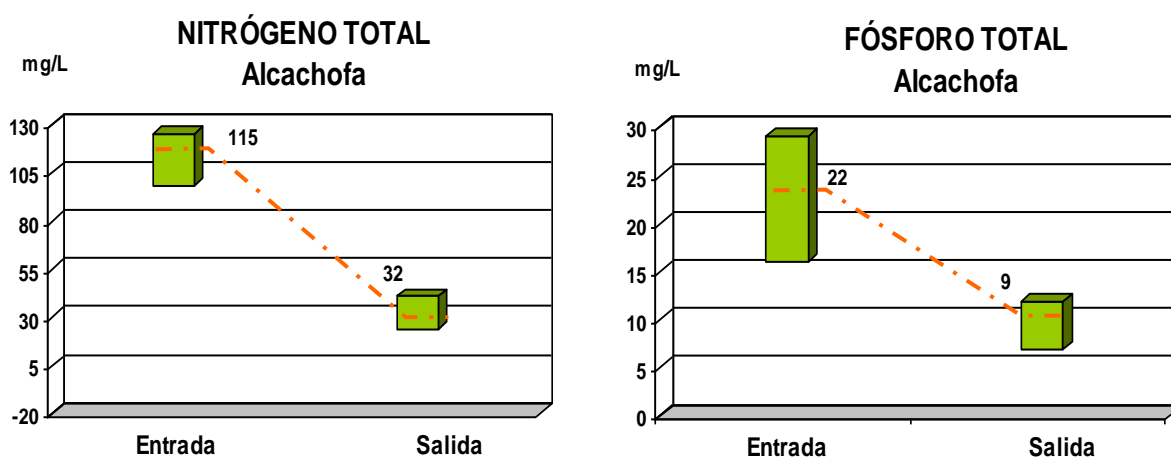


Figura 8.1.- Resultados obtenidos en el tratamiento de alcachofa en la planta 2. (nitrógeno y fósforo)

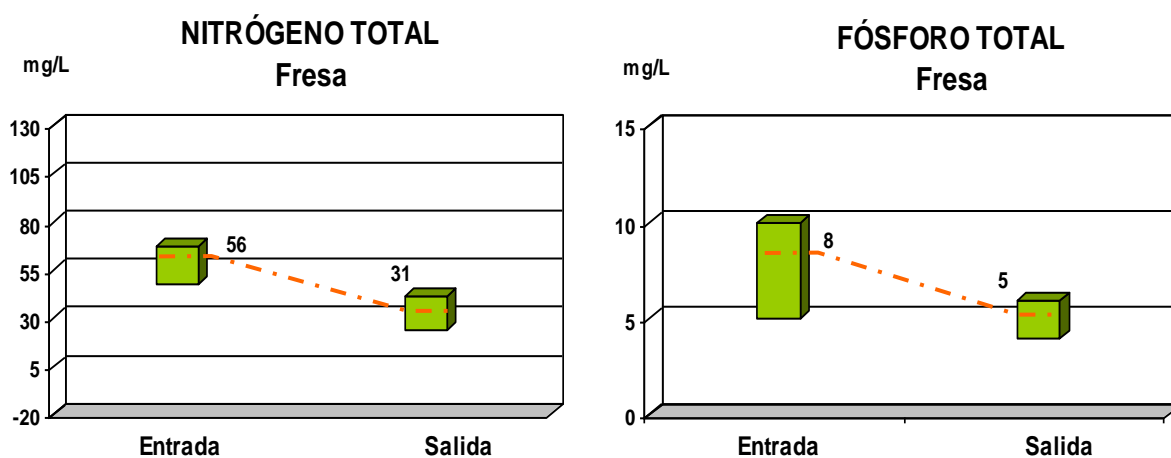


Figura 9.1.- Resultados obtenidos en el tratamiento de fresa en la planta 2. (nitrógeno y fósforo)

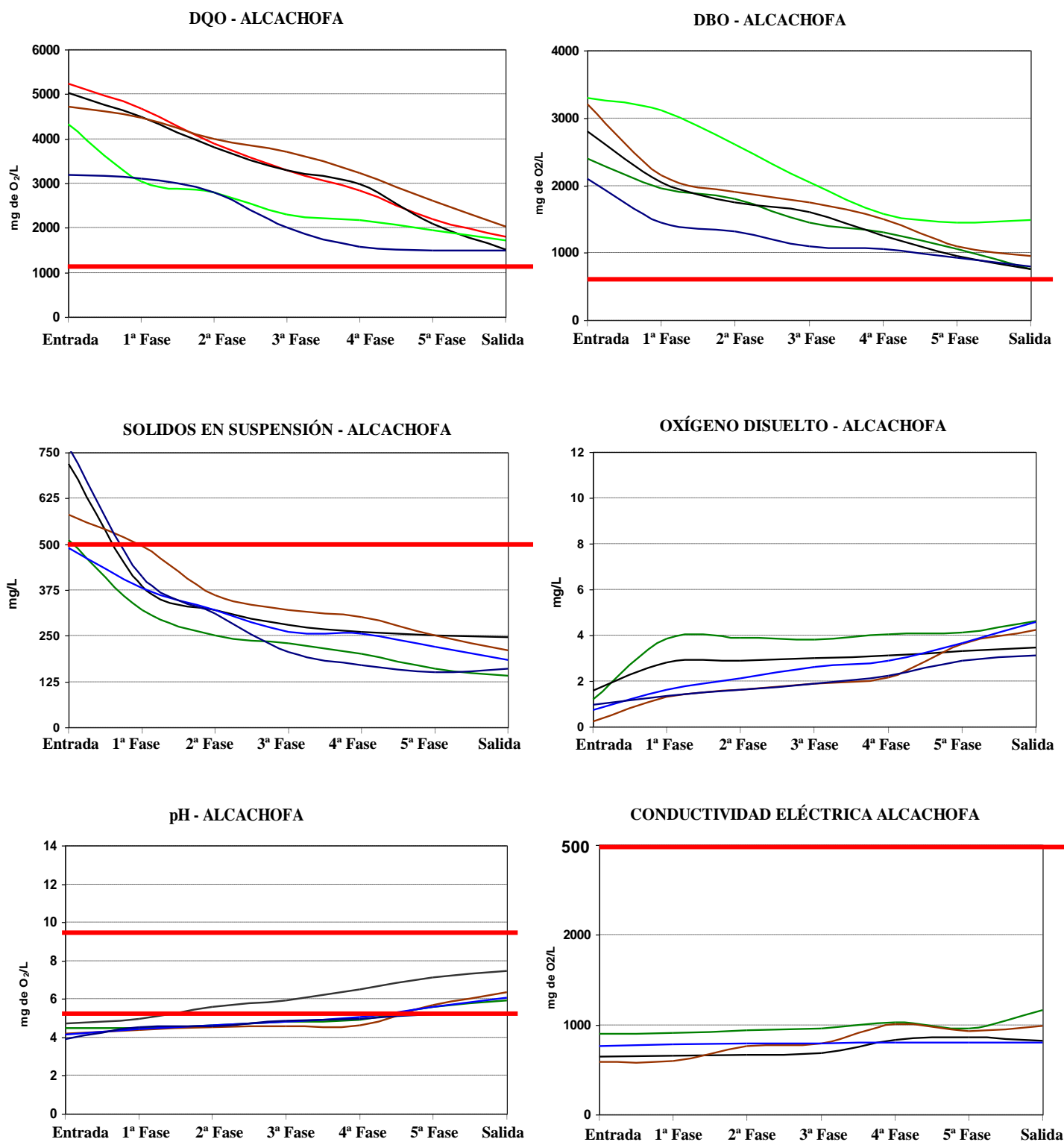


Figura 8.- Resultados obtenidos en el tratamiento de alcachofa en la planta 2. (pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO, sólidos en suspensión y oxígeno disuelto)

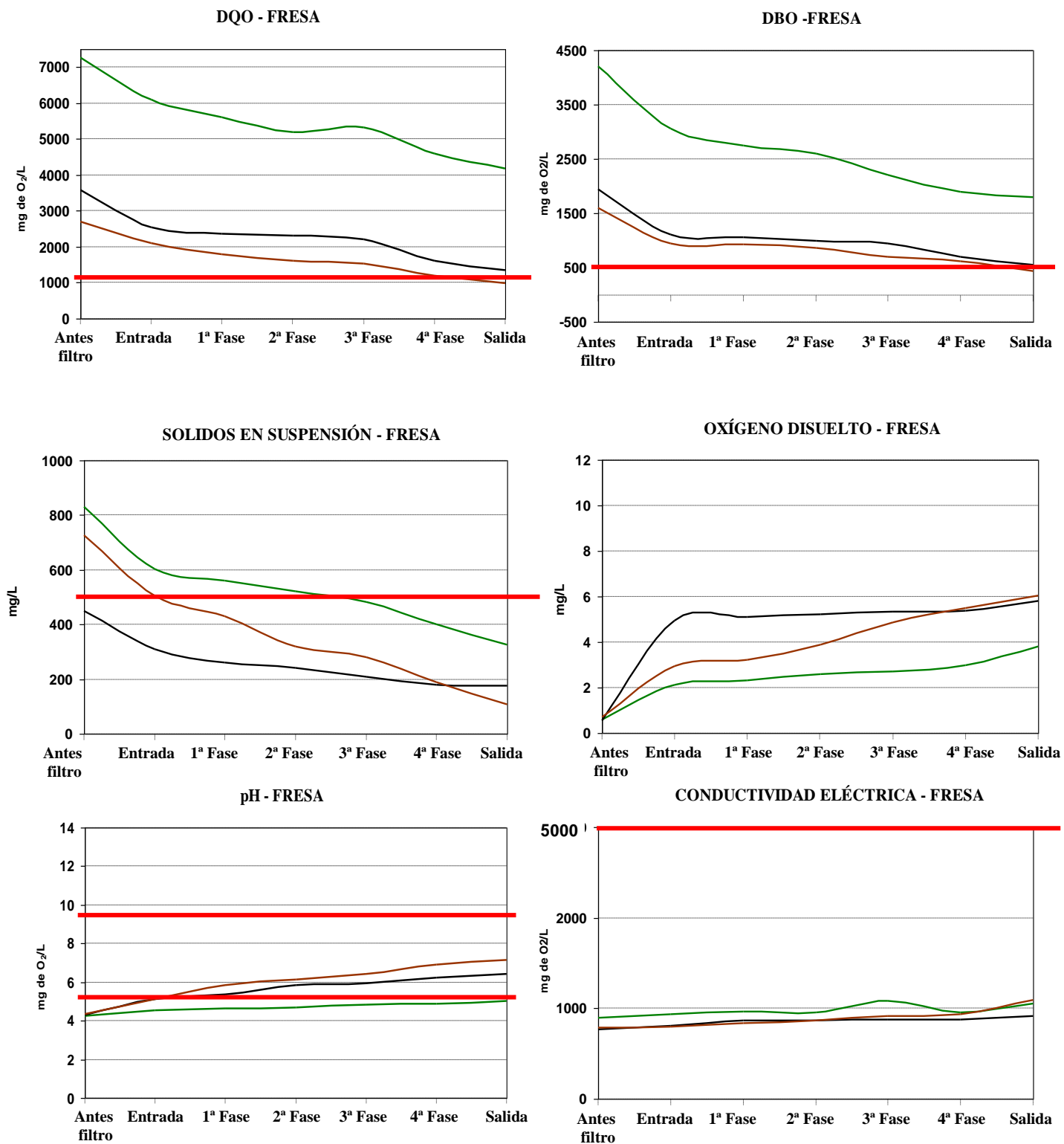


Figura 9.- Resultados obtenidos en el tratamiento de fresa en la planta 2.
(pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO, sólidos en suspensión y oxígeno disuelto)

2.3.2.- Adaptación del sistema a las singularidades de funcionamiento de este tipo de empresas (variabilidad de vertidos, irregularidad en la generación de aguas residuales, etc...).

Como se ha comentado en páginas anteriores uno de los inconvenientes de las depuradoras de tipo biológico implantado es la adaptación de la plantas depuradoras a la dinámica de funcionamiento de las empresas de conservas vegetales, es decir a la irregularidad de generación de vertidos fundamentalmente en relación al volumen generado (también en carga contaminante aunque en menor medida) y a las paradas intermitentes en la generación de vertidos. Hay que tener en cuenta que las depuradoras biológicas trabajan con microorganismos que son los encargados de degradar la materia orgánica y estos microorganismos son sensibles a cambios de las condiciones de trabajo y a la carencia de sustrato que los alimente que en este caso es la materia orgánica y los nutrientes de las aguas residuales. Por ello la no generación de aguas residuales supone paradas en la actividad microbiológica que después cuesta tiempo volver a activar, este tiempo puede ser de varias semanas.

En el caso de la depuración biológica simbiótica el diseño de la planta donde la biomasa esta fijada en una base de arcillas o grava que se mantiene o es fácil mantener con un elevado grado de humedad y con una oxigenación natural que a priori favorece el arranque de la depuradora o lo que es lo mismo el inicio de la actividad microbiana aerobia. Para ello hemos realizado varias pruebas de mantener la planta piloto parada, es decir sin aporte de sustrato orgánico (la prueba las hicimos en la planta 1 por ser la que mejor funcionaba) en una de las ocasiones la parada ha sido consecuencia del cese de actividad por parte de la empresa entre campañas, en este caso la parada fue de cuatro meses y la puesta en marcha de la depuradora hasta un funcionamiento correcto tuvo una duración de unos diez días a partir de los cuales el rendimiento de la planta se estabilizaba en el 80-90 % descrito en la campaña de albaricoque.

La segunda prueba fue mediante una parada intencionada de la planta piloto durante tres semanas entre las campañas de albaricoque y la de melocotón de este año 2008. En este caso la planta se puso en funcionamiento un viernes y la primera toma de muestras se realizó el lunes y los resultados de esta toma de muestras y otras posteriores, Tabla 3, ponen de manifiesto que la planta recupero su capacidad de depuración en los tres días que pasaron desde su puesta en marcha y la toma de muestras, observándose un rendimiento respecto a la DQO del 75- 85 % y para la DBO del 81- 91 %. En cuanto a los sólidos en suspensión el rendimiento es del 85%. Estos rendimientos aseguran el cumplimiento de la normativa para estos parámetros.

En relación al comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto se observan diferencias respecto a lo sucedido cuando la planta está en pleno funcionamiento, recordemos que en esta planta y para la misma campaña el oxígeno disuelto aumentaba progresivamente con el paso de las fases, en este caso lo que sucede es que en las primeras fases sufre un pequeño descenso y a partir de la 3ª empieza a subir de nuevo pero a niveles más bajos de los observados

anteriormente, en todo caso sigue manteniendo niveles de oxígeno disuelto entre 2 y 4 mg/L que asegura que el proceso sea aerobio de forma natural.

Lo que si parece evidenciar los datos obtenidos es que la planta soporta y se recupera bastante rápidamente con paradas de actividad de unas semanas y en poco tiempo consigue rendimientos adecuados para el cumplimiento de la normativa satisfactorios. Cuando la parada es de meses el tiempo para recuperar los rendimientos adecuados se alargan pero en este caso parece que también son algo más cortos y menos costosos que con otros sistemas de depuración biológica.

Tabla 3.- Datos de la planta piloto 3 y cinco días después de su puesta en marcha tras un periodo de tres semanas de estar parada

Tres días después	Unidades	Antes del filtro	Después del filtro	1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase	4ª Fase	5ª Fase
C,E	uS/cm	662	705	777	842	950	980	1130
Demanda Química de Oxígeno	mgO2/l	2306	2220	2394	1220	664	620	585
Demanda Biológica de Oxígeno	mgO2/l	1400	1360	1320	630	350	290	260
Fósforo	mg/L	10.1	11	13.2	7.8	6.8	4.4	4.5
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	24	23	20	12	7	8	5
Oxígeno disuelto	mg/L	5,6	2,7	2,4	2.1	1,9	2.5	2,8
pH		7,90	7,50	6,73	6.2	7,23	7.39	8,68
Sólidos en Suspensión	mg/L	210	175	145	130	75	70	30

Cinco días después	Unidades	Antes del filtro	Después del filtro	1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase	4ª Fase	5ª Fase
C,E	uS/cm	780	820	866	899	990	958	1048
Demanda Química de Oxígeno	mgO2/l	3217	3185	3120	2300	1682	755	485
Demanda Biológica de Oxígeno	mgO2/l	1860	1720	1760	1250	740	355	180
Fósforo	mg/L	11,5	11,3	10,8	10	9,5	9	8,4
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	33	37	29	16	13	11	8
Oxígeno disuelto	mg/L	6,6	4,7	5,2	4.66	2,8	3.5	3,8
pH		7,90	7,04	6,09	6.21	6,64	6.9	7,86
Sólidos en Suspensión	mg/L	430	270	320	212	140	124	65

2.3.3.- Necesidades de mantenimiento y gestión de la depuradora

Respecto al tratamiento de aguas residuales, un déficit importante que presentan las empresas de conservas es la falta de personal cualificado en temas relacionados con la depuración, aspecto muy lógico por otra parte, y además hay que señalar las dificultades que tienen las PYMES, en especial las pequeñas empresas para solventar este déficit. Por ello uno de los objetivos que nos marcamos con la realización de este estudio es verificar que efectivamente el mantenimiento y gestión de una planta depuradora simbiótica era, como se desprendería de trabajos anteriores con otros tipos de agua residual, más sencillo que otros tipos de depuradoras biológicas y no requiere personal especializado en depuración.

Una de las características más importantes de este tipo de depuradoras es la sencillez de la ingeniería con pocos elementos mecánicos. En realidad los únicos equipos que necesitan mantenimiento son los del pretratamiento de las aguas residuales (ajuste de pH y filtración) y el sistema de introducción de agua a la depuradora que es prácticamente igual al montaje de un sistema de riego localizado compuesto de un cabezal de filtración de anillas y las líneas de goteros con una gestión y un mantenimiento muy similares. Por ello la necesidad de personal cualificado queda reducida al necesario para mantener este sistema de introducción del agua a la depuradora en un estado adecuado para evitar obturaciones del sistema o un mal reparto del agua por toda la zona de depuración.

Otro aspecto que se ha observado es que de acuerdo con trabajos anteriores no genera bacterias filamentosas y por lo tanto no presenta problemas de bulking o foaming muy típicos de la depuración biológica por fangos activos (formación de espumas, exceso de fangos, dificultad de decantación de fangos, etc...). Nuestra experiencia ha sido en este tema positiva en el sentido que no hemos tenido en ningún momento problemas de este tipo como tampoco de generación de algas en las diferentes fases de depuración (aspecto muy característico en otros tratamientos de aguas residuales). En este caso el diseño de la planta evita estas generaciones.

En definitiva y ante la ausencia de equipos de aireación, elementos mecánicos complicados, necesidad de mantener unas condiciones de depuración sobre las que el usuario pueda incidir la necesidad de personal y manteniendo queda reducida al mantenimiento de los sistemas de pretratamiento del agua residual y al mantenimiento del cabezal de filtración por anillas y las líneas de goteros.

2.3.4.- Viabilidad económica

Desde el punto de vista económico son varias las ventajas encontradas de este sistema de depuración frente a otros tipos de depuración biológica. En primer lugar la no necesidad de aportar aireación externa supone un ahorro muy notable de inversión, pero también de costes energéticos. En este punto hay que diferenciar si las fases de la depuración simbiótica las ponemos distribuidas horizontalmente o verticalmente ya que en el caso de distribución horizontal hay que bombear entre fases bombeos que se evitan en el caso de distribución vertical. El consumo energético asociado a la depuración simbiótica es de 0.3 – 0.4 Kw/h en el caso de la distribución vertical frente al 0.6 – 0.9 que puede tener la distribución horizontal (el intervalo de consumo es porque además de bombear entre fases se puede filtrar en agua entre fases, este consumo es menor que el de plantas depuradoras biológicas tipo SBR o en continuo que oscila entre 1-1.4 Kw/h).

Otro aspecto destacable del ahorro de costes de este tipo de depuración frente a otros es el gasto en personal que como hemos comprobado necesita menor personal y menos cualificado que por lo que supone un ahorro importante en los gastos de explotación.

Finalmente la depuración simbiótica genera una cantidad de lodos notablemente menor que el SBR o la depuración biológica por lo que los gastos de gestión de los mismo son también considerablemente menores.

3.- CONCLUSIONES

Del trabajo realizado podemos extraer las siguientes conclusiones:

1. La depuración simbiótica ha demostrado ser efectiva en la depuración de aguas residuales generadas en industrias de conservas vegetales con un rendimiento en condiciones adecuadas superior al 80 % en la eliminación de materia orgánica (DBO y DQO) que es la principal carga contaminante de este tipo de aguas residuales.
2. La depuración simbiótica aplicada a aguas residuales de la industria de conservas vegetales se desarrolla de forma aeróbica sin aportes externos de oxígeno
3. Efectivamente el mantenimiento de la planta no necesita de personal cualificado en depuración
4. EL coste energético es menor en la depuración simbiótica (más significativamente en el formato vertical) frente a otros tipos de depuración biológica por la no necesidad de aporte externo de oxígeno.
5. La generación de lodos en la depuración biológica es considerablemente menor que en las depuradoras de fangos activos.
6. A la vista de los resultados obtenidos, esta tecnología de depuración es apta para el tratamiento del agua residual generada por la industria de conservas vegetales para las condiciones de funcionamiento actuales. Por tanto, podría considerarse una alternativa válida para el tratamiento de las aguas generadas por PYMES del sector de conservas vegetales.

4.- BIBLIOGRAFÍA

APHA (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition. American Public Health Association, Washington, D.C.

Best Available Techniques Reference Document on Food, Drink and Milk. Draft 2. Mayo 2003.

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.

Consejería de Agricultura, Agua y Medioambiente. (2004). Referentes para la calidad ambiental y la ecoeficiencia del sector de la agricultura e industria agroalimentaria en Murcia. Ed. Consejería de Agricultura, Agua y Medioambiente - Dirección General de Calidad Ambiental. 175 pp.

Díaz, F. (2004). Depuración simbiótica de aguas residuales urbanas. Proyecto Fin de Carrera Licenciatura en Ciencias Ambientales. Facultad de Química. Universidad de Murcia.

Fábregas González, J. 2001. Depuradora simbiótica de aguas residuales. ES 2,157, 861. Cl.7: C02F 3/04. 200000186, 16 Aug 2001

Llorens, M., Portero, S.; Sáez, J.; Aguilar, M.I.; Ortuño, J.F. y Meseguer, V.F. (2004). Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales urbanas de pequeños núcleos de población: la depuración simbiótica. Tecnología del Agua, 246, 38-44

Metcalf & Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización.* Ed. McGraw Hill Interamericana de España, S.A. Madrid.

Plazas, D. (2006). Aplicación de la depuración simbiótica al tratamiento del agua residual generada en una gasolinera. Trabajo Fin de Carrera Ingeniero Químico. Facultad de Química. Universidad de Murcia.

Portero, S. (2004). Aplicación de la depuración simbiótica al tratamiento de aguas residuales. Trabajo Fin de Carrera Ingeniero Químico. Facultad de Química. Universidad de Murcia.