

Estado en el que quedó la techumbre mudéjar tras la restauración en la que se desmontó por completo la armadura y se procedió a limpiar, consolidar y sustituir cada una de sus piezas.

## DEPURACIÓN DE AGUAS MEDIANTE LAGUNAJE MÚLTIPLE

SANTOS MARTÍN SÁNCHEZ

### RESUMEN

Los sistemas depurativos de bajo coste presentan ventajas e inconvenientes que deben tenerse en cuenta antes de su implantación. En este trabajo se analizan las características principales del lagunaje múltiple. Este sistema puede garantizar la depuración del agua residual generada por las pequeñas poblaciones con independencia de las vicisitudes económicas o de gestión que afecten a los municipios.

También, se proponen algunas transformaciones o ajustes de los lagunajes que deben ser tenidos en cuenta cuando surjan problemas de funcionamiento y se valoran los inconvenientes que tienen en relación a las ventajas que proporcionan.

*Palabras clave:* Aguas residuales, depuración, Extremadura, lagunaje, sistemas de bajo coste.

### 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso escaso pero fundamental para los seres vivos y la actividad económica de cualquier región, pero sobre todo, cada vez es más deficitaria su calidad. Por ello se hace necesaria la gestión de todas las aguas disponibles, buscando mantener la cantidad y conservar o mejorar la calidad. Difícilmente se conseguirá este objetivo sin optimizar su uso



y consumo, sin protegerla durante el almacenamiento y transporte, depurarla adecuadamente después del uso y darle aplicaciones sucesivas.

La gestión del agua debe abarcar todo su ciclo, pero de todas las medidas protectoras quizá sea la depuración la más importante porque permite dar nuevos usos a grandes masas de agua, impidiendo además que se degrade el cauce receptor.

La obligación de depurar las aguas usadas está recogida en la Directiva Europea, de 21 de mayo de 1991, que exige la instalación de sistemas depurativos, antes del 31 de diciembre de 2005, en todas las poblaciones de sus estados miembros con más de 2.000 habitantes equivalentes.

El habitante equivalente es una medida útil para evaluar la contaminación. A las aguas llegan contaminaciones de procedencia diversa: urbana, industrial, de actividades agrícolas, ganaderas, etc. Por ello, la cantidad y calidad de contaminantes es muy heterogénea y se debe buscar una forma universal de medida como el habitante equivalente (H. E.). Cuyo valor es aproximadamente la contaminación producida por una persona en ausencia de otros procesos durante un tiempo determinado.

Hace unas décadas a nuestros ríos llegaba el agua usada sin ningún tipo de tratamiento y sin embargo no producían contaminaciones importantes. Los contaminantes antiguamente se diluían y sus efectos dañinos eran inapreciables. Pero en la actualidad, utilizando sólo la dilución se correría el riesgo de contaminar de forma irreversible los cauces receptores. Por ello, se debe prestar mayor atención a los vertidos y dedicar más medios para depurar las aguas usadas antes de arrojarlas al medio natural.

No obstante, a pesar de los esfuerzos realizados en depuración, el agua de los ríos es de baja calidad. Las aguas naturales han alcanzado una situación crítica, que quizás nos haga reflexionar y buscar soluciones definitivas. De esta situación puede nacer una nueva «cultura del agua» que deje de considerar el recurso como un bien ilimitado y gratuito que admite todo tipo de vertidos.

Actualmente se admite que debe realizarse depuración de forma más extensiva e intensiva, pero ¿cuánto se debe depurar? El grado de limpieza que debe conseguirse en las aguas no está tan claro porque hay que tener en cuenta factores diversos y cambiantes. Hay casos en los que se está contaminando gravemente el medio natural a pesar del cumplimiento de la legislación vigente y, por otra parte, en ocasiones la normativa existente permite distintas interpretaciones. No obstante, parece adecuado tener como referencia la ley promulgada por la Directiva Comunitaria 91/127 que

propone no superar en los vertidos los siguientes valores de demanda biológica de oxígeno a los cinco días ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO) y de sólidos en suspensión (SS):

- $DBO_5$  (20° C.) < 25 mg /L.
- DQO < 125 mg/L.
- SS < 35 mg/L.

Si los vertidos se realizan en zonas sensibles, como muchos de los arrojados en Extremadura que van a parar a los vasos de los pantanos, deben controlarse el nitrógeno (N) y fósforo (P) de modo que no supere los parámetros siguientes:

- $N_{total}$  < 15 mg/L.
- $P_{total}$  < 2 mg/L.

También se debe conseguir que las aguas vertidas a los cauces públicos tengan suficiente oxígeno disuelto para la vida de los seres aerobios.

- Oxígeno Disuelto < 5 mg/L.

En cualquier caso, nunca deben comprometer los usos que posteriormente pueda dársele al agua.

Los vertidos de las pequeñas poblaciones, en contra de lo que podríamos pensar, representan riesgos más elevados de contaminar suelos y acuíferos que las grandes poblaciones. Esto se debe a que disponen de escasos medios para hacer frente a los costes de mantenimiento de sus EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales).

Con frecuencia, la construcción de depuradoras está garantizada mediante la aportación de fondos públicos regionales, nacionales o comunitarios. Pero las entidades que financian las construcciones sólo se responsabilizan del mantenimiento hasta que termina el periodo de puesta en funcionamiento. Posteriormente todos los costes deben ser sufragados por los municipios. Si el sistema implantado es tecnológico, los pequeños municipios que tienen escasos presupuestos suelen pasar dificultades para afrontar los gastos de la energía eléctrica. Con frecuencia a los sistemas de depuración con tecnología se les da el nombre de convencionales o tradicionales, por ser de aplicación frecuente para las grandes poblaciones. Pero esto no indica que sea el procedimiento más conveniente para las poblaciones con menos de cinco mil habitantes equivalentes.



Existen, además, métodos químicos para tratar las aguas de procedencia urbana, pero los subproductos de la depuración biológica son inocuos, mientras que los productos químicos no. La materia orgánica de las aguas residuales es utilizada como nutrientes por los seres vivos que colonizan el agua, por lo que su eliminación es barata, sin embargo los productos químicos tienen elevado coste. Por ello, los procesos depurativos de tipo químico sólo son recomendables para grandes plantas de tratamiento y con personal especializado.

No obstante, la depuración biológica tiene restricciones. Debemos tener en cuenta que para depurar en condiciones aerobias las aguas residuales no deben sobrepasar los 500 mg de  $\text{DBO}_5/\text{L}$ . Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, ¿qué opción deberíamos escoger, la tecnológica o la de bajo coste?

Se propone como más viable para las pequeñas poblaciones (con menos de 5.000 H.E.) la depuración natural de bajo coste porque en la depuración tecnológica se necesitaría invertir entre 0,21 euros/ $\text{m}^3$  (35 Ptas./ $\text{m}^3$ ) y más de 0,3 euros/ $\text{m}^3$  (50 Ptas./ $\text{m}^3$ ), según fuera el rendimiento y el tamaño de la planta. Se estima que una población de 5.000 H.E. podría tener un gasto para el mantenimiento de la depuradora próximo a 120.202 euros (20 millones de pesetas) al año, gasto que muchos municipios no pueden asumir.

Por otra parte, las plantas denominadas de depuración convencional tienen un elevado grado de tecnificación, por lo que la dirección técnica tendrá que ser ocupada por personal cualificado que no se encuentra, generalmente, entre los vecinos de las pequeñas poblaciones.

Sin embargo el coste de la depuración natural, no tecnológica, es mucho menor. Hay gran variedad de depuradoras biológicas de bajo coste. Una de las opciones más interesante es el lagunaje múltiple, siempre que se disponga de terrenos adecuados. Este sistema depurativo se ha propuesto frecuentemente para cubrir las necesidades de pequeñas poblaciones extremeñas, pero pocas veces se han llegado a ejecutar los proyectos. Las causas que iremos analizando, por las que el lagunaje no ha tenido la aceptación que cabría esperar, han podido ser múltiples.

El lagunaje múltiple consiste en el almacenamiento de aguas en lagunas construidas para este fin, con una profundidad y extensión superficial adecuados para cubrir las necesidades de depuración. Las aguas permanecen en los estanques durante un tiempo prolongado, hasta que se estabiliza la materia orgánica. Todos los componentes de las aguas a depurar sufren transformaciones de fermentación, putrefacción, oxidación, etc., y

por fin son consumidos por los seres vivos que habitan las aguas, convirtiéndose en moléculas estables que forman parte de la materia viva.

Los problemas que ocasionan los almacenajes del agua en las lagunas son, generalmente, mínimos en relación con los beneficios que proporcionan. Sin embargo, se ha extendido la creencia, entre políticos y autoridades que tienen responsabilidad en la construcción y mantenimiento de las depuradoras municipales, que el lagunaje convierte los territorios adyacentes a las poblaciones en zonas pestilentes y con riesgos sanitarios.

Para instalar este sistema depurativo se necesitan terrenos adecuados. Las lagunas se excavan en plataformas acondicionadas previamente o en terrenos naturales aplanados. Aproximadamente se necesitan de 20 a 40  $\text{m}^2/\text{HE}$ .

Estos terrenos deben estar dispuestos según la escorrentía natural de las aguas y a más de un kilómetro de la zona habitada, pero no excesivamente alejados de las poblaciones para que el agua residual circule por gravedad, no tarde en llegar y entre fresca a la depuradora.

No es un sistema depurativo que transforme el agua con rapidez, por ello se confunde en ocasiones la lentitud con baja eficacia depurativa. Las aguas a regenerar deben permanecer en la depuradora de lagunaje múltiple unos cuatro meses por término medio, frente a menos de un día que permanecen en las plantas tecnológicas.

Además, faltan modelos en el entorno próximo para fijarse en las características constructivas o en la eficacia depuradora. A los responsables de la depuración les da mayor garantía comprobar el funcionamiento de una planta ya construida que disponer de una estúpida declaración de intenciones recogida en cualquier proyecto. Sobre todo, teniendo en cuenta que en la Comunidad Extremeña se han realizado costosas obras de ingeniería sanitaria que quedaron como grandiosos monumentos a la inutilidad.

## 2. TIPOS DE LAGUNAJES

Existen muchos modelos de lagunajes, según sean los criterios utilizados para clasificarlos: como el oxígeno disuelto en el agua, el tipo de bacterias dominantes, la mezcla que se produce en las aguas, el mecanismo empleado para aportar oxígeno a las aguas, la disposición de las lagunas en el sistema depurativo, etc. Todos estos tipos quedan reflejados en la figura 1.



CRITERIOS	CARACTERÍSTICAS	TIPO DE LAGUNAJE
OXÍGENO DISUELTO	Ausente en toda la columna de agua.	ANAEROBIO
	Sin O <sub>2</sub> en zonas profundas, con O <sub>2</sub> en superficie.	FACULTATIVO
	Existe en toda la columna de agua	DE OXIDACIÓN
TIPO DE BACTERIAS QUE EXISTEN	Viven en ausencia de oxígeno	ANAEROBIO
	Pueden vivir con oxígeno y sin oxígeno	FACULTATIVO
	Sólo viven con oxígeno disuelto.	AEROBIO
MEZCLA DE AGUA	Lagunas estáticas que no mezclan agua.	DE ESTABILIZACIÓN
	Hay remoción parcial del agua	DE ESTRATIFICACIÓN
	Con mezcla del agua y oxígeno homogéneo	HOMOGÉNEO
FORMA DE APORTAR OXÍGENO	Sin agitadores. Oxigenación por la fotosíntesis de algas	NO AIERADO
	Se introduce O <sub>2</sub> atmosférico mediante palas superficiales	A. SUPERIORMENTE
	Se introduce O <sub>2</sub> desde el fondo con equipos neumáticos	A. DESDE EL FONDO
POSICIÓN DE LA LAGUNA EN EL SISTEMA	Situadas en la cabecera	PRIMARIO
	Situadas a continuación de las primarias.	SECUNDARIO
	Situadas después de las 2 <sup>ñas</sup> . Pueden existir 4 <sup>ñas</sup> , etc	TERCIARIO
FORMA DE ALIMENTACIÓN DESCARGA	Con entrada y salida continua	DE FLUJO-PISTÓN
	Se llenan, almacenan largo tiempo y se vacían.	SEMICONTINUO
	Todo el agua se evapora antes de salir	DE RETENCIÓN TOTAL
TIPOS LAGUNAS	Con una laguna: anaerobia, facultativa o aerobia	SIMPLE
	Formado por varios tipos de lagunas.	MÚLTIPLE

FIGURA 1.—Clasificación de los lagunajes

Pueden existir lagunajes sencillos con un solo tipo de lagunas anaerobias, facultativas o aerobias, pero en otras depuradoras hay varios tipos de lagunas colocadas en serie y en paralelo. El lagunaje múltiple es más eficaz que cualquier otro y por ello en adelante vamos a centrarnos en este tipo.

Son frecuentes las instalaciones de lagunaje múltiple que llevan la fase anaerobia y facultativa en paralelo, mientras que la fase de maduración está formada por varias lagunas que se dispone en serie. En la figura 2 se han representado esquemáticamente la disposición, de frecuente aplicación, en una instalación mixta.

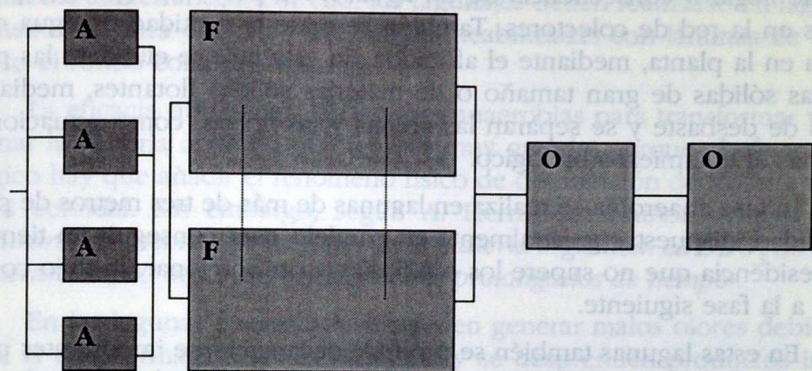


FIGURA 2.—Representación esquemática de una planta con lagunas anaerobias (A), facultativas (F) y de oxidación (O) dispuestas en paralelo y en serie. Con opción de intercomunicar las lagunas facultativas

Existen, por tanto, muchos modelos de lagunajes porque cada estación depuradora debe satisfacer necesidades singulares y cada localidad utiliza un medio físico distinto para ubicar su estación depuradora. Se puede decir que no existen dos depuradoras iguales, incluso, aunque la geometría de las lagunas sea igual, el funcionamiento será distinto porque en cada uno se implanta su propio ecosistema.

Parece común a todos los lagunajes múltiples el elevado grado de depuración alcanzada, ser sistemas fiables para realizar la depuración de pequeñas poblaciones y proporcionar valor añadido de carácter medioambiental al área donde se instalan. Por ello haremos una descripción de sus características, sus ventajas y sus inconvenientes, comparándolo con otros sistemas tradicionales.

### 3. FASES DE LA DEPURACIÓN POR LAGUNAJE MÚLTIPLE

Los lagunajes múltiples que se pueden diseñar son muy variados. Una instalación típica constaría de fase de pretratamiento, fase anaerobia, fase facultativa y fase aerobia, cuyos procesos depurativos vamos a describir.

Durante el pretratamiento se desvía, mediante aliviaderos o rebosaderos, el caudal que sobrepasa el límite de diseño de la planta y que



puede llegar a consecuencia de un aguacero o por descargas excepcionales en la red de colectores. También se mide la cantidad de agua que entra en la planta, mediante el aforador. En esta fase se eliminan las partículas sólidas de gran tamaño o de materias sólidas flotantes, mediante rejillas de desbaste y se separan las arenas y las grasas, como actuaciones previas al tratamiento biológico.

La fase anaerobia se realiza en lagunas de más de tres metros de profundidad, dispuestas generalmente en paralelo para conseguir un tiempo de residencia que no supere los 4 ó 5 días y proporcionar un flujo continuo a la fase siguiente.

En estas lagunas también se produce decantación e importantes procesos biológicos anaerobios, tanto en las aguas como en los lodos decantados. Debido a la existencia de procesos anaerobios, se aconseja disminuir al máximo el contacto del agua con el aire, reducir la superficie de las lagunas y aumentar la profundidad. La eficacia depurativa en estas lagunas mejora cuando se construyen los taludes sobresaliendo de la lámina de agua para que la protejan de los vientos. También ayuda al buen funcionamiento colocar las entradas alejadas de los taludes, hacia la mitad de la columna de agua y dirigidas desde abajo hacia arriba, de modo que solamente ocasionen un flujo muy lento ascendente y se favorezca la formación de fango granular.

La transformación de la materia orgánica en condiciones anaerobias es muy rápida, pero los productos resultantes son todavía altamente tóxicos. El agua y los lodos durante el tiempo que permanecen en las lagunas anaerobias pasan por una fase hidrolítica, que rompe las grandes moléculas en otras más pequeñas y generalmente solubles. Posteriormente una fase acidógena transforma las moléculas resultantes de la fase anterior en ácidos, aldehídos, alcoholes o cetonas. Por último, la fase metanógena transforma los productos anteriores en metano, anhídrido carbónico y agua.

Las bacterias anaerobias que trabajan durante las fases hidrolíticas y acidógenas lo hacen a pH entre 5,8 y 7,5. El intervalo de temperaturas debe estar comprendido entre 10° C. y 60° C. Por el contrario, las bacterias que actúan durante la fase metanogénica lo hacen a pH entre 6,8 y 7,5, temperaturas comprendidas entre 30° C y 35° C. y con carencia absoluta de oxígeno. Estas condiciones, principalmente las temperaturas, se mantienen cuando las lagunas son profundas.

Es importante que las lagunas anaerobias estén aisladas porque contienen productos altamente tóxicos que pueden contaminar los suelos y

acuíferos subterráneos. Por ello, los lagunajes deben realizarse en lagunas construidas para este fin y bien impermeabilizadas con láminas de PVC, tanto el fondo como los taludes.

La eficacia que tienen las lagunas anaerobias para transformar y eliminar la materia orgánica del agua es muy grande, porque al efecto biológico hay que añadir el fenómeno físico de decantación de materia orgánica coloidal. Sin embargo, según A. Hernández Muñoz «*Nunca debe saturarse el sistema con sobrecarga de materia orgánica. La DBO<sub>5</sub> no debe superar los 300 mg/L. durante periodos prolongados de tiempo.*»

En las lagunas anaerobias se pueden generar malos olores debido a que la transformación no es completa y se desprenden productos intermedios de Sulfuro de Hidrógeno, ácidos orgánicos, mercaptanos, Escatol, etc. Pero si el funcionamiento es correcto, y se llegan a formar como productos finales dióxido de carbono y metano, los olores son prácticamente inapreciables.

Las aguas en esta fase de depuración deben estar tranquilas, sin que los flujos de agua sean rápidos. Deben aparecer esporádicamente burbujas en la superficie, que corresponden al desprendimiento de metano. El color



FIGURA 3.—Lagunas anaerobias en paralelo. Sierra de Fuentes (Cáceres)



de las aguas debe ser gris, ocasionado por la formación de sulfuros metálicos y no se deben apreciar algas ni costras en la superficie.

Los problemas más frecuentes que en ellas se detectan son desprendimiento de malos olores, aparición de algas flotando en la superficie y existencia de macrofitas en los taludes. En ocasiones las aguas se tiñen de color rosa debido a la existencia de bacterias purpúreas de azufre que son fotosintéticas. Producen fotosíntesis anoxigénica, utilizando el Sulfuro de Hidrógeno ( $H_2S$ ), en vez del agua que utiliza la fotosíntesis oxigénica, para captar el hidrógeno e introducirlo en las moléculas orgánicas.

La solución a estos problemas exige limpieza y reajustes en las lagunas para conseguir condiciones de trabajo idóneas, sobre todo hasta que se implanten las bacterias metanogénicas y se consigan las condiciones que propician transformaciones anaerobias, que han sido descritas anteriormente.

En cuanto a la fase facultativa es muy importante en el proceso depurativo porque aumenta la calidad del agua que sale de la fase anterior y la clarifica, permitiendo que existan algas hasta una cierta profundidad. El agua residual se transforma intensamente mediante acciones anaerobias en el fondo y acciones aerobias en la superficie de las lagunas.

Las lagunas de esta fase tienen una profundidad aproximada de 1,5 m., generalmente se construyen en número par, con la extensión superficial adecuada para que el tiempo de residencia hidráulica esté próximo a los 30 días. El número de entradas, salidas e intercomunicaciones entre las lagunas debe ser múltiple para que se produzca mezcla total de las aguas.

El color de las aguas en estas lagunas, cuando el funcionamiento es correcto, debe ser verde intenso por la abundancia de algas clorofíceas de sus aguas. La actividad fotosintética realizada por estas algas proporciona un pH ligeramente alcalino, en torno a 8. También debido a la actividad fotosintética de las algas, en las aguas superficiales de las lagunas hay más de 2 mg/L. de oxígeno disuelto.

Nunca deben producirse olores en las lagunas facultativas porque los gases procedentes de las zonas profundas son oxidados en superficie y utilizados como nutrientes por los abundantes seres vivos que habitan sus aguas. Los alginatos desprendidos por las algas y la tranquilidad ambiental del agua proporcionan la precipitación de sólidos en suspensión y la clarificación del agua, que a su vez facilita que entre la luz solar hasta zonas más profundas.

Durante la fase facultativa se rebajan los nutrientes disueltos en las aguas entre 40 y 90%. Se estabiliza la materia orgánica putrescible, al convertirse en materia viva celular de algas y bacterias. Hay paso de sulfuros a sulfatos, debido a las condiciones oxigénicas sobre todo en la superficie. También son importantes en las lagunas facultativas las reacciones de óxido-reducción y las de nitrificación-desnitrificación. Las acciones biológicas que dan lugar a estas transformaciones son: fotosíntesis de las algas y el metabolismo heterótrofo, muy intenso, de las bacterias. Algas y bacterias se encuentran en simbiosis.

Cuando las condiciones de trabajo no son las adecuadas puede pasar toda la columna de agua a condiciones anaerobias y producir malos olores. La disminución del oxígeno superficial por debajo de 2 mg/L. puede estar ocasionada por la disminución de clorofila a niveles inferiores a 250  $\mu\text{g/L}$ . en verano y de 200  $\mu\text{g/L}$ . en invierno. Cuando las temperaturas del agua suben por encima de 28° C. se sustituyen las algas verdes por algas verde-azules que son menos eficaces en la producción de oxígeno. Si el contenido de ácido sulfhídrico es importante, debido a permanecer las aguas durante largas temporadas en condiciones anóxicas, pueden proliferar bacterias fotosintéticas de azufre y teñirse las aguas de color púrpura (ver figura 5).

Los problemas comentados pueden solucionarse mediante el ajuste de las condiciones ambientales de las lagunas, modificando los tiempos de residencia hidráulica y la altura de la columna de agua. También es imprescindible la limpieza de los taludes y caminos de la planta depuradora.

En las lagunas de oxidación-maduración el agua aumenta la calidad química y bioquímica, mediante la actuación de seres aerobios que forman complejas redes tróficas y consiguen la eliminación casi completa de nutrientes, de patógenos y la clarificación del agua.

El conjunto de las lagunas, generalmente más de dos, se suele disponer en serie, mientras que las de las fases anteriores suelen colocarse en paralelo. Sus superficies se calculan teniendo en cuenta que la profundidad de la columna de agua es aproximadamente de 0,6 m. y que el tiempo de residencia hidráulica debe estar en torno a 8 días.

Las entradas de agua pueden ser múltiples, mediante tubos agujereados que se llaman tubos flauta, dispuestos en el fondo de las lagunas. Los agujeros existentes a lo largo del tubo tienen la finalidad de mezclar y homogeneizar las aguas con mayor rapidez.



El oxígeno en disolución del agua debe estar por encima de 4 mg/L. Esto permite la existencia de una red trófica compleja de algas, bacterias, protozoos, ranas, peces, macrofitas, aves, etc. No obstante, la proporción de algas existentes en estas aguas es mucho menor que en las lagunas facultativas, lo que le da color menos intenso y mas transparencia. La luz solar llega fácilmente al fondo de la laguna y esto permite el desarrollo de algas bentónicas.

Durante la fase depurativa de oxidación-maduración se estabiliza totalmente la materia orgánica y deja de ser putrescible, hay importante rebaja de nutrientes, la oxigenación del agua es intensa, pudiendo alcanzar valores por encima de 8 mg/L. en los días más favorables. La importancia del metabolismo existente y los altos valores de oxígeno disuelto producen la eliminación, prácticamente total, de patógenos.

Los principales problemas que se detectan en esta fase son: exceso de macrofitas emergentes, exceso de algas en suspensión y aumento de salinidad debido a la evaporación intensa. Sin embargo, es difícil que en esta fase se encuentren sulfobacterias, que indicarían un funcionamiento muy deficiente de toda la planta. Cuando las temperaturas ambientales son elevadas pueden sustituirse las algas clorofíceas por cianofíceas, que proporcionan menos oxígeno a las aguas.

Los problemas citados se solucionan teniendo la planta bien ajustada, sobre todo en las fases anteriores, mediante la cosecha periódica de macrofitas y la limpieza de taludes. También es conveniente conseguir efluentes de calidad evitando la evaporación y salinización por prolongar en exceso el tiempo de residencia hidráulica.

Generalmente la depuración por lagunaje múltiple es ventajosa respecto a la depuración tecnológica para las poblaciones pequeñas que dispongan de terrenos adecuados, pero también plantea algunos problemas que conviene conocer antes de su implantación.

#### 4. PROBLEMAS QUE PRESENTA LA DEPURACIÓN POR LAGUNAJE MÚLTIPLE

Antes de instalar cualquier sistema depurativo, sobre todo cuando sea de depuración natural, es necesario conocer bien las características ambientales en las que debe trabajar, la cantidad y calidad del agua que debe depurar, los medios financieros disponibles para hacer frente a la construcción y el mantenimiento de la depuradora durante toda su vida

útil. Pero con frecuencia los estudios previos, que parecen totalmente indispensables y obvios, no se realizan. Se suele calcular su diseño con datos estándar que en muchas ocasiones no coinciden con los datos reales. Por ello los proyectos y las obras que posteriormente se realizan suelen ser inadecuados para cubrir las necesidades.

Además del problema de planificación que también afecta a otros proyectos, los lagunajes múltiples presentan aspectos negativos propios:

- Ocupan extensos terrenos.
- Transforman el agua lentamente.
- Pueden producir infiltraciones de aguas poco depuradas.
- Salinizan el agua.
- Arrojan al medio receptor fitoplactón.
- Dejan en el agua elevada tasa de nutrientes.
- Dan malos olores.
- Hacen proliferar los mosquitos.
- Faltan modelos en funcionamiento.

Pasamos seguidamente a analizar cada uno de estos problemas. Aunque, hay instalaciones en las que no se plantean estas dificultades, en muchos casos se pueden minimizar realizando las correcciones oportunas y dando los usos más adecuados al agua, incluso, pueden aportar beneficios.

##### 4.1. Los lagunajes múltiples ocupan extensos terrenos

La extensión del terreno ocupado por los lagunajes es variable. En los lagunajes profundos, con profundidades comprendidas entre 6 y 10 m., se consiguen tiempos de retención superiores a 100 días y el espacio ocupado es reducido. En estos lagunajes, según BERNAL, *«hay importantes transformaciones de la materia orgánica, la remoción de bacterias, virus y patógenos es similar a la de otros sistemas de lagunaje, pero los efluentes son de pobre calidad»*. Lo más frecuente es que las aguas se refinan con posterioridad o se empleen para riego, en cuyo caso el suelo vegetal proseguiría la depuración y haría las funciones de filtro verde. No obstante, ahora nos interesa principalmente el lagunaje múltiple.





FIGURA 4.—Laguna facultativa con 9.000 m<sup>2</sup> de extensión perteneciente a la depuradora de Casar de Cáceres (Cáceres)

Los lagunajes múltiples ocupan extensión variable dependiendo de los criterios de diseño. En general, podríamos considerar suficiente cuatro hectáreas por cada 1.000 habitantes equivalentes.

De cualquier modo, los terrenos de secano próximos a las pequeñas poblaciones suelen valorarse, en las expropiaciones realizadas para la construcción de infraestructuras de interés social en torno a 300,51 euros/Ha (50.000 pts/Ha). Por ello, para una población de 2.000 H.E, se estima un gasto en terrenos no superior a 60.101 euros (diez millones de pesetas aproximadamente). Pero, además, es frecuente que en muchos municipios haya terreno público disponible o que pueda ser permutado por el terreno más adecuado para la implantación de la depuradora.

El coste de los terrenos utilizados para implantar las depuradoras de lagunaje representa una cantidad reducida frente a los 1.502.530 o 1.803.036 euros (doscientos cincuenta o trescientos millones de pesetas) que deben invertirse, por término medio, para construir una planta tecnológica con prestaciones similares.

Si se tienen en cuenta los gastos de mantenimiento, las ventajas del lagunaje son incuestionables.

Además, en los territorios con balance hídrico negativo estas instalaciones proporcionan grandes beneficios ecológicos, como se comentará más adelante y que justificarían sobradamente las inversiones realizadas en la adquisición de los terrenos.

#### 4.2. La depuración natural por lagunaje transforma el agua lentamente

Las transformaciones producidas en las lagunas naturales son más lentas que los cambios producidos en las depuradoras tecnológicas, pero esto no significa que tengan menor eficacia depurativa. Con frecuencia se confunde la depuración lenta con la falta de eficacia depurativa. No es más eficaz la depuración que se realiza rápidamente, sino la que tenga mayor capacidad de transformar las sustancias contaminantes en otras beneficiosas para la naturaleza.

Deberíamos tener presente que las transformaciones producidas de forma natural son mucho más eficaces que las artificiales, porque la naturaleza ha ido adaptando y ajustando los sistemas depurativos durante una larga historia evolutiva, mediante ensayo-error, hasta conseguir encadenar todos los procesos de la forma más ventajosa.

Los sistemas de depuración natural, poco a poco van transformando las sustancias contaminantes en otras que proporcionan beneficios al medio ambiente. Las materias contaminantes que arrojamamos al agua, en ocasiones por inconsciencia o ignorancia, son aprovechadas como nutrientes por los seres vivos que las habitan. Como resultado de estas transformaciones queda agua sin contaminar y gran cantidad y variedad de seres vivos. Para conseguir estos cambios, las plantas de lagunaje tardan semanas o meses mientras que las plantas de depuración tecnológica lo hacen en horas.

Cuando medimos la eficacia depurativa por la cantidad de materia orgánica eliminada o de patógenos destruidos, nos damos cuenta que la depuración por lagunaje alcanza rendimientos muy altos. La eliminación de patógenos es superior al 99% y la eliminación de materia orgánica biodegradable, como DBO<sub>5</sub>, supera el 80%.

Por otra parte, los efluentes que salen de las depuradoras de lagunaje tienen elevada proporción de oxígeno en disolución que permiten la implantación de redes tróficas complejas. No sucede así en las aguas que



salen de las depuradoras tecnológicas. En las últimas lagunas de un lagunaje múltiple proliferan peces y aves, por el contrario en los vertidos que salen de las depuradoras tecnológicas no encontraremos más que roedores.

Por tanto, los lagunajes consiguen restituir las condiciones ecológicas que el agua tenía antes de ser usada, incluso pueden mejorar las condiciones ecológicas del entorno. Se ha comprobado que los arroyos que desembocan en el pantano del Guadiloba, construido para abastecer de agua potable a la ciudad de Cáceres, tienen peor calidad que el procedente de las aguas regeneradas del lagunaje múltiple de Sierra de Fuentes (Cáceres).

#### 4.3. Los lagunajes múltiples pueden producir infiltraciones de aguas poco depuradas

Las aguas que llegan a una EDAR pueden ser muy contaminantes para los suelos y para otras aguas porque contienen sustancias peligrosas, frecuentemente concentradas. Los sistemas depurativos de lagunaje tienen mayor riesgo de dejar escapar aguas sin depurar que las instalaciones tradicionales, formadas por vasos de hormigón perfectamente estancos. No obstante, este riesgo puede minimizarse cuando las lagunas están bien construidas.

Debido al riesgo de contaminación que pueden causar los estanques de aguas residuales, se comprenderá la causa por la que nunca deberían retenerse aguas contaminadas en lagunas naturales, no preparadas para este cometido y sin garantías de estanqueidad. Para evitar este problema todas las lagunas que retienen aguas contaminadas deben impermeabilizarse mediante láminas de PVC o con capas de arcilla compactada. Sin embargo, cuando las aguas tratadas hayan alcanzado suficiente calidad pueden emplearse para rellenar acuíferos subterráneos o mejorar los cursos superficiales de agua. Por ello, no es necesario asegurar la estanqueidad de las últimas fases del lagunaje múltiple.

#### 4.4. La salinización del agua se favorece por los lagunajes

Durante el periodo estival la tasa de evaporación del agua contenida en las lagunas puede estar en torno a 30 m<sup>3</sup> al día por hectárea. Debido a esta intensa evaporación, algunas depuradoras no arrojan agua a los cauces públicos durante los meses de verano. Incluso, existen proyectos de

lagunajes sin desagüe de modo que se almacenan las aguas durante el tiempo de evaporación de las aguas residuales.

Pero cuando la evaporación es intensa hay importantes consecuencias. A medida que se produce evaporación el agua almacenada se va salinizando y haciéndose inservible para el riego, ya que el aporte continuo a los campos de cultivo los transformaría en improductivos.

Cuando se pretende reutilizar el agua procedente de los lagunajes para el riego, se debe controlar su salinidad y si fuera necesario mezclarla con aguas de bajo contenido salino para eliminar el peligro de salinizar los campos de cultivo.

Sin embargo, la salinidad es ventajosa desde el punto de vista sanitario porque favorece la eliminación de organismos patógenos. Según Moreno Grau, «la supervivencia de organismos patógenos es inversamente proporcional a la salinidad que tenga el agua».

En los embalses y pantanos extremeños, durante el verano se evapora aproximadamente 3 cm al día de la lámina superficial de agua, pero no se observa una salinización importante. Se estima que el índice de evaporación necesario para salinizar el agua debe superar los 5 cm/día.

#### 4.5. Los lagunajes múltiples arrojan fuera de la planta abundante fitoplanctón

Los efluentes procedentes de muchas plantas de lagunaje múltiple tienen concentraciones elevadas de fitoplancton. Las algas proliferan en las lagunas porque encuentran los nutrientes necesarios y la luz solar adecuada para realizar su metabolismo. Por ello, en ocasiones, es necesario adoptar medidas que controlen la proliferación de algas, de tipo biológico y fisicoquímico, antes que termine el proceso depurativo.

Para disminuir la concentración de algas en las lagunas de oxidación debe favorecerse la existencia de consumidores primarios que se alimentarán de ellas. También podrían implantarse macrofitas flotantes, como los jacintos de agua, para que compitan por los nutrientes y rebajen la luz que entra en el agua y por ello la fotosíntesis de las algas.

Se pueden utilizar otras medidas correctoras de tipo físico, como el paso de los efluentes a través de un lecho de grava que actúa como filtro y retiene las algas. También pueden emplearse compuestos químicos como el cloruro férrico o el sulfato de aluminio que son tóxicos para ellas.



Pero es aconsejable no aportar sustancias químicas sin conocer de forma exhaustiva los efectos que pueden producir estos compuestos sobre el agua y sus sistemas biológicos.

No siempre produce efectos negativos la existencia de biomasa. En algunos casos las algas que contiene el agua pueden ofrecer un recurso valioso, sobre todo cuando el agua se utilice para riego, porque la existencia de esta biomasa aporta nutrientes al suelo y actúa como abono orgánico de gran valor fertilizante.

#### 4.6. La depuración por lagunaje múltiple puede dejar en el agua elevada tasa de nutrientes

Las instalaciones de lagunaje bien gestionadas eliminan del agua gran cantidad de nitrógeno y fósforo, sobre todo durante los meses de verano, debido a que la actividad metabólica en las lagunas es muy intensa y los seres vivos consumen gran cantidad de nutrientes. Sin embargo, a lo largo del invierno se relantiza la actividad metabólica y en el efluente se puede concentrar nitrógeno, en valores próximos a 15-20 mg/L, y de fósforo 1-2 mg/L. No obstante, las concentraciones de nutrientes que quedan en los efluentes son aceptables, incluso cuando hay menor rendimiento depurativo.

Para rebajar las concentraciones de nutrientes se pueden implantar medidas correctoras, como favorecer la existencia de aves o peces en las lagunas de oxidación y sembrar en las lagunas cultivos hidropónicos que periódicamente sean recolectados.

Lo mismo que para subsanar los perjuicios causados por la abundancia de algas planctónicas, cuando los efluentes puedan plantear problemas, las aguas deben ser utilizadas para riego.

#### 4.7. Las lagunas depurativas producen malos olores

Durante periodos no muy largos de tiempo, en las lagunas de cabecera de planta, se puede tolerar la existencia de algún olor desagradable debido a los procesos anaerobios que en ellas se realizan. No obstante, los olores son inadmisibles en el resto de las lagunas cuando sean intensos o permanentes durante casi todo el año.

Las aguas bien oxigenadas tienen capacidad para transformar los compuestos químicos malolientes y de favorecer la existencia de seres vivos que los utilizan como nutrientes.

Cuando las lagunas facultativas o de oxidación emitan olores desagradables estarán indicando que su régimen de trabajo es inadecuado y además se producirá bajo rendimiento depurativo. En estos casos se requiere la actuación de un experto para que determine las causas del mal funcionamiento y proponga los ajustes correctores.

Generalmente el olor a huevos podridos se debe al desprendimiento de sulfuro de hidrógeno ( $\text{SH}_2$ ), generado a partir de la hidrólisis de los aminoácidos con grupos funcionales  $-\text{SH}$  o por reducción anaerobia de los sulfatos.

Las bacterias desulfurantes, que causan estas transformaciones, proliferan cuando la degradación de la materia orgánica es baja, tanto en hidratos de carbono como en ácidos orgánicos, en alcoholes o en proteínas. Estas bacterias actúan indirectamente porque transforman el medio en extremadamente ácido, lo cual impide la existencia de otros organismos beneficiosos para la depuración y llegan, incluso, a paralizar la actividad depuradora.



FIGURA 5.—Lagunas con aguas teñidas por la proliferación masiva de las bacterias purpúreas



Para solucionar este grave problema primero hay que neutralizar el pH, cuestión extremadamente difícil debido al gran volumen de agua almacenada. Posteriormente se debe restablecer el equilibrio ecológico utilizando para ello, si fuera necesario, bacterias de siembra.

#### 4.8. *Los lagunajes múltiples favorecen la proliferación de mosquitos*

Los mosquitos son más abundantes en aguas encharcadas con vegetación emergente o con hierbas en los taludes porque son aprovechadas para realizar las puestas de sus huevos.

Es imprescindible la limpieza de la vegetación emergente y la vegetación próxima al agua. También es necesaria la limpieza de toda la planta, lo mismo que en las instalaciones de depuración convencional, evitando la proliferación de roedores e insectos.

No es aconsejable utilizar insecticidas, herbicidas y productos químicos en general, porque pueden pasar al agua y perjudicar su calidad.

#### 4.9. *Hay escasas instalaciones que sirvan de modelo para la construcción y el mantenimiento de las nuevas*

En algunas regiones, como en la mayor parte de Extremadura, existen condiciones naturales óptimas para implantar lagunajes múltiples. Sin embargo, las depuradoras de este tipo son escasas porque no ha existido la voluntad política y han faltado modelos en funcionamiento para mostrar las grandes ventajas que aportan y la elevada eficacia depurativa que consiguen.

Tampoco abundan ingenieros sanitarios con experiencia en este tipo de estructuras, ni técnicos capaces de resolver los problemas que aparecen durante el funcionamiento y su puesta en marcha.

Hay que tener en cuenta que el lagunaje es un sistema depurativo natural. Su funcionamiento se debe a la proliferación de algas y bacterias que utilizan la materia orgánica para su metabolismo. En la proliferación de algas tiene especial relevancia la energía solar y otros factores ambientales. Estas algas oxigenan las aguas favoreciendo la implantación de bacterias aerobias. Las bacterias más eficaces son precisamente las que necesitan oxígeno disuelto en el agua. Por ello los cambios en algunos de estos factores naturales pueden modificar la eficacia depurativa del sistema.

Para la construcción de estas plantas depurativas con garantía de éxito es necesario disponer de modelos que hayan funcionado durante largos periodos de tiempo. De ellos se adquiere experiencia e información sobre los ajustes más adecuados para cada momento de su evolución.

## 5. VENTAJAS DE LOS LAGUNAJES MÚLTIPLES

Los lagunajes múltiples proporcionan muchas ventajas con relación a los riesgos y molestias que generan. No todas las poblaciones reúnen condiciones para su implantación. Están especialmente indicados cuando se disponga de terrenos extensos próximos a las poblaciones, con condiciones naturales apropiadas para realizar grandes lagunas escalonadas y cuando haya la posibilidad de utilizar el agua efluente para riegos.

Las principales ventajas que proporcionan los lagunajes son:

- La materia orgánica de las aguas residuales se mineraliza.
- Producen pocos lodos.
- Reducen eficazmente la contaminación de patógenos.
- Admiten bien los cambios en las aguas que llegan para ser depuradas.
- Los ajustes necesarios para un buen funcionamiento son sencillos.
- Almacenan importantes reservas de agua.
- Su construcción y mantenimiento es de bajo coste.
- No necesita mano de obra especializada.
- Se implantan redes tróficas complejas e importante biodiversidad.
- No producen impactos visuales.

### 5.1. *La materia orgánica de las aguas residuales se mineraliza*

La materia orgánica, mezclada con el agua y transportada por los colectores hasta las plantas depuradoras, está sufriendo degradación. Pero esta degradación incontrolada se puede impedir o estabilizar mediante los procesos físicos, químicos y principalmente biológicos, que se realizan en las plantas depuradoras.



La transformación de la materia orgánica produce compuestos inorgánicos y nutrientes que hacen proliferar los micro y macroorganismos en las aguas. La materia orgánica putrescible pasa primero a formar nutrientes minerales y posteriormente materia viva estabilizada. La característica diferenciadora de los seres vivos generados, en relación a los que proliferan en las depuradoras tecnológicas, es su diversidad. Estos seres vivos tienen baja capacidad para producir daño en el medio receptor, incluso, en algunos casos, pueden proporcionar importantes beneficios dando calidad a las aguas del medio natural.

La biodiversidad de las lagunas se debe a la formación de ecosistemas naturales no forzados. Las aguas que llegan a las depuradoras se uniformizan al mezclarse con los importantes caudales almacenados en las lagunas y, por otra parte, la depuración natural cambia para adaptarse a las diferentes condiciones climáticas y ambientales. Sin embargo, en las plantas de depuración convencional las condiciones de trabajo se imponen artificialmente, lo que ocasiona poca diversidad de organismos depuradores.

Además, la eficacia depurativa es buena. En la tabla de la figura 6 se han resumido las medias de los rendimientos anuales entre diferentes tipos de depuración en cuanto a la eliminación de demanda biológica de oxígeno a los cinco días ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos en suspensión (SS). Estos datos fueron obtenidos a lo largo de 1998 en la depuradoras de Sierra de Fuentes (Cáceres), de lagunaje múltiple; Casar de Cáceres (Cáceres), también de lagunaje múltiple; Cáceres, de lodos activos; Trujillo (Cáceres), de lecho bacteriano.

EDAR COMPARADAS	RENDIMIENTO EN %		
	$DBO_5$	DQO	SS
Sierra de Fuentes (Cáceres) —Lagunaje múltiple	97,5	97,5	57
Casar de Cáceres (Cáceres) —Lagunaje múltiple	74,6	52,5	55
Cáceres —Lodos activos	86,7	73,3	76,5
Trujillo (Cáceres) —Lecho bacteriano	68,3	55,3	32,8

FIGURA 6.—Rendimiento medio anual en eliminación de demanda biológica de oxígeno a los cinco días ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos en suspensión SS de depuradoras con distintos sistemas depurativos

Los rendimientos observados en el lagunaje de Sierra de Fuentes y del Casar de Cáceres son muy distintos, a pesar de que el sistema depurativo sea similar y las condiciones ambientales prácticamente idénticas. Los colectores que llegan a la EDAR del Casar de Cáceres transportan productos industriales procedentes de una gran lechera y de importantes industrias queseras. Las aguas urbanas procedentes del Casar de Cáceres en algunas ocasiones tienen valores superiores a 700 mg/L de  $DBO_5$ , 653 mg/L de DQO y 430 mg/L de SS. También llevan en disolución productos ácidos o alcalinos, procedentes del lavado de los tanques de almacenamiento o de fermentación de la leche, que causan mucho perjuicio a los cultivos de bacterias y algas de las lagunas.

El rendimiento depurativo de la depuradora de Sierra de Fuentes es superior a la del Casar de Cáceres (lagunaje), a la de Trujillo (lechos bacterianos) y algo superior a la de depuración convencional de Cáceres.

## 5.2. Producen pocos lodos y muy mineralizados

En la depuración convencional frecuentemente se separan dos vías de tratamiento, una para el agua y otra para los lodos. La estabilización de lodos se realiza generalmente mediante procesos anaerobios que necesitan instalaciones con importante tecnología y elevado gasto de construcción y mantenimiento. En algunas plantas se tratan los lodos mediante procedimientos aeróbicos que produce mucho gasto de energía y no consiguen buenos rendimientos.

También existen instalaciones tecnológicas modernas que no separan ambas vías de tratamiento. Agua y lodos se tratan conjuntamente. Los lodos resultantes de cada ciclo de tratamiento no se dejan escapar con el efluente, se introducen varias veces en sucesivos ciclos depurativos y actúan como sustratos favorables para la implantación y proliferación de las bacterias depuradoras, mejorando el rendimiento depurativo.

En los lagunajes múltiples, las lagunas primarias funcionan como decantadores de gran capacidad y como digestores de lodos. Las balsas profundas construidas para este fin, almacenan gran volumen de lodos, sin que por ello se acrecienta de forma sustancial los costes de construcción y de explotación. Los lodos almacenados permanecen durante varios años transformándose, con ello se consigue mineralizar la materia orgánica en torno al 80% y dejarlos en condiciones para que puedan ser utilizados como abono agrícola sin ocasionar problemas.



Las lagunas anaerobias necesitan limpiarse cada cinco o seis años, con previo vaciado del agua y secado por evaporación de los lodos. Tarea que puede durar varias semanas. Por ello, es necesario disponer de varias lagunas primarias, de modo que pueda estar funcionando la planta a la vez que alguna de sus lagunas primarias se van desaguando, desecando y limpiando.

Para realizar la limpieza de los lodos no se necesitan importantes medios técnicos ni humanos, porque debe hacerse con una máquina retroexcavadora. Los lodos mineralizados, después de un periodo de aireación y secado en eras habilitadas para este fin, deben emplearse como compost regenerador de suelos vegetales.

Al realizar la limpieza debe tenerse en cuenta que los lodos participan en la impermeabilización y como inóculos, capaz de regenerar con rapidez las poblaciones óptimas de bacterias al llenarlas de nuevo con aguas residuales. Por ello, deben quedar el fondo y las paredes de las lagunas recubiertas de lodos.

### 5.3. Reducen eficazmente la contaminación de patógenos

Las aguas tratadas en plantas de lagunaje múltiple, salen con un acondicionamiento sanitario muy superior a las de cualquier otro sistema depurativo, como muestra la comparación realizada en la tabla de la figura 7.

Se debe su eficacia antiséptica al elevado tiempo de residencia que permanecen las aguas en tratamiento y a las condiciones físicas, químicas y biológicas que actúan para favorecer la eliminación de patógenos. La insolación y oxigenación del agua son muy favorables para acondicionar las aguas sanitariamente. Pero, sobre todo, se establecen redes tróficas complejas que permiten la competencia entre seres vivos y se produce mucha depredación entre ellos. Por otra parte, se rebaja la disponibilidad de nutrientes. A todo lo anterior hay que añadir que en los lagunajes se produce mayor dilución que en cualquier otro sistema, debido a que se mezclan las aguas no tratadas con grandes volúmenes de agua depurada y sin patógenos. Esta dilución rebaja sensiblemente la concentración de los patógenos, la probabilidad de infectar y su capacidad para producir enfermedades.

El rendimiento de los lagunajes múltiples en eliminación de patógenos es tan elevado en las lagunas aerobias que los coliformes indicadores de contaminación, como *Esterichia coli*, llegan a alcanzar los niveles exigidos por la normativa de agua de bebida.

TIPO DE TRATAMIENTO	ELIMINACIÓN DE PATÓGENOS (%)			
	Virus	Bacterias	Protozoos	Helmintos
<b>Sedimentación primaria</b>	0-10	0-10	0-10	0-10
<b>Fosa séptica</b>	0-10	10-90	10-90	10-90
<b>Filtro bacteriano</b>	0-10	0-10	0-10	0-10
<b>Lodos activos</b>	10-90	90-99	10-90	10-90
<b>Lagunas de estabilización (20 días)</b>	90-99,99	99,99-99,9999	99,99-99,9999	99,99-99,9999

Fuente: Díaz Lázaro-Carrasco, J. A.

FIGURA 7.—Comparación de distintos sistemas depurativos en la eliminación de patógenos

Debido a la eficacia sanitaria de esta depuración, se hace innecesario el aporte de cloro, ozono o permanganato al efluente; con lo cual se evitan gastos y riesgos derivados de su uso. En algunas instalaciones depuradoras se aporta cloro a los efluentes, sobre todo si contienen abundante materia orgánica. Esta práctica está totalmente desaconsejada debido a los compuestos fenólicos, muy tóxicos, que se generan y porque paralizan la depuración natural que se debe seguir produciendo en las aguas libres.

### 5.4. Los lagunajes son sistemas depurativos flexibles

Los lagunajes múltiples tienen gran capacidad para asimilar los cambios que se producen en la cantidad o calidad de las aguas que recibe la planta. Son sistemas de tratamiento muy tolerantes a los cambios de efluente y con gran inercia para modificar las condiciones de trabajo.

Los desajustes en las plantas depuradoras de lagunaje sólo se producen cuando reciben aguas en condiciones muy diferentes a las contempladas en el diseño y durante largos periodos de tiempo. La inercia se debe a los grandísimos volúmenes de agua que se almacenan y tratan simultáneamente. Las aguas que llegan a la planta se van diluyendo en los inmensos volúmenes de agua almacenada en cada laguna, sin que se modifiquen sensiblemente las condiciones de trabajo que en ellas existen.

En los ámbitos rurales, y cada vez con mayor frecuencia, se arrojan a los colectores aguas procedentes de explotaciones ganaderas o de procesos industriales, por ello es importante diseñar e implantar sistemas depurativos flexibles. Aunque, por otra parte, se controlen y se pongan los



medios necesarios para impedir los vertidos que puedan dañar los cultivos depuradores.

### 5.6. *Los ajustes en las depuradoras de lagunaje son sencillos*

Para modificar las condiciones de trabajo de los lagunajes múltiples es suficiente con modificar la altura de la columna de agua de las lagunas y el recorrido que hace a través de la planta depuradora. Al modificar la columna de agua cambia la iluminación, las condiciones de supervivencia de las algas, el oxígeno disuelto en el agua, los tipos de seres vivos que colonizan las lagunas y el tiempo que permanece el agua en ellas. Por tanto, aunque los ajustes para que trabajen las lagunas en condiciones distintas son sencillos, los cambios ocasionados en la biocenosis de las lagunas son importantes.

Las bacterias existentes en las lagunas pueden trabajar de forma anaerobia, facultativa o aerobia según sea el oxígeno disuelto en el agua y éste, a su vez, depende de la materia orgánica existente y de las poblaciones de algas que se implanten. Por ello, dos lagunas con igual morfología no tienen por qué desarrollar los mismos cultivos de algas y bacterias. Ambas lagunas pueden estar trabajando de forma distinta porque el agua que les entra a cada una sea diferente o porque los microorganismos que proliferen lo hagan en cantidad distinta o sean de distintas especies.

La mano de obra necesaria para el mantenimiento de estas depuradoras no necesita cualificación y precisamente estos obreros son los que abundan en las pequeñas poblaciones de ámbito rural. Sin embargo, cuando las depuradoras disponen de tecnología compleja, como sucede en las depuradoras convencionales, requieren empleados especializados para su manejo.

El personal encargado de mantener las depuradoras de lagunaje debe atender a la apertura y cierre de las compuertas, de modo que se consiga la columna de agua más idónea para cada fase del proceso depurativo. También debe atender a la limpieza de las instalaciones y a la eliminación de las macrofitas emergentes del fondo de las lagunas o de los taludes. Trabajos todos ellos que pueden ser realizados por las personas que habitan estos núcleos de población. Pero cuando haya problemas importantes o durante la puesta en funcionamiento, el personal encargado del mantenimiento debe estar asesorado por especialistas.

### 5.7. *Los lagunajes múltiples crean reservas importantes de agua*

El lagunaje múltiple de una población de 5.000 habitantes equivalentes puede almacenar más de 60.000 m<sup>3</sup> de agua, de los 270.000 m<sup>3</sup> generados al año. Con este volumen de agua, gestionado adecuadamente, se pueden cubrir las necesidades de los regadíos existentes y los que se proyecten en el futuro. También se pueden atender otras demandas como la limpieza de calles, el riego de jardines, etcétera.

En regiones áridas, con elevado déficit hídrico, las depuradoras de lagunaje múltiple proporcionan un valor añadido nada despreciable. Sin embargo, no puede ser utilizada del mismo modo el agua procedente de las depuraciones tecnológicas, porque tiene mayores riesgos sanitarios para su reutilización. Generalmente se busca arrojarla lo más pronto posible a los cauces públicos para que se aleje cuanto antes de las poblaciones que las producen.

La aplicación ideal para las aguas procedentes de los lagunajes es el riego agrícola. Da valor a las tierras de secano transformándolas en regadíos, mejora los suelos vegetales por el aporte de nutrientes. Al mismo tiempo, se mejora la calidad de las aguas al filtrarse por el suelo vegetal y separar de ellas las bacterias y productos nocivos, generando agua de calidad y útil para rellenar los acuíferos subterráneos.

### 5.8. *La construcción y mantenimiento de los lagunajes tiene bajo coste económico*

Las EDAR de lagunaje múltiple carecen de tecnología que pueda sufrir desgaste y necesite un mantenimiento costoso. No utilizan energía eléctrica. La energía solar, que es la única necesaria para hacer funcionar estas plantas depuradoras, se nos da en abundancia y de forma gratuita. El ecosistema formado en las lagunas recibe lo necesario para funcionar prácticamente sin coste alguno: abundante materia orgánica procedente de las aguas residuales y suficiente energía en forma de luz solar.

Se ha calculado que una depuradora de lagunaje múltiple, para cubrir las necesidades depurativas de 5.000 habitantes equivalentes, puede tener unos gastos de mantenimiento en torno a 9.016 euros (millón y medio de pesetas) anuales; mientras que un sistema de depuración tecnológico, para atender las mismas necesidades depurativas, superaría los 60.100 euros (diez millones de pesetas), según se muestra en la figura 8.



	Sist. Tecnológico		Sist. Lagunaje Múltiple	
	Euros	Pesetas	Euros	Pesetas
<b>Terreno ocupado</b>	450,76	75 000	60 010,12	1 000 000
<b>Construcción</b>	1 202 024,21	200 000 000	300 506,05	50 000 000
<b>Mantenimiento anual</b>	64 909,31	10 800 000	7 813,16	1.300.000
<b>Depuración anual</b>	14 424,29	2 400 000	1 803,04	300.000

FIGURA 8.—Comparación de costes entre los lagunajes múltiples y las plantas depuradoras tecnológicas que puede dar servicio a poblaciones de 5.000 habitantes equivalentes

La partida presupuestaria más importante para la implantación de un lagunaje debe emplearse, generalmente, en la adquisición de terrenos. Pero el mayor coste del terreno queda compensado con creces por los menores gastos de construcción y mantenimiento, tal como se refleja en el cuadro de la figura 8. Suponiendo que ambas plantas depuradoras estuvieran en funcionamiento veinte años, y que se mantuvieran constantes los gastos para el mantenimiento y la depuración expresados en la tabla, el metro cúbico depurado en la planta tecnológica habría salido por 0,59 euros (97,8 pesetas), mientras que en la de lagunaje múltiple habría sido de 0,09 euros (15,6 pesetas).

Por otra parte, las instalaciones de lagunaje, al no utilizar energía eléctrica, contribuyen a evitar los peligros, contaminaciones y pérdidas de terrenos que genera la producción de esta energía. Es un servicio a la población que contribuye a eliminar centrales nucleares y evitar sus riesgos. Puede ahorrar la energía producida por las centrales térmicas que contaminan los terrenos próximos a estas factorías. Contribuyen a reducir la demanda de energía que se produce en las centrales hidroeléctricas, cuyo vaso inunda los terrenos más fértiles de las cuencas fluviales y perjudica al flujo natural del río.

Además, los lagunajes son instalaciones fiables, sin averías, y con larga duración. En contraposición con la tecnología empleada para los sistemas convencionales, que es muy cara, los materiales empleados deben ser de excelente calidad y, pese a ello, el desgaste que sufren las piezas móviles es muy considerable y las reparaciones son costosas.

#### 5.9. Forman redes tróficas complejas con importante biodiversidad

En las lagunas se implantan poblaciones de algas, bacterias, protozoos, macrofitas, anfibios, peces, aves, etc. que colonizan las aguas y crean redes tróficas complejas, cuya área de influencia se extiende fuera del recinto de

la propia instalación. Los peces de las lagunas son comidos por las aves, éstas a su vez por otras aves de presa o rapaces con área de dispersión extensa. Prolongan de este modo, las redes tróficas que toman sus nutrientes de las lagunas por las zonas limítrofes y proporcionan cantidad y diversidad de seres vivos.

Las lagunas, construidas con la finalidad de depurar aguas residuales, producen otros efectos colaterales muy beneficiosos que se extienden por una amplia zona. El área de influencia abarca hasta donde pueden llegar los regadíos y también hasta donde se extienden las redes tróficas que, en última instancia, toman la biomasa y la energía de las aguas estancadas.

Los lagunajes existentes en Extremadura se utilizan frecuentemente como refugio e invernada de aves migrantes, por lo cual su acción beneficiosa se proyecta a miles de kilómetros de esta región.

#### 5.10. Las lagunas no producen impactos visuales

En los medios rurales los grandes lagos artificiales de los lagunajes múltiples no produce impactos visuales. Muy al contrario, en regiones con veranos largos y calurosos se mantiene un área siempre húmeda que proporciona alto valor ecológico y paisajístico. Sin embargo, las depuradoras convencionales requieren construcciones fabriles que se integran mal y generan impactos de importancia en los ámbitos rurales.

A las mejoras en el paisaje pueden unirse otros beneficios de tipo lúdico: los aficionados a la fotografía, a la pesca o a la caza, principalmente de patos, tienen a su disposición excelentes cotos, pudiéndose aprovechar las áreas de los lagunajes como lugares de ocio.

## 6. CONCLUSIONES

La alternativa del lagunaje múltiple frente a los sistemas tradicionales de depuración se presenta como interesante para las pequeñas poblaciones porque arroja efluentes de calidad y se puede mantener en funcionamiento largo periodo de tiempo, independientemente de los cambios económicos o políticos que puedan producirse en las poblaciones. Los bajos costos de construcción y mantenimiento, junto con la mayor facilidad que tienen estas poblaciones para disponer de terrenos adecuados, son factores que deberían considerarse para implantar esta opción depurativa de aguas residuales.



No es menos importante la fiabilidad de estas instalaciones, su flexibilidad y las grandes reservas de aguas que dejan disponibles sobre todo en terrenos con déficit hídrico. Tampoco es despreciable el aprovechamiento que ofrecen para ocio, junto con la buena integración en el paisaje.

Las tareas cotidianas en estas instalaciones pueden llevarse a cabo por mano de obra no especializada, que es precisamente la que abunda en las pequeñas poblaciones rurales. Además, los lagunajes múltiples carecen de automatismos complicados, por ello la posibilidad de avería es prácticamente nula y las que pueden producirse se reparan con mucha facilidad.

No obstante, los sistemas de depuración por lagunaje requieren la vigilancia esporádica de expertos, sobre todo para mantenerlos en los niveles óptimos de depuración y para proponer los ajustes más oportunos antes de que llegue a situaciones complicadas.

Las campañas de educación a la población en general pueden ayudar mucho a la depuración. Haciendo buen uso del agua, no arrojando por los desagües materias dañinas para los microorganismos depuradores, consumiendo sólo el agua necesaria, no aportando a las aguas materias orgánicas o inorgánicas que puedan echarse al cubo de residuos sólidos y desviando del circuito depurativo urbano los vertidos de agua procedentes de actividades industriales, agrícolas o ganaderas.

#### BIBLIOGRAFÍA

- L. N. M. Berná, Caracterización microbiológica del proceso de depuración de aguas residuales por lagunaje profundo (Tesis Doctoral Universidad de Murcia), 1990.
- J. A. Díaz Lázaro-Carr, Depuración de aguas residuales, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Centro de Publicaciones, Madrid, 1988.
- A. Hernández Muñoz, P. G. Hernández Lehmann, P. Galán Martínez, Manual de depuración uralita. Paraninfo, Madrid, 1996.
- A. Hernández Muñoz, Depuración de aguas residuales. 4ª Ed. Paraninfo. Madrid, 1998.
- M. D. Moreno Grau, Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores, Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1991.
- E. Rojo Blanco, Aspectos biológicos del lagunaje. Consejería de Política Territorial y Obras Públicas de la Comunidad Autónoma de la Región Murciana, 1988.

## DOSCIENTOS AÑOS DEL COLEGIO DE ABOGADOS DE CÁCERES

MIGUEL MARTÍN JIMÉNEZ DE MURANA

En este comienzo de siglo, nuestra sociedad está sometiendo a las diversas profesiones a un examen de revisión para precisar lo que cada una de ellas ha aportado y puede seguir dándole en el futuro. Por ello, decía Antonio Pedrol, desaparecido Presidente del Consejo General de la Abogacía, sería conveniente que, en cada colegio de abogados de España, algún compañero llevase a cabo la revisión de lo que ha sido la vida del colectivo, y cuáles han sido los méritos y sacrificios de sus integrantes cuya suma constituye el patrimonio de valores que se pueden enseñar a nuestros ciudadanos.

Este proceso ha comenzado en 1988, en el Colegio de Abogados de Madrid, desde finales de 1987, cuando el Sr. Agustín Fernández Aguirre, durante su mandato, ha dejado noticias y doctrinas que han sido la base para la continuación de este trabajo.

Las primeras revisiones se hicieron en España, cuya vigencia se ha mantenido en el producto de la obra legislativa del Sr. Aguirre, el Fuero Real y luego con Las Partidas, el Código de la Alta Edad Media. Desde entonces, para Partida a ordenar la labor y el trabajo, como es el caso de la revisión por el Sr. Aguirre.



# Evocaciones y Recuerdos