

PARTE III
PROBLEMAS OPERATIVOS DE LAS
LAGUNAS DE ESTABILIZACION

11. Problemas de funcionamiento y soluciones

INTRODUCCION

Las lagunas de estabilización pueden presentar ocasionalmente problemas operativos, que se manifiestan por una serie de síntomas que el operador debe ser capaz de reconocer lo antes posible para tomar las medidas correctoras correspondientes.

En este capítulo trataremos los problemas más comunes que pueden presentarse en lagunas anaerobias, facultativas y de maduración.

Como vemos en los capítulos anteriores, el lagunaje presenta una inercia considerable que le permite encajar variaciones en el caudal y carga aplicada, pero que también provoca que cuando el proceso se ha perturbado sea necesario bastante tiempo para volver a la marcha normal de la instalación. En este sentido, tomar a tiempo las medidas correctoras es fundamental, por lo que una vez más se hace patente la importancia del trabajo del operador.

INDICADORES DE BUEN FUNCIONAMIENTO EN LAGUNAS ANAEROBIAS

Los signos visibles de buen funcionamiento de las lagunas anaerobias son los siguientes.

- ◆ El agua almacenada en las lagunas anaerobias presenta un color gris.
- ◆ Se observa un desprendimiento continuo de gases desde el fondo, que se aprecia como un burbujeo, fácilmente visible si se mira la laguna a contraluz.

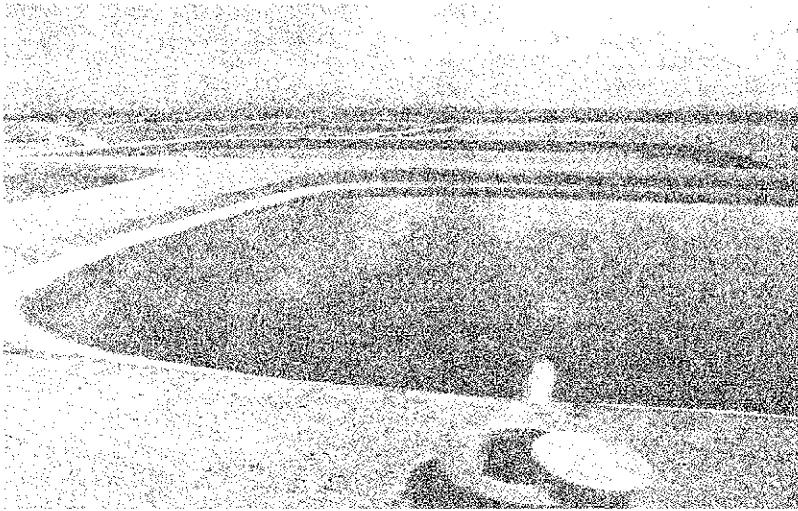


Foto: H. L. Laguna anaerobia.

- La superficie de la laguna está total o parcialmente cubierta por una capa sólida formada por grasa, aceites y otras materias flotantes.
- Los taludes internos están libres de vegetación, tanto malas hierbas como plantas acuáticas.

PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO EN LAGUNAS ANAEROBIAS

La depuración en lagunas anaerobias presenta una tolerancia bastante baja a cambios medioambientales, tanto en carga orgánica aplicada como en temperatura y pH.

Aunque el diseño de las lagunas permite una cierta flexibilidad en estas variables, en ocasiones pueden presentarse circunstancias en las que el proceso no pueda desarrollarse correctamente. Esto da lugar a la aparición de síntomas de mal funcionamiento. Estos síntomas son los siguientes:

Aparición de malos olores, que pueden deberse a una de las razones siguientes

- Desajuste en la carga orgánica aplicada a la laguna, tanto por encima como por debajo del intervalo utilizado para el diseño. El operador debe chequear el contenido en materia orgánica del agua residual y verificar si se trata de una sobrecarga, o por el contrario de que el agua residual está demasiado diluida.

- Desajuste en el caudal de entrada. Cuando el caudal aumenta o disminuye con respecto al intervalo de diseño el agua residual permanece, respectivamente, menos y más tiempo del previsto en las lagunas. Esto provoca que se rompa el equilibrio necesario entre las distintas fases de la depuración anaerobia (hidrolítica, acidogénica y metanogénica), con la consiguiente disrupción del proceso.
- Caída repentina de la temperatura ambiente, que da lugar a la ralentización de los mecanismos de depuración.
- Variación en la composición del agua residual de la entrada. Si se descartan todas las razones anteriores, conviene realizar un análisis detallado de la alimentación en el que se incida en los dos aspectos siguientes:
 - pH del agua residual, que puede presentar valores demasiado altos o bajos (fuera del intervalo 6,5-9,0)
 - Presencia de sustancias tóxicas.

Cualquiera de estas dos circunstancias es indicativa de la existencia de un vertido industrial de nueva incorporación a la red de alcantarillado.

Una vez que se ha determinado la causa de los malos olores detectados, hay que tomar medidas inmediatas para evitar el deterioro de la marcha de toda la planta.

- **Sobrecarga.** Cuando la alimentación presenta cargas orgánicas por encima de las de diseño, o el caudal supera el máximo de diseño, se produce el desequilibrio entre las fases de la depuración, con acumulación de ácidos, descenso del pH y generación de olores. En este caso se pueden emprender las acciones correctoras siguientes:
 1. Disminuir la carga aplicada, lo que se consigue bien mediante un by-pass, en el peor de los casos, o poniendo en servicio otra laguna anaerobia, si la instalación se ha efectuado, como es habitual, en forma modular. Otra posibilidad es aumentar la profundidad de trabajo en la laguna anaerobia, si se dispone de algún sistema de vaciado a profundidad variable.
 2. Introducir una «siembra» de bacterias metanógenas. Esta operación debe hacerse con cuidado para evitar la mezcla con aire, que resulta letal para estas bacterias. La siembra puede obtenerse de alguna planta depuradora convencional que disponga de digestores anaerobios.
 3. Ajustar el pH del medio. El ajuste se realiza normalmente añadiendo disolución de amoníaco o carbonato sódico, hasta que se consigue alcanzar un medio neutro (pH=7).
- **Defecto de carga orgánica en la alimentación, o caudal inferior al mínimo utilizado en el diseño.** En este caso pueden empezar a desarrollarse algas verdes en la zona superficial, y se detectará un aumento del pH. Las posibles acciones a emprender son las siguientes:
 1. Aumentar la carga aplicada. Para ello se deben tomar medidas opuestas a

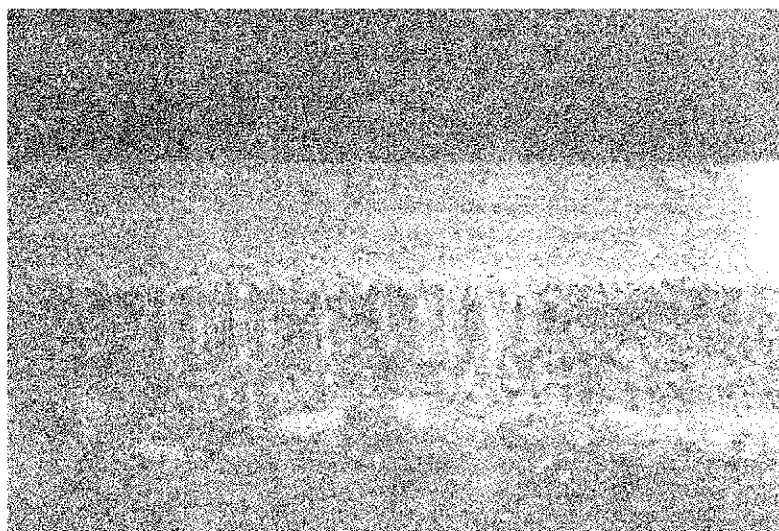


Fig. 11.2 Efluente de una laguna de maduración (cortesía de TRAGSA).

Otra posible causa de la aparición de costras en lagunas facultativas poco profundas es la flotación de parte del fango acumulado en el fondo. Este fenómeno suele producirse cuando la temperatura es elevada y se produce un burbujeo muy activo en el fango del fondo que lo arrastra hacia la superficie.

Cualquier acumulación de materias sólidas en superficie debe eliminarse lo antes posible, para lo que puede usarse uno de los métodos siguientes:

- Los agregados de algas pueden romperse mediante un chorro de manguera dirigido hacia ellas desde la orilla de las lagunas, provocando así su sedimentación en el fondo de las lagunas. Si la instalación no dispone de agua corriente, se puede esperar a que el viento arrastre los agregados hacia uno de los taludes y entonces romper los agregados por medio de un rastrillo, provocando así también su sedimentación. El mismo método puede utilizarse con los fangos flotantes.
- Si se dispone de una red como las utilizadas para el mantenimiento de piscinas, ésta puede utilizarse para retirar cualquiera de las materias flotantes una vez que el viento las ha arrastrado hacia la orilla de la laguna.

Olores desagradables

Las razones más frecuentes de la aparición de malos olores en las lagunas facultativas son las siguientes:

- **Sobrecarga.**
- **Presencia de tóxicos o efluentes industriales en la alimentación.**
- **Períodos prolongados de mal tiempo, con bajas temperaturas e insolación**
- **Cortocircuitos**
- **Reducción en la mezcla inducida por el viento**

La sobrecarga en lagunas facultativas se detecta fácilmente por la disminución en la intensidad de la coloración verde, acompañada por un descenso en la concentración de oxígeno disuelto y el pH y la aparición de malos olores. Siempre que se producen problemas de funcionamiento en las lagunas anaerobias hay que esperar que las lagunas facultativas presenten problemas de sobrecarga.

Además de esta causa, otras posibles fuentes de sobrecarga son el diseño deficiente de las arquetas de reparto, que provoca un reparto desigual de caudales, algún vertido estacional que no se tuvo en cuenta en el diseño de la planta o el diseño deficiente de la propia planta.

Una de las causas más frecuentes de mal funcionamiento de las lagunas facultativas en España son los vertidos incontrolados de alpechines y vinazas.

Las enormes cargas orgánicas propias de estos vertidos superan la capacidad de encaje de las lagunas, y estas entran rápidamente en condiciones anaerobias, el pH disminuye y desarrollan un color oscuro, casi negro.

La presencia de tóxicos en la alimentación provoca que las lagunas que estaban operando correctamente dejen de hacerlo súbitamente y sin razón aparente. Cuando esto ocurre, el operador debe notificarlo al laboratorio donde se efectúe el seguimiento analítico, donde pueden identificar los productos químicos responsables del problema.

Los cortocircuitos pueden detectarse mediante la medida del oxígeno disuelto en varios puntos de la laguna. Las lecturas muy desiguales pueden ser indicativas de esta anomalía en el régimen de flujo. En ocasiones los caminos preferenciales pueden incluso detectarse visualmente, si se aprecian diferencias en la coloración en distintas zonas de la laguna. Las soluciones a este problema se discuten en el apartado siguiente.

La reducción en la mezcla inducida por el viento puede deberse al crecimiento de árboles, la instalación de una valla de obra alrededor de la instalación o el levantamiento de edificios que bloqueen el viento en la laguna afectada.

Cuando el operador se encuentra ante una laguna facultativa que presenta problemas de olores, el primer paso a seguir es tratar de identificar la causa de este fenómeno. Una vez aislada la causa probable se han de tomar medidas correctoras. Las soluciones a las distintas causas apuntadas son las siguientes:

- **Sobrecarga:** si se dispone de más de una laguna facultativa y el problema de olores se presenta sólo en una de ellas, puede tratarse de un desequilibrio en el reparto de caudales.

En primer lugar conviene paralizar la laguna afectada, para lo que habrá que hacer un by-pass de parte de la alimentación. Dependiendo de las condiciones climáticas en ese momento, la recuperación de la laguna puede conseguirse entre unos días hasta un mes. Este tiempo de espera debe aprovecharse para realizar las obras necesarias en la arqueta de reparto para corregir el caudal que entra en la laguna afectada. Tan pronto como ésta se haya recuperado, lo que se pondrá de manifiesto por el color verde brillante del agua, se comenzará a operar normalmente en régimen continuo.

Si la sobrecarga está causada por vertidos estacionales, la primera medida a tomar es efectuar un by-pass de la depuradora hasta que se localicen las fuentes de estos efluentes y se tomen medidas al respecto.

Dependiendo de la gravedad de la sobrecarga, las lagunas pueden recuperarse pronto o pasar bastante tiempo en mal estado.

Cuando el origen del problema son los alpechines es de esperar que sea necesario un periodo de recuperación bastante largo, ya que además este vertido se produce en invierno, cuando la depuración es más lenta.

Si se quiere agilizar algo este proceso, una medida que ha dado resultados bastante satisfactorios es intentar renovar cuanto antes el agua almacenada en cada una de las lagunas afectadas (AGAMIT, 1988). Para ello se introduce la totalidad del agua de alimentación a cada una de las lagunas, mientras se paralizan las restantes.

Para cada laguna, se calcula el tiempo de retención hidráulico dividiendo su volumen por el caudal total de aguas residuales, y se mantiene la entrada de toda el agua residual en cada laguna como mínimo un tiempo igual al doble de ese tiempo de retención. Por supuesto, este procedimiento sólo puede aplicarse si ha cesado el vertido que provoca la sobrecarga. En caso contrario hay que paralizar la planta totalmente y dejar que las lagunas se recuperen por sí solas.

Si la sobrecarga se debe a un problema de diseño de las plantas, la única solución posible es intentar recircular parte del efluente a la entrada de las lagunas facultativas. Esto requiere la instalación de bombas, lo que no siempre es posible, ya que muchas plantas de lagunaje no tienen instalación eléctrica.

- *Presencia de tóxicos en el efluente:* Hay que proceder en la misma forma reseñada en el caso de las lagunas anaerobias, es decir, localizar al culpable y efectuar la segregación del vertido, que no debe alcanzar la planta depuradora.
- *Mezcla deficiente debida a árboles, vallas o edificios:* Siempre que el obstáculo que impide el libre acceso del viento a las lagunas sea eliminable, debe ser eliminado prontamente.

No se debe permitir el crecimiento de árboles cerca de las lagunas (W. H. O , 1987). La valla que rodea la instalación debe ser de tela metálica, nunca de obra. Cuando el viento queda bloqueado por edificios, laderas de montaña u otros obstáculos de carácter permanente, debe considerarse la instalación de agitación artificial (areadores de superficie), aunque se trata de una medida costosa y de mantenimiento complicado.

Cortocircuitos o caminos preferenciales

Las anomalías de flujo en las lagunas provocan siempre una disminución en la eficacia de la depuración. Cuando estas anomalías son graves, pueden dar lugar a problemas de olores, baja calidad del efluente, y en general poca eficacia de depuración. Los cortocircuitos están causados por diversos motivos:

- a) Deficiente diseño de las entradas y salidas, morfología poco adecuada de las lagunas, o vientos dominantes que provocan corrientes que no se tuvieron en cuenta en el proyecto.
- b) Desarrollo de estratificación.
- c) Presencia de plantas acuáticas en el interior de las lagunas.
- d) Acumulación de fangos en el fondo, en especial en lagunas facultativas primarias.

Como se mencionaba en el apartado anterior, la presencia de cortocircuitos puede detectarse mediante la medida de oxígeno disuelto en varios puntos en la superficie de la laguna. Las diferencias acusadas son un síntoma de este problema. Cuando la causa es la estratificación térmica, ésta puede detectarse mediante la medida de perfiles verticales de temperatura en varios puntos de la laguna.

Las posibles medidas a tomar para corregir este problema son las siguientes:

- a) Rediseñar las entradas y salidas de la laguna, con objeto de obtener una mejora en el régimen de flujo. En este proceso debe tenerse en cuenta el régimen de viento, y reorganizar la posición de la alimentación y el desagüe para que los vientos dominantes sean perpendiculares al eje principal de flujo.
- b) Intentar romper la estratificación térmica mediante la colocación de entradas y salidas en profundidad, mejorando así la mezcla en la laguna.
- c) Eliminar las plantas acuáticas.
- d) Retirar los depósitos de sedimentos acumulados en el fondo.

Crecimiento de malas hierbas y plantas acuáticas

Este problema afecta a todas las lagunas, y se ha comentado en el apartado referente a los problemas de funcionamiento de lagunas anaerobias.

El crecimiento de plantas acuáticas da lugar a la proliferación de insectos, que como se veía anteriormente provoca la aparición de ranas, roedores y serpientes, sucesivamente.

Las plantas acuáticas deben ser retiradas periódicamente, y no dar lugar nunca a que se asienten animales en los taludes que puedan comprometer la seguridad de éstos al excavar túneles, como ocurre con varios tipos de roedores.

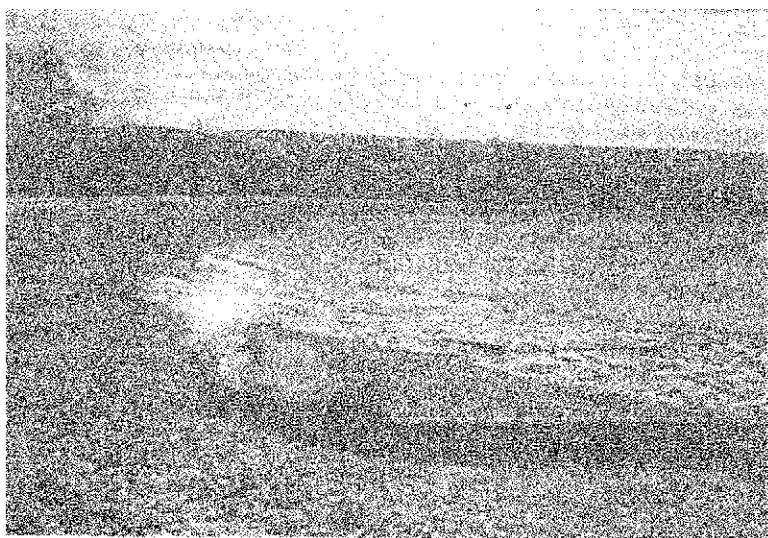


Foto 113 División del canal a la entrada en una laguna facultativa para mejorar la mezcla en ésta (cortesía de TRAGSA)



Foto 114 Efecto del viento en la rearticulación y formación de olas en una laguna facultativa (cortesía de TRAGSA)

El crecimiento de plantas acuáticas puede afectar a la totalidad de la superficie de las lagunas cuando la profundidad de éstas es inferior a un metro. Normalmente las lagunas facultativas y de maduración tienen entre 1-1,5 metros de profundidad, por lo que el crecimiento de estas plantas queda restringido a los taludes.

Como también se comentaba en el apartado dedicado a las lagunas anaerobias las malas hierbas que crecen sobre la parte seca de los taludes producen una fuerte impresión de desidia y abandono. Además, si alcanzan la superficie del agua las ramas pueden servir también de soporte para el desarrollo de insectos.

Desarrollo de mosquitos y otros insectos

Las lagunas de estabilización no presentan problemas de desarrollo de insectos mientras se conserven libres de plantas acuáticas u otros soportes para las larvas (como ramas secas y costras). La solución es mantener siempre libre de plantas los taludes y evitar que caigan plantas o ramas a las lagunas.

Dependiendo del contenido en oxígeno disuelto, la cría de peces en las lagunas de maduración puede ser una buena solución para el control de insectos. Las especies más indicadas son aquellas adaptadas a ambientes eutrofizados, tales como Gambusia, Lebistes, Tilapia y carpa china.

Para poder llevar a cabo esta cría con ciertas garantías de éxito es necesario que la laguna esté siempre en condiciones aerobias, pues de lo contrario los peces se mueren. Por tanto, antes de efectuar la suelta de peces en las lagunas hay que llevar a cabo un seguimiento metódico de la evolución del oxígeno disuelto a distintas horas, día y noche, durante al menos un mes. Las condiciones necesarias para la cría de peces suelen darse cuando existen varias lagunas de maduración en serie.

TABLA II.1
Problemas de funcionamiento

Lagunas anaerobias		
Síntoma	Causa	Solución
Malos olores	Carga orgánica excesiva.	Puesta en servicio de nuevos módulos. By-pass Aumentar la profundidad de trabajo. Siembra de bacterias metanógenas. Ajuste del pH.
	Carga orgánica demasiado baja.	Reducción del número de módulos en servicio. Disminuir la profundidad de trabajo. Siembra de bacterias metanógenas.
	Caída brusca de la temperatura ambiente.	Promover la formación de costra superficial con paja o poliestireno.
	Tóxicos o valores anormales de pH en la alimentación.	By-pass temporal de la planta hasta que se localice el vertido responsable.
Cólor rosa o rojo	Bacterias fotosintéticas del azufre, defecto de carga orgánica.	Reducción del número de módulos en servicio. Disminuir la profundidad de trabajo. Siembra de bacterias metanógenas.
Presencia de mosquitos u otros insectos.	Crecimiento de plantas acuáticas.	Eliminación de todas las plantas acuáticas u otros posibles soportes para las larvas.
	Larvas en la costra superficial.	Remover la costra para que las larvas se desprendan y sedimenten. Utilización local de insecticidas.
Crecimiento de plantas acuáticas y malas hierbas en los taludes.		Eliminación de todas las plantas, en los taludes internos; eliminar o recortar las malas hierbas en los taludes externos.

FABLA 11.2
Problemas de funcionamiento

Lagunas facultativas		
Síntoma	Causa	Solución
Acumulación de materias flotantes en superficie.	Formación de costras debida a la acumulación de algas en superficie, especialmente después de épocas muy calurosas.	Promover la sedimentación de los agregados de algas o el fango usando una manguera, si hay agua corriente, o un rastrillo una vez que el viento haya arrastrado los sólidos hacia las orillas.
	Flotación del fango del fondo en épocas muy calurosas.	Eliminar los agregados o los fangos mediante una red de limpieza de piscinas.
	Acumulación de papeles, plásticos o grasas que no hayan sido retirados en el pretratamiento.	Eliminar todas las materias flotantes mediante red.
Color rosa o rojo (bacterias del azufre)	Sobrecarga.	Aumentar el número de módulos en servicio. Mejorar la distribución de caudales en las arquetas de reparto.
Olores desagradables		Si la sobrecarga se debe a un diseño deficiente, reestructurar parte del efuente.
	Sobrecarga por vertidos estacionales incontrolados (alpechines, vinazas)	Paralizar la planta hasta que cese el vertido (by-pass). Renovar el agua de cada laguna mediante la introducción de todo el caudal de entrada a la planta durante un tiempo equivalente al doble del tiempo de residencia hidráulico (V/Q).
	Tóxicos en el agua residual.	Paralizar la planta hasta que se localice el vertido responsable (by-pass).
	Periodos prolongados de mal tiempo.	Poner más módulos en servicio.
	Reducción en la mezcla inducida por el viento.	Eliminar todos los obstáculos (vallas de obra, árboles). Si los obstáculos no son eliminables (montes, edificios), considerar la instalación de areadores.
	Cortocircuitos	Identificar las causas y aplicar las soluciones de la tabla siguiente.

TABLA 11.3
Problemas de funcionamiento

Lagunas facultativas y de maduración		
Síntoma	Causa	Solución
Anomalías de flujo	Localización deficiente de entradas y salidas.	Reducir las entradas y salidas, teniendo en cuenta el régimen de vientos
	Morfología deficiente de las lagunas	Instalación de entradas y salidas múltiples.
	Corrientes inducidas por el viento	Colocación de alimentación y desagüe de forma que los vientos dominantes sean perpendiculares al eje principal de flujo.
	Desarrollo estacional de estratificación térmica.	Colocación de entradas y salidas a varias profundidades para romper la estratificación térmica.
	Presencia de plantas acuáticas	Eliminación de todas las plantas acuáticas
	Acumulación de fangos en lagunas facultativas primarias	Retirar los depósitos de fangos del fondo.
Presencia de mosquitos u otros insectos	Crecimiento de plantas acuáticas.	Eliminación de todas las plantas acuáticas u otros posibles exportes para las larvas
		Cría de peces en las lagunas de maduración.
Crecimiento de plantas acuáticas y malas hierbas en los taludes		Eliminación de todas las plantas en los taludes internos, eliminar o recortar las malas hierbas en los taludes externos.

Bibliografía

Abeliovich, A., 1982: Biological Equilibrium in a Wastewater Reservoir. *Water Research*, 16:1135-1138.

Abeliovich, A., 1983: The Effects of Unbalanced Ammonia and BOD Concentrations on Oxidation Ponds. *Water Research*, 17(3):299-301.

AGAMIT, S. A., 1987: *Curso Básico para Operadores de Estación de Agua Residual*. Dirección Regional de Recursos Hidráulicos, Gobierno Autónomo de la Región de Murcia.

AGAMIT, S. A., 1988: *Seguimiento Experimental de Lagunas de Estabilización*. Dirección General de Medio Ambiente. M.O.P.U., Madrid.

APHA, AWWA, 1985: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C.

Beca, R. G. y R. C. Arnett, 1976: *A Limnological Model for Eutrophic Lakes and Impoundments*, Baitelle Inc, Pacific Northwest Laboratories, Richland, Washington.

Bowie, G. L., W. B. Mills, D. B. Porcella, C. L. Campbell, J. R. Pagenkopf, G. L. Rupp, K. M. Johnson, P. W. H. Chan, S. Cherini y C. B. Chamberlin, 1985: *Rates, Constants and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling* (2.^a Ed.) EPA/600/3-85/040. Athens, GA.

Bowles, D. S., E. J. Middlebrooks y J. H. Reynolds, 1979: Coliform Decay Rates in Waste Stabilization Ponds. *Journal Water Pollution Control Federation*, 51 (1):87-99.

Brock, 1978: *Microbiología de los Microorganismos*. Ed. Omega, Barcelona.

- Buhr, H. O. y S. B. Miller, 1983: A Dynamic Model of the High-Rate Algal-Bacterial Wastewater Treatment Pond. *Water Research*, 17(1):29-37.
- Chamberlin, C., y R. Mitchell, 1978: A Decay Model for Enteric Bacteria in Natural Waters, R. Mitchell (Ed.), *Water Pollution Microbiology*, vol. 2, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Chen, C. W., D. J. Smith y S. Lee, 1976: *Documentation of Water Quality Models for the Hebbs Pumped Storage Project*. Tetra Tech, Inc.
- Dietz, J. C., P. W. Clinebell, y A. L. Strub, 1966: Design Considerations for Anaerobic Systems. *Journal Water Pollution Control Federation*, 38(4):517-523.
- Dinges, R., 1982: *Natural Systems for Water Pollution Control*. Van Nostrand Reinhold Co., Nueva York.
- Djadjadingrat, A. H., 1981: *Hydrodynamique et cinétique d'épuration dans les bassins de stabilisation*. Tesis Doctoral, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- Dutka, B. J. y K. K. Kwan, 1983: Environmental Studies of Enteric Bacteria Longevity in Membrane Filter Chambers. *Journal American Water Works Association*, 75:380-382.
- Eckenfelder, W. W., 1961: *Biological Waste Treatment*. Pergamon Press, Londres.
- Eckenfelder, W. W., 1970: *Water Quality Engineering for Practising Engineers*. Barnes & Noble, Nueva York.
- Eckenfelder, W. W. y C. E. Adams, 1972: Design and Economics of Joint Wastewater Treatment. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 98:153-161.
- Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Fondation Roi Baudouin, 1981: *Le Lugunage: Synthèse des connaissances actuelles*. Arlon, Bélgica.
- Ferrara, R. A. y C. B. Avel, 1982: Nitrogen Dynamics in Waste Stabilization Ponds. *Journal Water Pollution Control Federation*, 54(4):361-369.
- Ferrara, R. A. y D. R. F. Harleman, 1980: Dynamic Nutrient Cycle Model for Waste Stabilization Ponds. *Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE*, 106(EE1):37-54.
- Ferrara, R. A. y D. R. F. Harleman, 1981: Hydraulic Modeling for Waste Stabilization Ponds. *Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE*, 107(EE4):817-830.
- Finney, B. A. y E. J. Middlebrooks, 1980: Facultative Waste Stabilization Pond Design. *Journal Water Pollution Control Federation*, 52(4):134-147.
- Fritz, J. J., A. C. Middleton y D. D. Meredith, 1979: Dynamic Process Modelling of Wastewater Stabilization Ponds. *Journal Water Pollution Control Federation*, 51(14):2724-2743.
- Gannon, J. J., M. K. Busse y J. E. Schilling, 1983: Fecal Coliform Disappearance in a River Impoundment. *Water Research*, 17(11):1595-1601.
- Gloya, I. V., 1973: *Estanques de Estabilización de Aguas Residuales*. Monografía núm. 60, Organización Mundial de la Salud, Ginebra.

Hammer, M. J. y C. D. Jacobson, 1970: *Anaerobic Lagoon Treatment of Packinghouse Waste. II International Symposium for Waste Treatment Lagoons, Missouri Basin Engineering Health Council, U. S. Federal Water Quality Administration, Kansas City, MO.*

Heras, R. (Ed.), 1981: *Manual de Ingeniería de Regadíos*. Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.

Hydrosience Inc. 1971: *Simplified Mathematical Modeling of Water Quality*. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

INYPESA, 1986: *Estudio de Seguimiento de la Planta de Depuración Mediante Lagunas de Estabilización en La Solana (Ciudad Real)*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General de Medio Ambiente, Madrid.

Kapucinski, R. B. y R. Mitchell, 1983: Sunlight-Induced Mortality of Viruses and *Escherichia Coli* in Coastal Seawater, *ES&T*, 17(1):1-6.

Kobayashi, H. A., M. Stenstrom y R. A. Mah, 1983: Use of Photosynthetic Bacteria for Hydrogen Sulfide Removal from Anaerobic Waste Treatment Effluent. *Water Research*, 17(5):579-587.

Kott, Y., 1982: Chemical Factors, Symposium on the Survival of Pathogens in the Natural Environment, *XIII International Congress of Microbiology*, Boston, MA.

Krinsky, N. I., 1977: Cellular Damage Initiated by Visible Light. T. R. G. Gray y J. R. Postgate (Eds.). *The Survival of Vegetative Microbes, 26th Symposium of the Society for General Microbiology*, Cambridge University Press, Cambridge, Gran Bretaña.

Lantrip, B. M., 1983: *The Decay of Enteric Bacteria in an Estuary*. Doctor of Science Dissertation, School of Hygiene and Public Health, The Johns Hopkins University, Baltimore, MD.

Larsen, T. B., 1974: *A Dimensionless Design Equation for Sewage Lagoons*. Universidad de New Mexico, Albuquerque.

Levenspiel, O., 1986: *Ingeniería de las Reacciones Químicas*. Ed. Reverté, Barcelona.

Melan, W. M., 1964: A Guide to the Use of Septic Tank Systems in South Africa. *CSIR Research Report no. 219*. National Institute for Water Research, Pretoria.

Malina, J. F. y R. A. Rios, 1976: *Anaerobic Ponds*, en «*Ponds as a Wastewater Treatment Alternative*». E. F. Gloyna, J. M. Malina y E. M. Davis (Eds.). Center for Research in Water Resources, Austin, TX.

Mara, D. D., 1976: *Sewage Treatment in Hot Climates*. John Wiley & Sons, Chichester.

Marais, G. v. R., 1970: Dynamic Behavior of Oxidation Ponds. *II International Symposium for Waste Treatment Lagoons, Missouri Basin Engineering Health Council, Kansas City, MO.*

Marais, G. v. R., 1974: Fecal Bacterial Kinetics in Stabilization Ponds. *Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE*, 100(EE1):119-139.

Margalef, R., 1986: *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona.

McFarry, M. C. y M. B. Pescod, 1970. Stabilization Pond Design Criteria for Tropical Asia. *II International Symposium for Waste Treatment Lagoons*. Missouri Basin Engineering Health Council, Kansas City, MO

Metcalf-Eddy, 1979. *Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales*. Ed. Labor, Barcelona

Middlebrooks, E. J., C. H. Middlebrooks, J. H. Reynolds, G. Z. Watters, S. C. Reed y D. B. George, 1982. *Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading*. Macmillan Pub. Co., Nueva York

Mitchell, R. y C. Chamberlin, 1978. *Factors Affecting the Survival of Indicator Organisms in the Aquatic Environment*. G. Berg (Ed.), *Indicators of Enteric Contamination in Natural Waters*. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI

Moreno, M. D., M. A. Medina, J. Moreno, A. Soler y J. Sáez, 1988. Modeling the Performance of Deep Waste Stabilization Ponds. *Water Resources Bulletin* 24(2) 377-387

Moreno, M. D., A. Soler, J. Moreno y J. Sáez, 1984. Thermal Simulation of Deep Waste Stabilization Ponds. *Tribune du Cebedeau*, 490 367-379

Moreno, M. D., A. Soler, J. Sáez y P. Romera, 1984. Study on the Hydrodynamic Behavior of a Deep Waste Stabilization Pond. *Tribune du Cebedeau*, 489-490 323-328

Moreno, M. D., 1984. *Aplicación de estanques profundos a la depuración de aguas residuales urbanas*. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia

Nemerow, 1977. *Aguas Residuales Industriales. Teorías, Aplicaciones, Tratamiento*. Hermann Blume Ed., Barcelona

Ortuño, J. F., A. Soler y J. Sáez, 1987. Absorption of Phosphate in Deep Wastewater Stabilization Ponds Sediments. *Proceedings, IV Mediterranean Congress of Chemical Engineering*, 744-745.

Pano, A. y E. J. Middlebrooks, 1982. Ammonia Nitrogen Removal in Facultative Wastewater Stabilization Ponds. *Journal Water Pollution Control Federation*, 54(4) 344-351

Parker, C. D., H. L. Jones y N. C. Greene, 1959. Performance of Large Sewage Lagoons at Melbourne, Australia. *Sewage Industrial Wastes*, 31(2) 133-145

Pearson, H. W., D. D. Mara y C. R. Bartone, 1987. Guidelines for the Minimum Evaluation of the Performance of Full-Scale Waste Stabilization Pond Systems. *Water Research*, 21(9) 1067-1075

Puig Mediavilla J., 1987. Lagunas de oxidación y contactores biológicos rotativos. Dos alternativas de bajo coste para la depuración de aguas residuales urbanas. *Química Hoy* 4:47-50

Radoux, M., D. Kemp, J. C. Block, 1981. *Épuration d'eaux usées urbaines par lagunage: étude expérimentale de l'importance des helophytes*. Centre des Sciences de l'Environnement Metz

Radoux, M. y D. Kemp, 1982. Evolution des capacités épuratrices d'écosystèmes reconstitués miniature à macrophytes au cours d'une période de végétation. *Journées Internationales du Cebedeau*. Lieja

Reddy, G. B. y K. R. Reddy, 1987. Nitrogen Transformations in Ponds Receiving Po-
Water from Nonpoint Sources. *Journal Environmental Quality*, 16(1) 1-5.

Rodier, J., 1979. *L'analyse de l'eau*. Bordas, Paris.

Rojó Blanco, E., 1988. *Aspectos biológicos del lagunaje*. Cuadernos Técnicos. Consejería de
Política Territorial y Obras Públicas. Comunidad Autónoma de Murcia. Murcia.

Schneider, R. W., E. J. Middlebrooks y R. Sietten, 1984. Wastewater Lagoon Sludge Cha-
racteristics. *Water Research*, 18(7) 861-864.

Schroeder, E. D., 1977. *Water and Wastewater Treatment*. McGraw-Hill, Nueva York.

Sieracki, M., 1980. *The Effects of Short Exposures of Natural Sunlight on the Decay Rates
of Enteric Bacteria and a Coliphage in a Simulated Sewage Outfall Macrocosm*. M. S. Thesis.
University of Rhode Island, Kingston, RI.

Smith, D. J. 1978. *Water Quality for River-Reservoir Systems*. U. S. Army Corps of Engineers
(Hydrologic Engineering Center), Davis, CA.

Somiya, I. y S. Fuji, 1984. Material Balances of Organics and Nutrients in an Oxidation
Pond. *Water Research*, 18(3) 325-333.

Tetra Tech Inc., 1976. *Estuary Water Quality Models, Long Island*, Ny User's Guide, Nassau
Suffolk Regional Planning Board, Hauppauge, Nueva York.

Thurumurthi, D., 1974. Design Criteria for Waste Stabilization Ponds. I. *Water Pollution
Control Federation*, 46(9) 2094-2106.

Uhlmann, D., 1979. BOD Removal Rates of Waste Stabilization Ponds as a Function of
Loading, Retention Time, Temperature and Hydraulic Flow Pattern. *Water Research*,
13:193-199.

U. S. Environmental Protection Agency, 1977. *Process Design Manual for Wastewater Treat-
ment Facilities for Sewered Small Communities*. Technology Transfer, Cincinnati, OH.

U. S. Environmental Protection Agency, 1983. *Design Manual. Municipal Wastewater Sta-
bilization Ponds*. EPA 625/1-83-015, Municipal Environmental Research Laboratory. Cin-
cinnati, OH.

U. S. Environmental Protection Agency, 1984. 24 de mayo, *Federal Register*, 49:21988.

Vollenweider, R. A., 1974. A Manual on Methods for Measuring Primary Production in
Aquatic Environments. *I.B.P. Handbook no. 12*. Blackwell Sci. Pub., Oxford.

W. H. O., 1987. *Wastewater Stabilization Ponds: Principles of Planning and Practice*. WHO
EMRO Technical Publication no. 10, World Health Organization, Regional Office for the
Eastern Mediterranean, Alejandria.

Yáñez, F., 1980. *Evaluation of the San Juan Stabilization Ponds*. Final Research Report,
CEPIS/WHO/IDRC, Lima.