

# SOLUCIONES AL PROBLEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MEDIOS RURALES

Por FERNANDO JOSA CASTELLS  
Ingeniero de Caminos.

*Consideramos de gran interés para el tratamiento de aguas residuales en los medios rurales la referencia que presenta el autor sobre los llamados Estanques de Esterilización que se están experimentando con éxito en los Estados Unidos y que constituyen una solución muy sencilla y económica.*

El acuciante problema del tratamiento de las aguas residuales de aglomeraciones que tienen escasos medios económicos y aún menos posibilidades de disponer de un personal técnico con una preparación mínima para explotar debidamente cualquier sistema de tratamiento clásico, por sencillo que sea, viene preocupando, como es bien sabido, desde hace tiempo a las autoridades sanitarias, y en muchos casos también a los particulares, a quienes afectan las descargas de los efluentes. Las soluciones, en general, han consistido en extrapolar en ambos sentidos los métodos conocidos: o bien se hacían grandes fosas sépticas o bien se proyectaban pequeñas estaciones de fangos activados, de percoladores, etc. Mas raramente se han estudiado sistemas especiales como el que someramente se va a describir en primer lugar; pero aun cuando en estos casos se ha procurado limitar al mínimo tanto los mecanismos como el personal técnico necesario, la realidad ha sido que el automatismo natural no ha sido completo, o cuando menos no ha sido el suficiente para poder entregar la explotación a las administraciones que se han de hacer cargo de ella, ya que no disponen de organización técnica, o si la tienen es muy rudimentaria.

Planteado el problema en su forma general y agravados los problemas con el constante incremento de la contaminación de los cauces de escaso caudal en las zonas rurales, se dieron a conocer en los Estados Unidos las experiencias y resultados obtenidos poco después de la segunda guerra mundial, con los llamados Estanques de Estabilización, en los dos Estados de Dakota del Norte y del Sur. El gran sentido práctico del pueblo de los Estados Unidos y la ayuda prestada por el Public Health Service, han hecho que en pocos años las instalaciones de este tipo aumentaran en una forma prodigiosa, para dar idea de la cual, y a falta de datos más generales se puede indicar que en el año 1957 existían ya 75 en los Estados de Dakota; 140 en la cuenca del Missouri, y unas 200 en el Estado de California.

No se trata aquí de agotar el tema puesto que sólo la discusión de los resultados numéricos podría dar lugar a una extensa publicación; lo que se pretende es presentar las soluciones e intentar interesar a nuestra Administración para que, a vista de los excelentes y fáciles resultados que se pueden obtener, disponga de un medio más para mejorar el saneamiento de las zonas rurales y pueda acometer con más eficacia la lucha contra la contaminación creciente de los cursos de aguas.

\* \* \*

Recientemente, en su número de noviembre de 1958, "La Technique Sanitaire et Municipale" ha publicado un artículo del Dr. Ingeniero holandés A. Pasveer sobre un método simple para tratar pequeñas cantidades de agua residual. El sistema, utilizado en Holanda, se puede utilizar, según recomienda el autor, en aglomeraciones de hasta 5 000 habitantes (o equivalentes), y consiste en esencia de una depuración aerobia natural, forzada, que exige relativamente poco espacio y que por ausencia de molestias en las inmediaciones permite instalar en las proximidades de las viviendas, disimulándola convenientemente en una zona verde. El resultado que se busca, como en cualquier tipo de instalación simplificada, ha de ser completo; es decir, que no sólo se ha de producir un efluente aceptable, sino que se ha de evitar la formación de fangos que hayan de ser digeridos. La base de la instalación en cuestión es un estanque anular alargado en el que penetra el agua residual por un extremo del eje mayor; en el otro extremo de este eje hay un desagüe sumergido para evacuar el efluente combinado con un aliviadero de emergencia; el conjunto de la masa de agua es obligado a circular a lo largo del anillo forzado por un rotor o cepillo cilíndrico análogo al del sistema Kessener, el cual, además de establecer la circulación, procura la necesaria aireación para que

el proceso se mantenga en un ciclo aerobio. La figura 1.<sup>a</sup>, tomada del propio autor, da la idea general de la instalación. En ella se ve que, además de los elementos principales antes reseñados, se dispone una rejilla para detener elementos flotantes que por su

gelada. El extractor de fangos puede ser dotado de un contactor horario que efectúe las descargas periódicamente. En las mayores instalaciones al circuito principal se le añaden otros dos con un rotor cada uno. En fin, el número de mejoras puede ser indefinido, pero con cada una pierde una gran parte de su valor primordial, la sencillez; por eso nos vamos a limitar al tipo inicial más simple.

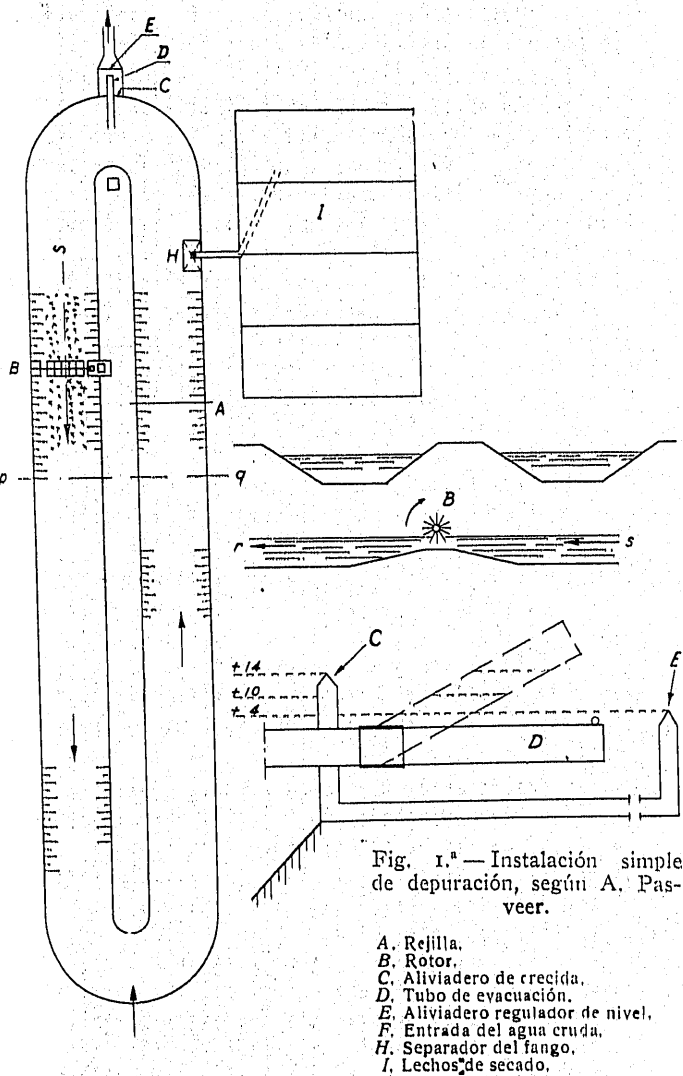
La capacidad del estanque se calcula para 200 a 300 litros por habitante o equivalentes, por lo que supone una retención de unas veinticuatro horas. El agua afluyente se mezcla con la del circuito, muy coagulada, la masa de cuyos flocúlos absorbe las materias en suspensión de aquélla. La gran cantidad de oxígeno disuelto destruye activa y continuamente la materia orgánica y el agua se depura totalmente y se nitrifica parcialmente, eliminándose de tal forma que los flocúlos se mantienen en el circuito, en tanto que el efluente sale limpio. Como consecuencia de la retención en el estanque de la materia en suspensión, la cantidad de ésta por unidad de volumen se mantiene muy superior (más de diez veces) a lo normalmente aceptada en un estanque de fangos activados; en cambio, como la carga es mucho menor que la de estos estanques, la oxidación es mucho más intensa y la D.B.O., por unidad de volumen, es mucho menor. En tiempo lluvioso el plan de la estación se altera, el efluente puede no ser claro y el aliviadero puede verter aguas floculentas. Ahora bien: en estos momentos los cauces receptores del efluente aumentan también de caudal y permiten una mayor carga a depurar por sí mismos. En tiempo seco el efluente queda depurado y los fangos que se retiran están suficientemente nitrificados, para que al secarse no produzcan malos olores. Estos fangos se extraen con un contenido del 3 al 4 por 100 de materia seca, y en los lechos de secado se les deja perder por filtración dos tercios del agua, quedando aquélla en un 12 por 100. Una vez al mes son extraídas por succión con las máquinas limpiadoras de los sumideros de imbornales y entregados a los agricultores. El contenido del fango sólo en nitrógeno es del 6 por 100 y del 70 por 100 en materia orgánica. En general en Holanda, donde abundan los suelos arenosos, los fangos son apreciados porque aportan un humus del que a veces carecen las tierras. El consumo de energía es del orden de 18 kilovatios/hora por habitante o equivalente y año.

\* \* \*

La solución americana de los Estanques de Estabilización tiene también por base la destrucción de la materia orgánica en un ciclo aerobio por procedimientos totalmente naturales y sin más instalaciones que las que puedan añadirse en casos muy concretos por necesidades de niveles o para control de los resultados. El balance positivo de oxígeno nece-

constitución podría mantenerse indefinidamente circulando; un separador continuo de fangos, consistente en una depresión transversal en la que se van depositando y son extraídos por una bomba, y, finalmente, se dispone un secador de fango.

Tal y como queda descrito, se obtiene la instalación más simple, pero a ella se pueden añadir otros elementos que complementen o mejoren los anteriores; por ejemplo, en lugares fríos el rotor se protege contra las heladas con una caja ligeramente sumergida que provoca una solución de continuidad en la capa de hielo, permitiendo al rotor mantener la aireación y la circulación por debajo de la superficie con-



sario en el estanque para mantener el tratamiento aerobio no se basa en la adición de aire en la masa de agua, sino en el proceso natural de fotosíntesis de las algas. Esquematizándolo, el ciclo comienza con un consumo y consiguiente reducción del oxígeno disuelto por parte de las bacterias aerobias que en su proceso vital desprenden el  $\text{CO}_2$  que precisan las algas, y por fotosíntesis, en presencia de la clorofila, la descomponen reteniendo el carbono y desprendiendo oxígeno. En condiciones favorables de sol y temperatura, el oxígeno producido excede con mucho al consumido y, por consiguiente, el ciclo está asegurado; de ahí el interés que la solución presenta por sus condiciones favorables en nuestro país. No obstante, como se verá, la experiencia demuestra que aun en épocas nubladas y hasta con hielo, el funcionamiento, si no perfecto, es aceptable.

Muchos Estados de la Unión han hecho estudios particulares sobre el funcionamiento de los estanques y a ellos nos referimos en datos que daremos más adelante; no obstante, comenzaremos esbozando los resultados generales obtenidos por el RATSEC de Cincinnati, que por su carácter federal tiene un valor de tipo más general. Principiando por su definición, un Estanque de Estabilización es una instalación proyectada de tal forma, que puede tratar biológica, química y físicamente aguas residuales por procedimientos exclusivamente de autodepuración natural. Por la naturaleza misma del sistema no se puede aspirar a llegar a unos procesos perfectos y, por ello, en el proceso físico de sedimentación de la materia orgánica, se produce una descomposición aeróbica y otra anaeróbica, dependiendo sus respectivas proporciones del contacto que la materia tenga con el líquido que se mantiene en estado aerobio; por ello, interesa que se produzca el máximo de dispersión de los depósitos, cosa que se consigue por la acción del viento y por convección. Desde el punto de vista químico, las reacciones que tienen lugar provocan la precipitación de coloides y materias disueltas.

Entre los factores que intervienen en la depuración hay un grupo incontrolable en el que figuran principalmente la luz, temperatura y el viento. Los factores del otro grupo están en nuestra mano, su fijación es la base del proyecto y son los siguientes: Tamaño y forma en planta, calado, carga, sistema de entrada de agua cruda y salida del efluente, características de las paredes y el fondo, ubicación y explotación.

Ya se ha indicado antes cuál es la función de la luz en el proceso. A este respecto la eficacia del estanque variará con la luz disponible en aquel punto y no será constante a lo largo del año. Por otro lado, la concentración de algas reduce notablemente la transparencia del agua, pudiendo llegar a impedir la penetración de la luz a partir de los 5 centímetros de profundidad, no debiéndose contar con una pe-

netración mayor de 70 centímetros. Midiendo el oxígeno disuelto a distintas profundidades, se comprueba lo rápidamente que decrece la acción del fenómeno de fotosíntesis y se comprueba también que el balance positivo de oxígeno que se mantiene durante el día desaparece durante la noche por respiración del conjunto total de microorganismos; sin embargo, no llegan a producirse malos olores.

La máxima influencia de la temperatura corresponde al caso de congelación de la superficie. Mientras la superficie está cubierta de hielo, los movimientos en el interior de la masa de agua se deben únicamente a las diferentes densidades y a convección; por otro lado, aún queda más entorpecida la penetración de la luz, y como consecuencia de ello el proceso pasa a ser anaerobio, si bien con poca actividad debido a la baja temperatura. Al iniciarse el deshielo en el fondo y cerca de los desagües, se encuentran acumulados fangos no estabilizados; al desaparecer la cubierta de hielo se dejan sentir malos olores, pero la dilución proporcionada por el agua deshelada y la rápida formación de algas que reestablecen el ciclo aerobio hacen que esas molestias queden localizadas a las proximidades y no sean excesivas.

La acción del viento es escasa en cuanto a aireación directa porque la menor tensión superficial del agua dificulta la formación de pequeñas olas. En cambio, el empuje y sobreelevación que se experimenta en el lado del sotavento del estanque produce una corriente de fondo en sentido contrario que dispersa los sedimentos.

La evaporación, la filtración en el terreno y las precipitaciones alteran el ciclo hidráulico de los estanques. Las dos primeras reducen el efluente que, en algunos casos, llega a anularse, estableciéndose el equilibrio para un calado menor para el previsto en el proyecto. Ahora bien: la reducción de calado y la correspondiente de capacidad pueden dar un volumen escaso para el tratamiento. La filtración debe tenerse en cuenta cuando hay extracciones próximas que pueden quedar contaminadas. El estudio del terreno es, pues, necesario, y si se precisa habrá en algunas ocasiones que impermeabilizar el fondo y los cajeros. Las precipitaciones aumentan el efluente sin ninguna consecuencia perjudicial sobre todo, y si se dispone de un pequeño aliviadero de crecida ante la entrada.

Las dimensiones generales son los elementos básicos del proyecto. Las características económicas de estas instalaciones hacen que muchas veces se aprovechen depresiones o circunstancias naturales. De todas formas se debe tender a que el dimensionado se aproxime a datos experimentados que, traducidos a nuestras condiciones, serían los siguientes:

Profundidad (calado), 125 m. (máximo).

Superficie: Las normas que dan Neel y Hopkins para Dakota del Norte es 10 acres por cada mil ha-

bitantes, o bien doscientas veces el volumen diario de agua residual, lo cual supone una dotación de 270 l./h./d. Si nos adaptáramos a nuestras normas y con un calado de 1,25 m., supusiéramos una dotación de 150 l./h./d., la capacidad de doscientas veces daría una planta del estanque de 24 000 m.<sup>2</sup>, que, redondeando, se podría establecer en 2 1/2 hectáreas por cada mil habitantes. La superficie promedio en los 188 estanques existentes en Texas es bastante menor y viene a resultar de 0,75 hectáreas por mil habitantes. Esta gran diferencia no es de extrañar si se tienen en cuenta las dos siguientes circunstancias: 1.ª En Texas una gran proporción (del orden del 50 por 100) de los estanques forman sólo una etapa del tratamiento, en general, con una decantación previa, lo que reduce la superficie necesaria del estanque. 2.ª Los climas de los Dakotas y Texas son enormemente diferentes, pues mientras Dakota del Norte linda con el Canadá, el borde Sur de Texas está próximo al Trópico. Un criterio económico de aplicación en nuestro país sería prever los estanques de una hectárea por mil habitantes, duplicándolos en caso de necesidad, con lo que se tendría mayor seguridad en no sobrepasar la superficie necesaria, y, por otro lado, no sería inconveniente disponer de dos estanques en paralelo puesto que podría dejarse uno en servicio, aunque sea en condiciones precarias, mientras se efectuaran reparaciones o modificaciones en el otro. Un medio más científico de dimensionar los estanques sería en función de la carga medida en D.B.O. del agua residual; pero ello supondría la necesidad de afinar también los factores que intervienen en el mantenimiento del balance positivo de oxígeno dentro del estanque, cosa que no podemos prever numéricamente. Por consiguiente, como la experiencia demuestra que los estanques dimensionados empíricamente funcionan suficientemente bien, no es lógico llegar a aquel extremo. Lo que sí parece recomendable es hacer ensayos generales con algún estanque construido a escala natural, que es lo que nos proponemos en una etapa inmediata.

La forma del estanque tiene influencia en la eficacia, debiendo ser lo más regular posible para evitar concentraciones de sedimentos en los puntos singulares. Si las circunstancias no son desiguales, el desagüe debe ser central; pero si, por ejemplo, hubiera un viento reinante definido, el desagüe en el fondo debería hacerse al lado de sotavento y el alivadero del efluente en el lado contrario, procurando que no tome aguas muy superficiales en las que se concentran las algas. La ubicación de los estanques no debe ser próxima al casco urbano (un kilómetro al menos alejado de él) en su lado de sotavento y debe procurarse que quede lo menos resguardado posible del viento.

El número de habitantes que se pueden servir es indefinido. El límite mínimo puede ser de un centenar o menos y el límite máximo es sólo una cues-

tión de multiplicar el número de unidades para que funcionen debidamente. En Texas, cerca de la población de San Antonio, existe un estanque que en realidad es un lago y sirve a una población de 408 000 habitantes. Sin embargo, parece que el mínimo de

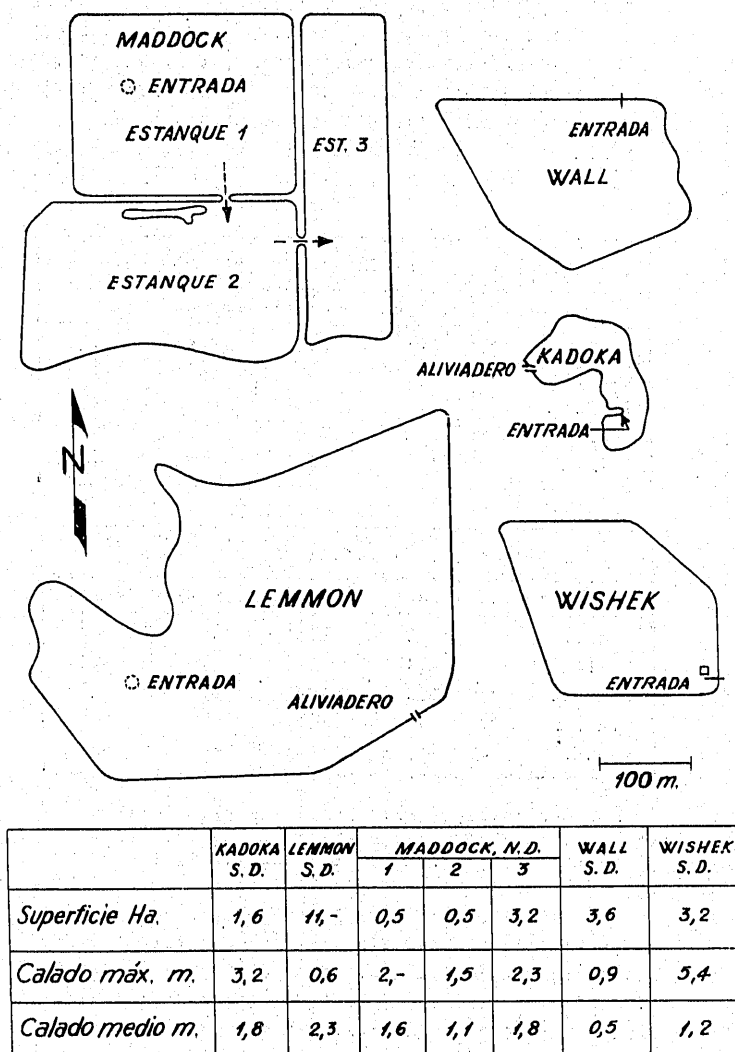


Fig. 2.ª—Estanques en los Estados de Dakota, que han servido para la máxima investigación.

habitante más recomendable es el comprendido entre 500 y 2 500.

Una cuestión final debe tenerse en cuenta en relación con los seres vivos que o a quienes puede influir la existencia de los estanques: En relación con el hombre hay que prohibir su acceso con letreros y un sencillo cierre que podría ser de espino y seto. A veces en estos estanques se posan patos y otros volátiles silvestres. No existe constancia de que puedan producir epidemias. El problema de los roedores no se empeora ni mejora comparado con la

situación anterior de vertido incontrolado, ni es superior a la de una estación con lechos de secado. Por último, los insectos se combaten impidiendo el crecimiento de plantas o con larvicidas.

De que tengamos noticia se han efectuado ensayos sistemáticos en los dos Estados de Dakotas, en Kearney (Nebraska) y en el Estado de Texas. Todos ellos son muy extensos y de ellos se han publicado las características más relevantes. Por lo que se refiere a los primeros, constituidos por un grupo de cinco y esquemáticamente representados en la figura 2.<sup>a</sup>, se dan en la figura 3.<sup>a</sup> los porcentajes de reducción de Colimetría y D.B.O.. Para el estanque

| COLIMETRÍA. REDUCCION % EN EL EFLUENTE |          |           |        |             |
|--|----------|-----------|--------|-------------|
| Estanque                               | Invierno | Primavera | Verano | Otoño       |
| Kadoka . . . . .                       | 99,9     | 99,6      | 99,8   | 99,2        |
| Wall . . . . .                         | 83,7     | 99,8      | 99,6   | 99,4        |
| Lemmon . . . . .                       | 99,7     | 98,2      | 99,8   | 59,5 a 98,1 |
| Maddoch . . . . .                      | 96,0     | 99,0      | 99,4   | 96,0        |
| Wishek . . . . .                       | 98,3     | 99,1      | 97,0   | —           |

| REDUCCIÓN DE LA D. B. O. EN EL EFLUENTE |          |           |        |       |
|---|----------|-----------|--------|-------|
| Estanque                                | Invierno | Primavera | Verano | Otoño |
| Kadoka . . . . .                        | 96,2     | 88,0      | 87,0   | 86,2  |
| Wall . . . . .                          | 43,6     | 87,2      | 88,5   | 85,4  |
| Lemmon . . . . .                        | 91,2     | 88,4      | 93,0   | 92,8  |
| Maddoch . . . . .                       | 76,8     | 88,2      | 97,2   | 98,4  |
| Wishek . . . . .                        | 70,0     | 73,8      | 89,0   | —     |

Fig. 3.<sup>a</sup> — Porcentajes orientativos de la reducción de colimetría y D.B.O. sacados de Towne, Bartsh y Davis, en los cinco estanques experimentales de los Estados de Dakota.

de Kearney ya no es tan fácil dar resultados resumidos porque la experimentación se hizo en condiciones muy heterogéneas. De Texas, donde también las características son muy dispares, se han extractado en la figura 4.<sup>a</sup> algunos datos que ilustran más bien resultados generales. De la utilización de los estanques de estabilización, como etapas o como único tratamiento, parece deducirse que su mejor forma de trabajo se consigue a base de aguas crudas (sin ningún tratamiento previo). Los tratamientos previos que pueden proceder a un estanque aportarán siempre un efluente más o menos séptico que

carece de algunos elementos nutritivos de las algas que, en cambio, posee el agua cruda; esta falta queda agravada en ocasiones por la formación de compuestos, que son francamente nocivos a su crecimiento.

|                    | Habitantes<br>servicios | Número de<br>estanques | Superficie<br>—<br>Ha. | Calado<br>—<br>m. | Soleam.<br>% | D.B.O.<br>%<br>Reducción |
|--------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|--------------|--------------------------|
| Total . . . . .    | 1.005.000               | 360                    | —                      | —                 | —            | —                        |
| Máximo . . . . .   | 500.000                 | 20                     | 340                    | 3                 | 76           | —                        |
| Mínimo . . . . .   | 300                     | 1                      | 0,02                   | 0,6               | 61           | —                        |
| Promedio . . . . . | 8.400                   | 2,20                   | 5,10                   | 0,9               | 66           | 70                       |

Fig. 4.<sup>a</sup> — Datos generales correspondientes a un conjunto de 188 aglomeraciones (según Hermann y Gloyna).

De todas formas, los fenómenos bioquímicos son realmente mucho más complicados de lo que puede deducirse de las ideas simplistas que hemos dado para intuir el proceso; concretamente, los biólogos de California han llegado a la conclusión de que la eficacia del sistema no se debe tan sólo a la destrucción de la materia orgánica por las bacterias aerobias normales a base de oxígeno proporcionado por la fotosíntesis de las algas, sino que a este fenómeno se superpone otro cuyo papel principal lo proporciona la simbiosis de ciertas especies de algas, bacterias y plankton que trabajan en equipo.

\* \* \*

La concisa exposición que se ha hecho no pretende más que apuntar una solución al grave problema de la eliminación de las aguas residuales en los medios rurales que no disponen de medios económicos ni técnicos para acometer los procedimientos clásicos de tratamiento. Que la solución es sencilla y económica salta a la vista. Que es eficiente se deduce de los resultados. Ahora bien: puede ser que algún espíritu crítico considere insuficiente los porcentajes de depuración que se consiguen en los estanques; pero cuando se han conocido muchas estaciones de tratamiento dotadas de las instalaciones más completas y se han comprobado las mejoras reales obtenidas en los efluentes, se puede uno permitir dar un fuerte recorte a los resultados apuntados para los estanques de estabilización, quedándose aún por encima de los resultados obtenidos en gran parte de aquellas estaciones.