

# REPORTE DE INVESTIGACIÓN

**del  
Instituto de  
Zoología**

**No. 27**

M. PÉREZ-EIRIZ, V. I. ROMANENKO, y M. A. PUBILLONES

**Características microbiológicas  
de la película superficial bacteriana (neuston)  
del Embalse de Sierra del Rosario, Cuba**

OCTUBRE DE 1986



**ACADEMIA DE CIENCIAS  
DE CUBA**

Características microbiológicas de la película superficial bacteriana  
(neuston) del Embalse de Sierra del Rosario, Cuba<sup>1</sup>

M. PÉREZ-EIRIZ<sup>2</sup>, V. I. ROMANENKO<sup>3</sup>, y M. A. PUBILLONES<sup>3</sup>

RESUMEN. Se analiza la cantidad de bacterias y hongos saprófitos en la película superficial bacteriana, la actividad de las algas y las bacterias que ocupan este nicho, y la morfología de las bacterias, en el Embalse de Sierra del Rosario, en condiciones experimentales, y se compara con la de otros tres embalses. En casi todos los embalses estudiados la cantidad de bacterias en la película fue casi el doble que en la capa subyacente considerada como control, y los valores encontrados concordaron con el estado trófico del embalse. Se encontró en todos los casos muy escasa cantidad de hongos saprófitos. Las formas bacterianas más comúnmente observadas fueron bacterias pedunculadas, principalmente Caulobacteriales y bacilos, así como bacterias con formaciones permeables y no permeables al paso de los electrones, en el Embalse de Sierra del Rosario. Éste presentó una película muy activa fotosintéticamente, pero con menor actividad bacteriana, considerada a partir de la tasa de utilización de glucosa en la oscuridad, al compararla con la de los otros tres embalses estudiados. La película superficial natural del Embalse de Sierra del Rosario contiene abundante cantidad de glucosa con cantidades menores de fenol, y ambos substratos se autodepuran microbiológicamente a niveles normales en la naturaleza. Los resultados indican que el neuston de este embalse constituye un nicho ecológico de importancia, con características eutróficas dentro de un embalse oligotrófico.

## 1. INTRODUCCIÓN

Gran parte del material orgánico en los embalses está constituido por materia orgánica disuelta, la cual es capaz de atravesar filtros con poros de un diámetro algo menor de una micra. Muchas de estas sustancias orgánicas tienen una elevada actividad superficial y tienden a acumularse en la interfase agua-aire y formar una película superficial (Jarvis, 1967; Garret, 1967).

<sup>1</sup>Manuscrito aprobado en junio de 1985.

<sup>2</sup>Instituto de Zoología, Academia de Ciencias de Cuba.

<sup>3</sup>Instituto de Biología de Aguas Interiores, Academia de Ciencias de la URSS.

La alta tensión superficial, unida a la elevada radiación solar, la gran concentración de nutrientes orgánicos, y el potencial redox favorable para los organismos aerobios, son los factores que caracterizan este biótopo, que constituye la superficie marginal entre el aire y el agua. Al mismo tiempo, esta película favorece el atrapamiento de burbujas de gases procedentes del fondo y afecta la transferencia aire-agua del material particulado (Blanchard y Syzdek, 1972), así como las tasas de transferencia gaseosa entre el aire y el agua.

Las características microbiológicas de la película superficial del agua son poco conocidas, aunque existen algunos trabajos importantes, como los de Drachev et al. (1957, 1963), Beliaev (1967), Bakeenzen y Schwartz (1970), Crow et al. (1975), Romanenko et al. (1978), y Marshall (1978); este último analiza la mayor parte de lo publicado sobre la temática y ofrece algunos resultados nuevos.

Sin embargo, en los embalses tropicales las características microbiológicas de este biótopo no se han estudiado en absoluto, debido a que sólo recientemente se comenzó a dar importancia a este nicho ecológico, que, de acuerdo con los resultados obtenidos por Bayley y Sutcliffe (1963), y las observaciones realizadas en Cuba por J. González Aguet (inédito)<sup>4</sup>, parece tener importancia en la alimentación del zooplancton, tanto de Copepoda como de Cladocera.

El objetivo de este trabajo fue determinar la cantidad de hongos y bacterias saprófitas en la película superficial bacteriana, en condiciones experimentales, la morfología de las bacterias que ocupan este nicho, y su actividad en el Embalse de Sierra del Rosario, comparándola con la de otros embalses, así como establecer algunas características microbiológicas de la película superficial natural de este embalse.

<sup>4</sup>"Composición y diversidad del zooplancton. En: Influencia de la cuenca de drenaje sobre la producción y la calidad del agua del Embalse de la Sierra del Rosario." Informe Final, Instituto de Zoología, Academia de Ciencias de Cuba, pp. 72-94 (mimeografiado), 1980.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en el mes de abril de 1978, con el agua del Embalse de la Sierra del Rosario, en la Provincia Pinar del Río, un embalse oligotrófico según Pérez-Eiriz y Pubillones (1976). Para comparar los resultados experimentales se empleó el agua de los embalses de Río Mosquito, eutrófico según Pérez-Eiriz et al. (1980), La Coca, mesotrófico según Romanenko et al. (en prensa), y Ejército Rebelde, eutrófico según Pérez-Eiriz y Ortega (1978). Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza de clasificación múltiple y contraste de medias de Duncan, en el Instituto de Matemática, Cibernética y Computación de la Academia de Ciencias de Cuba. Los trabajos con la película superficial natural del Embalse de Sierra del Rosario se realizaron durante 15 días en el mes de mayo del mismo año.

Para estudiar la formación de la película bacteriana en la superficie del agua, en condiciones experimentales, se colocó el agua para el experimento en peceras de 20 X 12 X 10 cm, y se hicieron dos réplicas de cada experimento. Las muestras para los análisis se tomaron en dos biótopos dentro de ese microcosmos, la capa superficial (película) y la capa profunda (5 cm por debajo de la superficie), para utilizarla como control. Las muestras se tomaron por triplicado con asas de platino estériles, calibradas para el peso de la gota.

La cantidad de bacterias saprófitas se determinó por conteo de colonias en el medio agar-carne-peptona. Los resultados se expresan por  $1 \text{ cm}^2$  y 1 mg de película superficial. Las siembras se realizaron tomando dos asas de la película superficial, que se disolvieron en 6 ml de agua estéril, de la cual se tomó 1 ml para la siembra. Las siembras se hicieron por triplicado. De igual forma se procedió con el agua tomada a 5 cm por debajo de la superficie, que se usó como control.

Para determinar la morfología de las bacterias en la película superficial bacteriana, se colocaron en el microscopio electrónico dos celdas en cada portaobjeto, las cuales se cubrieron con una capa de colodion. Cada portaobjeto se sumergió en el agua de las peceras, de forma que las dos celdas quedaran en contacto con la película superficial durante 12 horas, y se observaron al microscopio electrónico después de secas.

Para determinar la actividad de las bacterias del neuston, las muestras se tomaron en la forma antes indicada y se colocaron sobre cuadrados de vidrio de 1 cm<sup>2</sup> a los cuales se añadió una gota de glucosa marcada con <sup>14</sup>C, con una pipeta de Pasteur estéril y calibrada para el peso de la gota. Los cuadrados de vidrio se colocaron en una cámara húmeda y se incubaron en la oscuridad durante 1 hora. Posteriormente, las muestras se fijaron con una gota de formol a 4%, con una pipeta semejante a la utilizada para añadir la glucosa marcada, y se agitaron con una aguja de platino estéril. Los cuadrados de vidrio se secaron con una hornilla para que las células bacterianas se fijaran al vidrio, y después se introdujeron en una placa petri, donde se lavaron con agua destilada para eliminar el exceso de glucosa marcada que pudiera quedar adsorbida al preparado. El conteo se realizó con un contador Geiger y el resultado se expresó como µg C-glucosa/1 ml. Los muestreos se repitieron durante 3 días seguidos, con el fin de conocer la dinámica del proceso con el envejecimiento de la película.

Para determinar la intensidad de la fotosíntesis en la película superficial bacteriana, en condiciones experimentales, el trabajo se realizó de la misma forma que en el caso anterior, pero añadiendo a las muestras carbonato de sodio marcado con <sup>14</sup>C en lugar de glucosa, e incubando las muestras a la iluminación natural durante 1 hora. Transcurrido ese tiempo, las muestras se fijaron con formol a 4%, acidificado para eliminar el carbonato marcado adsorbido. El conteo se efectuó con un contador Geiger y el resultado se expresó como µg C/1 ml/hora.10<sup>-2</sup>, calculado según la fórmula de Steeman-Nielsen (1952). Tanto el método para determinar la actividad bacteriana como la fotosíntesis en la película superficial fueron desarrollados por los autores.

La tasa de utilización de glucosa y fenol por la película superficial natural del Embalse de Sierra del Rosario se determinó por el método de Wright y Hobbie (1965) utilizando glucosa y fenol marcados con <sup>14</sup>C.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra las características hidrológicas de los embalses investigados, así como las características químicas y la transparencia al disco de Secchi. La Tabla 2 indica los valores promedio obtenidos para la

cantidad de bacterias y hongos saprófitos en la película superficial y en el agua subyacente utilizada como control, y obtenidos en medio agar-carne-peptona. Para todos los embalses, las diferencias fueron estadísticamente significativas entre la cantidad de hongos y bacterias en la película y el control, así como entre los valores de los cuatro embalses analizados.

En casi todos los casos, la cantidad de bacterias saprófitas en la película fue el doble que en el control, y los valores concuerdan con el estado trófico del embalse. Así, en el Embalse Ejército Rebelde, autotrófico, se observó mayor cantidad de bacterias saprófitas que en los otros tres, en tanto que los valores menores correspondieron al de Sierra del Rosario, donde tanto la producción autotrófica como la heterotrófica son muy bajas (Pérez-Eiriz y Pubillones, 1976). Drachev *et al.* (1957) encontraron también un crecimiento considerablemente mayor de bacterias saprófitas en la película superficial que en el agua subyacente.

No hubo variaciones estadísticamente significativas entre la cantidad de hongos saprófitos en la película y el control, y, en general, su cantidad fue siempre baja, a pesar de que, al observar al microscopio (después de teñidos) los portaobjetos mantenidos en contacto con la película superficial, se observó gran cantidad de hifas de hongos (Fig. 1).

Las formas bacterianas más comúnmente observadas en la película superficial del Embalse de Sierra del Rosario fueron los bacilos (Fig. 2A), bacterias pedunculadas, principalmente Caulobacteriales (Fig. 2B), y bacterias con estructuras permeables y no permeables al flujo de electrones (Fig. 2C).

En el Embalse de Río Mosquito predominaron las Caulobacteriales de pedúnculo largo (Fig. 3A), y bacilos con gran cantidad de vacuolas (Fig. 3B). En el Embalse La Coca los bacilos fueron la forma dominante (Fig. 4A), mientras que en el Embalse Ejército Rebelde predominaron las Caulobacteriales (Fig. 4B). Beliaev (1967) reportó resultados semejantes para las formas dominantes en las bacterias de la película superficial de los embalses de la URSS.

Según Marshall (1978), la colonización de portaobjetos situados en la película superficial bacteriana es un proceso selectivo en función del tiempo de exposición. Según este autor, los bacilos pequeños (menores

de 0,8 micras) se adhieren después de una hora de inmersión del portaobjetos en la película; mientras que los cocos y espirilos no aparecen hasta después de 6 a 8 horas, y las formas pedunculadas no se encuentran sino después de 24 horas, apareciendo más tarde diatomeas y protozoos. Sin embargo, en nuestras condiciones, después de 12 horas de incubación apareció gran cantidad de bacterias pedunculadas, así como diatomeas e incluso algunos protozoos. Probablemente, las elevadas temperaturas en que se realizaron los experimentos (26-30°C) produjeron una aceleración del proceso con relación a lo que reportó Marshall para países templados.

En la Tabla 3 se exponen los resultados sobre la actividad bacteriana en la película superficial, obtenidos en condiciones experimentales. Las diferencias observadas entre los dos experimentos (peceras) no fueron estadísticamente significativas, razón por la cual sólo se exponen los resultados de uno de ellos. Tampoco hubo diferencias significativas entre las réplicas de las muestras tomadas cada día sucesivo en cada embalse, por lo que en dicha tabla se expone, en cada caso, el valor promedio. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de la película y los del agua subyacente, excepto en La Coca y Sierra del Rosario; así como entre los valores de cada día sucesivo en los distintos embalses.

Según Piotrowicz et al. (1972), entre los factores que más afectan el desarrollo en masa de las bacterias en la película superficial se encuentran la acumulación de nutrientes en la superficie marginal y el efecto de las superficies sólidas, por lo que, según Bakeenzen y Schwartz (1970), la formación de la película superficial o neuston puede considerarse como un análogo de las formaciones en crecimiento, en la que el incremento de las bacterias casi puede llegar a una superficie cerrada (Fig. 5A), formando asociaciones de elevada actividad, como lo demuestra la Tabla 3, donde se aprecia que la actividad de las bacterias fue entre 2,0 y 7,9 veces mayor en la película superficial que en el agua subyacente que se usó como control. La diferencia máxima en cuanto a la actividad bacteriana en ambos estratos se produjo en días diferentes en cada uno de los embalses investigados.

La menor diferencia entre la tasa de utilización de glucosa por las bacterias de la película superficial y del control, se encontró en el Embalse de Sierra del Rosario, donde ya, al tercer día de iniciado el

experimento, la actividad bacteriana, según el indicador escogido, era igual en la película superficial que en el control, y donde, como ya dijimos, las diferencias no fueron estadísticamente significativas. También en este embalse se halló la menor cantidad de bacterias saprófitas en la película superficial (Tabla 2) y la menor cantidad de materia orgánica, de acuerdo con los valores de la oxidabilidad al permanganato (Tabla 1), con respecto a los otros tres embalses investigados. Por el contrario, en el Embalse Ejército Rebelde se encontró la máxima diferencia entre la actividad bacteriana del neuston y el control, coincidiendo también con un desarrollo abundante de bacterias saprófitas en la película (Tabla 2) y una mayor cantidad de materia orgánica (Tabla 1).

En todos los casos se encontró una tendencia a disminuir la tasa de utilización de glucosa por las bacterias de la película a partir del tercer día de comenzado el experimento, lo que puede deberse a dificultades en la difusión de nutrientes y de oxígeno en la porción interior de la misma. Según Marshall (1978), E. J. La Motte demostró en 1976 que una porción de la biomasa bacteriana se inactiva en la película superficial madura al obtener ésta un grosor crítico. Romanenko *et al.* (1978) hallaron que en la película formada en condiciones experimentales utilizando el agua del Embalse de Ribinski, en la URSS., la máxima actividad bacteriana se produjo al tercer día, y aunque en ese caso se utilizó como sustrato marcado un hidrolizado de proteínas marcado con  $^{14}\text{C}$  (y por tanto los resultados no son estrictamente comparables), es posible observar una semejanza con los obtenidos en Cuba, donde en todos los casos se observó la tasa máxima de utilización de glucosa en la película superficial al tercer día en todos los embalses (Tabla 3). La tasa de utilización bacteriana de glucosa fluctuó entre 1,50 y 16,50  $\mu\text{g C}/1 \text{ ml/hora} \cdot 10^{-2}$ .

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos al medir la actividad fotosintética de las algas en la película superficial. Según el análisis de varianza realizado, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los dos experimentos (peceras), por lo que sólo se consignan en la tabla los resultados correspondientes a uno de ellos. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la intensidad de la fotosíntesis de las algas en la película superficial y en el agua subyacente, en el Embalse Ejército Rebelde, en que la primera fue 7,5 veces mayor que la segunda, y en el de Sierra del Rosario, que fue

245 veces más elevada, lo que indica una mayor abundancia de algas en el neuston con relación a los otros embalses, situación que se comprobó en las observaciones microscópicas. En la película superficial de este embalse aparecieron distintos tipos de algas, fundamentalmente diatomeas pequeñas, y sobre todo la especie Paraphysomonas vestita (Fig. 5B), en grandes cantidades. Butorin (1978) indicó que esta alga es típica de aguas eutróficas, lo cual demuestra una vez más que el neuston constituye un ecotipo eutrófico, que en este caso se encuentra en un embalse oligotrófico.

Los valores obtenidos para la fotosíntesis de la película superficial bacteriana, en los cuatro embalses, fluctuaron entre 0 en la película superficial del Embalse de Río Mosquito, y  $4,35 \text{ mcg } O_2 / 1 \text{ ml/hora} \cdot 10^{-2}$  en el Embalse Ejército Rebelde.

En la literatura a nuestra disposición no encontramos datos sobre la intensidad de la fotosíntesis en la película superficial bacteriana con los que puedan compararse estos resultados. Los valores obtenidos demuestran que en el Embalse de Sierra del Rosario el neuston constituye un nicho ecológico particularmente activo con relación a la actividad fotosintética y está poblado por una biocenosis bacteriana muy abundante pero de menor actividad.

La película superficial natural se observó en el Embalse de Sierra del Rosario desde las etapas iniciales de su formación, y la misma se hace más notoria en la zona profunda más estable y en la entrada del Río San Juan, donde llega a formar una espuma constituida por gran cantidad de compuestos orgánicos solubles en éter (Fig. 6). Su oxidabilidad al permanganato fue de  $20,5 \text{ mg } O_2 / 1$ , lo que indica un elevado contenido de materia orgánica.

La característica más interesante de la película superficial de este embalse es que está constituida por una red de hifas de hongos donde precipitan gran cantidad de cristales (Fig. 5C), los cuales se han observado también en el protoplasma de algunas de las bacterias presentes en la misma (Romanenko y Pérez-Eiriz, 1980). Según estos autores, la formación de cristales dentro de las bacterias debe producirse en el período de su muerte, cuando la membrana se hace permeable para los cationes y aniones

en condiciones en las que probablemente se produce un cambio de pH en el interior de las células en una dirección que favorece la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  en forma de cristales.

La tasa de utilización de glucosa y fenol por la película superficial natural de este embalse sigue la cinética enzimática de Michaelis-Menten, y los potenciales heterótrofos calculados se muestran en la Tabla 4. En ésta podemos observar que la capacidad potencial de utilización de glucosa en la espuma resultó muy elevada, lo que indica, a la vez que una renovación muy rápida de la glucosa producida como consecuencia del metabolismo de la vegetación y de los procesos de descomposición, una extraordinaria capacidad depuradora para ese substrato. Drachev *et al.* (1963) estudiaron el papel de la espuma en los procesos de autodepuración de dos embalses de la URSS e indicaron que ésta puede considerarse como un biótoto contaminado en un acuatorio que no lo está, donde existen tasas elevadas de descomposición aerobia y contenidos de hierro, fósforo, y nitrógeno hasta 100 veces mayor que en el agua y con una gran abundancia de infusorios, flagelados, y algas unicelulares.

El valor obtenido para el potencial heterótrofo de la película superficial del Embalse de Sierra del Rosario fue seis veces mayor que el del agua subyacente en el mismo lugar. En este embalse, M. A. Pubillones y M. Pérez-Eiriz (inédito)<sup>5</sup> estudiaron la tasa de utilización de glucosa en el agua, a 50 cm de profundidad, en tres estaciones distintas, empleando el mismo método y durante 1 año, y obtuvieron el valor promedio de 0,94 + 0,79; es decir, tres veces menor que el determinado por nosotros en la película superficial en el mes de mayo. El único valor reportado por ellos que resultó comparable al obtenido por nosotros en la película superficial, fue el del mes de enero entre la vegetación. Según los autores, el análisis de ese mes se efectuó en un momento en que el nivel del embalse se había hecho descender debido a deslizamientos de la cortina, y después de 2 días de lluvias intensas, por lo cual es posible que la muestra contuviera partículas resultantes del colapso de la película y esa

<sup>5</sup>"Las características microbiológicas del Embalse de la Sierra del Rosario. En: Influencia de la cuenca de drenaje sobre la producción y la calidad del agua del Embalse de la Sierra del Rosario." Informe Final, Instituto de Zoología, Academia de Ciencias de Cuba, pp. 55-72 (mimeografiado), 1980.

fuera la causa del elevado valor obtenido (2,50  $\mu\text{g C/l/hora}$ ). Wheeler (1975) indicó que tanto en las aguas dulces como en el mar, el viento, las olas, y otros factores, eran los responsables, en alguna extensión, del incremento de las presiones superficiales y del colapso de las películas superficiales bacterianas.

Es difícil evaluar la utilización bacteriana de fenol, pues es la primera vez que se estudia la utilización de ese substrato en los embalses de Cuba, y en la literatura consultada no hemos encontrado ningún dato sobre la tasa bacteriana de utilización de fenol en la película superficial de embalse alguno, ni aun de países templados. Los valores obtenidos (Tabla 4) fueron, como promedio, 0,22  $\mu\text{g C/l/hora}$  para la película y 0,024  $\mu\text{g C/l/hora}$  para el agua subyacente, y son del mismo orden que los reportados por Romanenko y Bakulina (1977) para las aguas de superficie de los ríos Volga y Kama en la URSS (0,03-0,30  $\text{mcg C/l/hora}$ ). Sin embargo, en estos ríos la cantidad de fenol en el agua fue 10 veces mayor. Como se sabe, el fenol puede llegar al embalse a través del escurrimiento superficial o formarse en él como resultado de procesos bacterianos de transformación de una serie de compuestos cíclicos (Kuznetsov, 1970; Stolbunov, 1975). Se sabe, además, que es utilizado por microorganismos tales como Pseudomonas y Microbacterium (Laptiva, 1974; Ooyama y Foster, 1965).

De todo lo expuesto se deduce que en el Embalse de Sierra del Rosario la glucosa es abundante y que su autodepuración, al igual que la del fenol se produce microbiológicamente a niveles normales en la naturaleza, y en el caso de la glucosa en la espuma, a una velocidad muy elevada. Los resultados indican también que en el Embalse de Sierra del Rosario el neuston constituye un nicho ecológico importante, de características eutróficas dentro de un embalse oligotrófico.

#### RECONOCIMIENTO

Agradecemos al Dr. Juan Kouri, Director del Centro Nacional de Investigaciones Científicas, la posibilidad de utilizar el microscopio electrónico de ese Centro para llevar a cabo las investigaciones.

## REFERENCIAS

- BAKEENZEN, H. D., y SCHWARTZ, W. (1970): Studies on the microbiology of the neuston. Limnologica, 7(2):247-272.
- BAYLEY, E. R., y SUTCLIFFE, W. H. (1963): Dissolved organic matter in sea water as a source of particulate food. Limnol. Oceanogr., 8:369-371.
- BELIAEV, S. S. (1967): La película superficial del agua (en ruso). Microbiologia, 36(1):157-162.
- BLANCHAD, D. G., y SYZDEK, L. D. (1972): Concentration of bacteria in jet drops from burating bubbles. J. Geophys. Res., 77:5087-5099.
- BUTORIN, N. V. (Ed.) (1978): El Embalse de Ivanovski y su vida (en ruso). Trab. Inst. Biol. Aguas Interiores URSS., 34(37):1-104.
- CROW, S. A., AHERON, D. G., y COOK, W. L. (1975): Densities of bacteria and fungi in coastal surface films as determined by the membrane adsorption procedure. Limnol. Oceanogr., 20(4):644-646.
- DRACHEV, S. M., BYLINKINA, V. A., y SASUNOVA, I. N. (1963): The importance of adsorption and surface phenomena in the selfclearing of lakes and ponds. Tr. Vses Gidrobiol. Okshchest., 14:66-73.
- DRACHEV, S. M., KORSH, L. E., y MITINGA, O. V. (1957): La importancia microbiológica de la película superficial bacteriana (en ruso). Rev. Higiene, Epidemiol., Microbiol., Inmunol., 1:372-380.
- GARRET, W. D. (1967): The organic chemical composition on the ocean surface. Deep Sea Res., 14:221-227.
- JARVIS, N. Z. (1967): Adsorption of surface active material at sea water interface. Limnol. Oceanogr., 12:213-221.
- KUZNETSOV, S. I. (1970): La microflora de los lagos y su actividad geoquímica. Imp. Nauka, L., 439 pp.
- LAPTIVA, N. A. (1974): Especies de bacterias que actúan sobre el fenol (en ruso). En Flora, fauna y microorganismos del Volga, Trabajos del Instituto de Biología de Aguas Interiores de la URSS, pp. 810-817.
- MARSHALL, K. G. (1978): The effects of surface on microbial activity. En Water pollution microbiology (R. Mitchell, ed.), John Wiley and Sons, Nueva York, vol. 2, pp. 51-70.
- OOYAMA, I., y FOSTER, I. W. (1965): Bacterial oxidation of cyclic paraffinic hydrocarbons. Antonie van Leeuwenhoek J. Microbiol. Serol., 31(1): 45-65.
- PÉREZ-EIRIZ, M., y ORTEGA, J. (1978): Las condiciones limnológicas en el Embalse Ejército Rebelde. II. La producción primaria de la materia orgánica por la fotosíntesis del fitoplancton y su descomposición en el agua. Cien. Biol., 2:109-127.

- PÉREZ-EIRIZ, M., y PUBILLONES, M. A. (1976): Balance de la producción y destrucción de la materia orgánica en el Embalse de Sierra del Rosario, Provincia de Pinar del Río. Acad. Cien. Cuba, Ser. Forest., 31:1-15.
- PÉREZ-EIRIZ, M., ROMANENKO, V. I., KUDRIATSEV, V. M., PUBILLONES, M. A. (1980): Particularidades del proceso de producción primaria por la fotosíntesis del fitoplancton en los embalses de Cuba. Inf. Cien.-Téc., 176:1-40.
- PIOTROWICZ, S. R., RAY, B. J., HOFFMAN, G. L., y DUCE, R. A. (1972): Trace metals enrichment in the surface microlayer. J. Geophys. Res., 77: 5243-5254.
- ROMANENKO, V. I., y BAKULINA, A. G. (1977): Abundancia y tasa de utilización del fenol por los microorganismos del Volga y del Kama (en ruso). Bol. Inf. Inst. Biol. Aguas Interiores URSS, 36:30-33.
- ROMANENKO, V. I., y PÉREZ-EIRIZ, M. (1980): La detección de cristales de carbonato de calcio en las células de las bacterias (en ruso). Bol. Inf. Inst. Biol. Aguas Interiores URSS, 49:9-10.
- ROMANENKO, V. I., PÉREZ-EIRIZ, M., y PUBILLONES, M. A. (en prensa): Las características limnológicas del Embalse La Coca en Cuba (en ruso). Bol. Inf. Inst. Biol. Aguas Interiores URSS.
- ROMANENKO, V. I., PUBILLONES, M. A., y DAUKSHTA, A. (1978): El desarrollo de las bacterias y su actividad en la película superficial del agua en condiciones experimentales (en ruso). Microbiología, 47(1):149-157.
- STEEMAN-NIELSEN, E. (1952): The use of radioactive  $^{14}\text{C}$  for measurement of organic production in the sea. Council Expl. Mer., 18(2):117-140.
- STOLBUNOV, A. K. (1975): Modelo funcional de los procesos de autodepuración de los embalses para el fenol (en ruso). En Autodepuración, productividad e higiene de los embalses de Ucrania, Kiev, Imp. Dumka, 83 pp.
- WHEELER, J. R. (1975): Formation and collapse of surface films. Limnol. Oceanogr., 20:338-342.
- WRIGHT, R. I., y HOBBIE, J. E. (1965): The uptake of organic solutes in lake water. Limnol. Oceanogr., 10:22-28.

ABSTRACT. The presence of saprobiotic organisms (bacteria and fungi) on a bacterial superficial film is analyzed in laboratory conditions, as well as the morphology of these bacteria and their activity at the Sierra del Rosario dam and three other Cuban reservoirs. The amount of saprobiotic bacteria in the superficial film was twice that of the subjacent layer, considered as a control. These values agree with the trophic conditions of the reservoir. Most frequently found bacteria were the pedunculated forms, such as Caulobacteriales, bacilles and others containing crystal-like structures. The superficial film from the Sierra del Rosario reservoir was the most photosynthetically active, but it had smaller glucose utilization rate as compared with those from the three other reservoirs.

TABLA 1. Características de las aguas de los embalses utilizadas en los experimentos.

Indicadores	Embalses			
	Ejército Rebelde (Habana)	La Coca (Habana)	Río Mosquito (Habana)	Sierra del Rosario (P. del Río)
Características hidrológicas				
Área cuenca (km <sup>2</sup> )	285,0	23,2	20,0	5,0
Volumen (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	97,4	11,8	3,8	0,19
NAN	70,5	54,0	37,7	56,0
Profundidad máxima (durante muestreo)	6,0	7,5	12,0	6,0
Características químicas y transparencia al disco de Secchi				
pH	7,5	8,1	8,1	7,7
C-CO <sub>3</sub> mg/l	35,4	43,3	44,6	37,2
Oxidabilidad al MnO <sub>4</sub>	7,9	6,2	7,0	5,5
Transparencia (m)	0,2	1,6	2,0	1,2

TABLA 2. Cantidad de bacterias y hongos saprófitos determinados en el medio agar-carne-peptona en la película superficial y en el agua subyacente de los embalses investigados.

Embalses	Para 1 ml de la película superficial del agua. $10^3$				Para 1 cm <sup>2</sup> de la película superficial del agua. $10^3$			
	Experimento		Control		Experimento		Control	
	Bacterias	Hongos	Bacterias	Hongos	Bacterias	Hongos	Bacterias	Hongos
Ejército Rebelde	610	0	325	0	38	0	27	0
La Coca	56	10	2	3	7	1	0	0
Río Mosquito	310	24	170	14	38	3	15	
Sierra del Rosario	18	4	10	3	2	1	1	0

**TABLA 3. Actividad de las bacterias e intensidad de la fotosíntesis de las algas, en la película superficial y en el agua por debajo de la misma utilizada como control, expresadas como  $\mu\text{g C}/1 \text{ ml/hora} \cdot 10^{-2}$  (A), y como la relación entre el valor de la película y el del control (B).**

Embalse	Estrato	D í a s				D í a s			
		1ro	2do	3ro	4to	1ro	2do	3ro	4to
		(A)				(B)			
Actividad de las bacterias (glucosa marcada con $^{14}\text{C}$ en la oscuridad)									
Ejército Rebelde	Película	10,90	15,40	<u>106,00</u>	61,20	<u>7,9</u>	1,7	2,6	2,9
	Control	1,38	9,05	21,45	20,36				
La Coca	Película	3,75	6,00	<u>116,50</u>	114,50	1,0	<u>4,0</u>	1,0	1,0
	Control	3,75	1,50	115,00	110,20				
Río Mosquito	Película	1,50	20,30	<u>51,00</u>	38,62	3,9	2,8		4,3
	Control	0,38	7,15	10,90	8,50				
Sierra del Rosario	Película	2,60	9,05	<u>104,00</u>	58,80	0,9	<u>2,0</u>	1,0	1,0
	Control	3,00	4,50	104,00	58,60				
Fotosíntesis de las algas (micropreparados)									
Ejército Rebelde	Película	<u>4,35</u>	3,10	1,35	1,30	4,3	2,3	7,5	7,2
	Control	1,01	1,35	0,18	0,18				
La Coca	Película	0,78		1,75	2,95	1,6		2,1	2,8
	Control	0,50		0,85	1,05				
Río Mosquito	Película	0	0,35	0,70	0,70	0	0,3	0,9	0,8
	Control	0	1,05	0,77	0,85				
Sierra del Rosario	Película	1,90	1,90		2,05	2,2	3,8	<u>245</u>	205
	Control	0,85	0,50	0,01	0,01				

TABLA 4. Tasas de utilización de glucosa y fenol por las biocenosis bacterianas de la película superficial natural de la espuma y del agua subyacente, en el Embalse de Sierra del Rosario, expresadas como potencial heterótrofo (V max.) en  $\mu\text{g C/l/hora}$ , y cantidad de glucosa y fenol indicado como  $\mu\text{g C/l}$ .

Biótopo	G l u c o s a		F e n o l	
	Potencial heterótrofo	Cantidad de substrato	Potencial heterótrofo	Cantidad de substrato
Película superficial	$3,05 \pm 0,28$	36,0	$0,22 \pm 0,03$	12,5
Agua subyacente	$0,45 \pm 0,12$	26,0	$0,024 \pm 0,01$	
Espeuma	$15,30 \pm 2,25$	16,1		
Agua subyacente bajo la espuma	$0,52 \pm 0,15$	23,3		

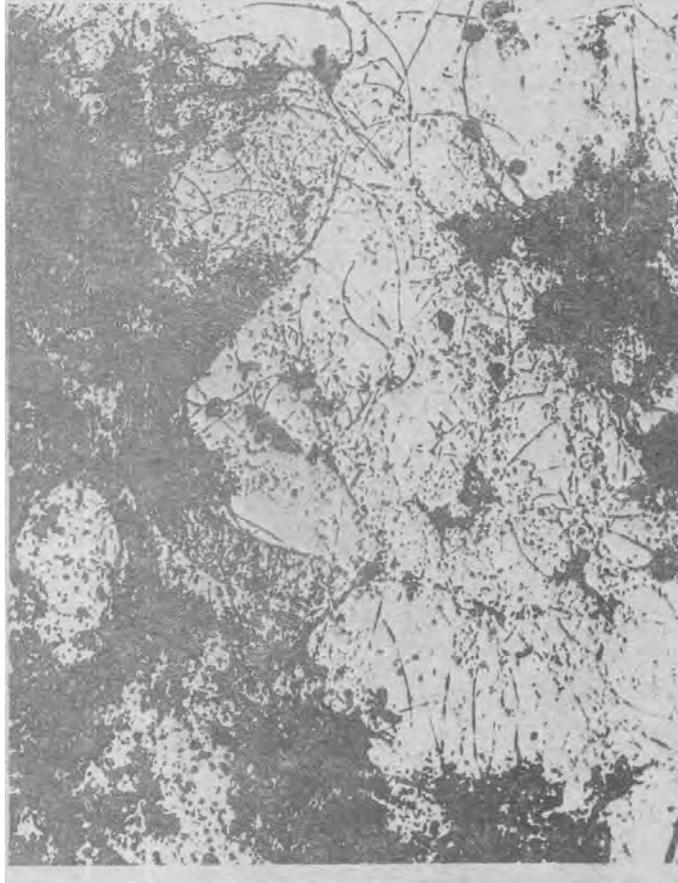


FIG. 1. Película superficial bacteriana desarrollada por el agua del Embalse de Sierra del Rosario, en condiciones experimentales. Se observan abundantes hifas de hongos (microscopio óptico, 250 X).

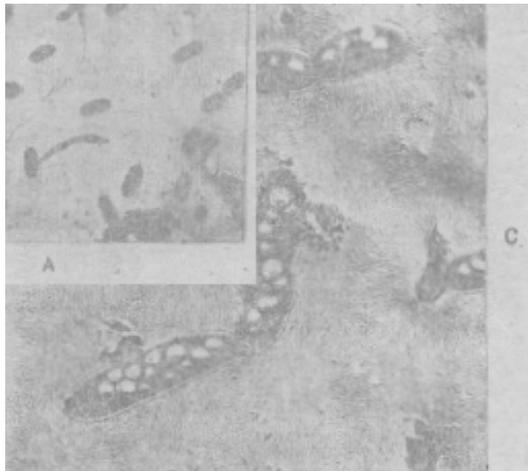


FIG. 2. Película superficial bacteriana del Embalse de Sierra del Rosario, observada en condiciones experimentales (microscopio electrónico). A, bacilos (6 000 X); B, bacterias pedunculadas (6 000 X); C, bacterias con estructuras permeables y no permeables al paso de los electrones (10 000 X).

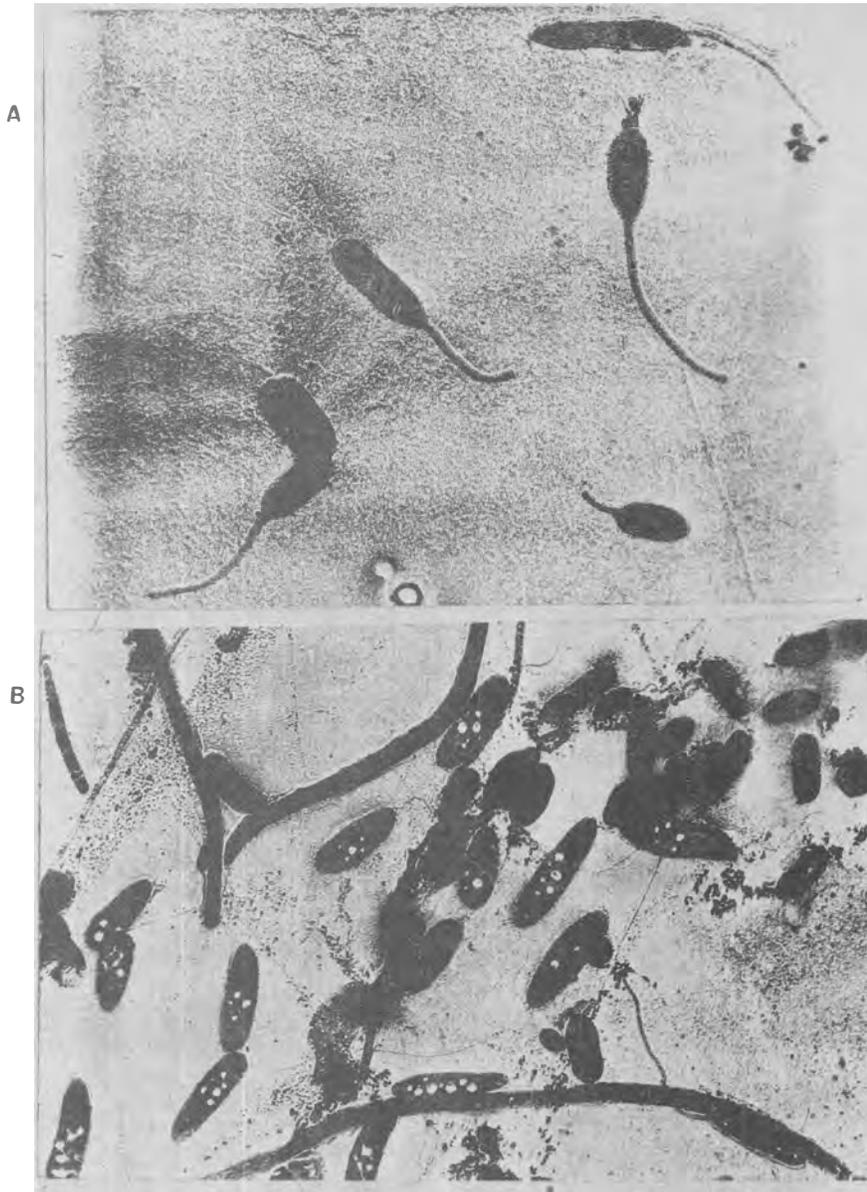


FIG. 3. Película superficial bacteriana del Embalse Río Mosquito (microscopio electrónico, 8 000 X).  
A, Caulobacteriales de pedúnculo largo; B, bacilos con gran cantidad de vacuolas

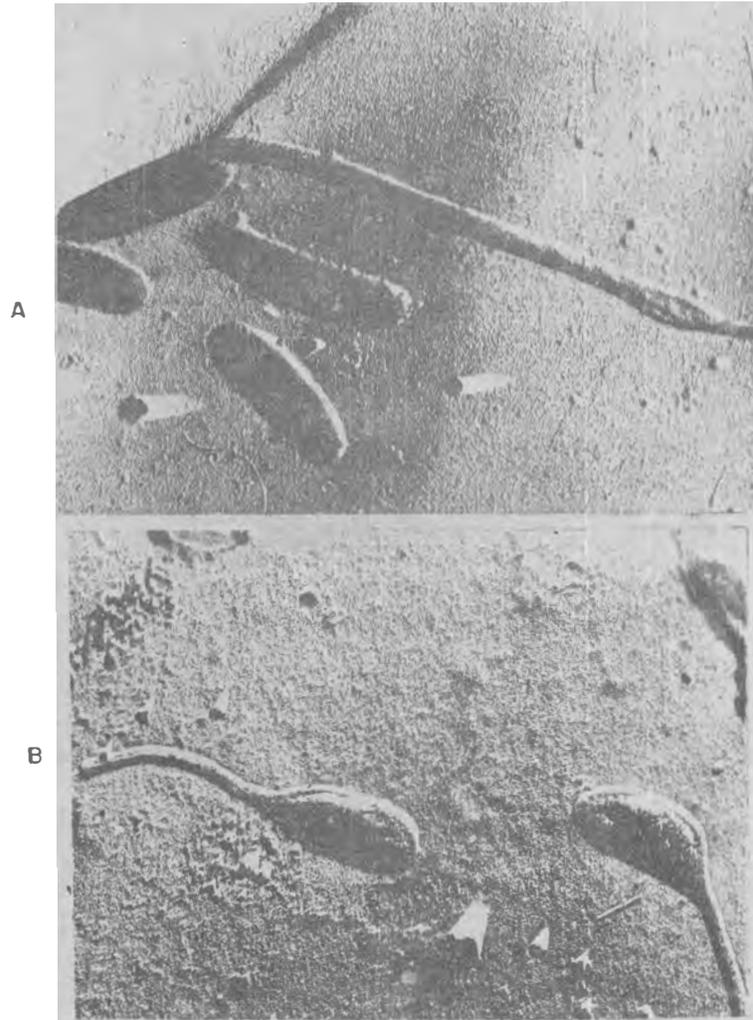


FIG. 4. Película superficial bacteriana en embalses (microscopio electrónico, 15 000 X). A, bacilos en el Embalse La Coca; B, Caulobacteriales en el Embalse Ejército Rebelde.

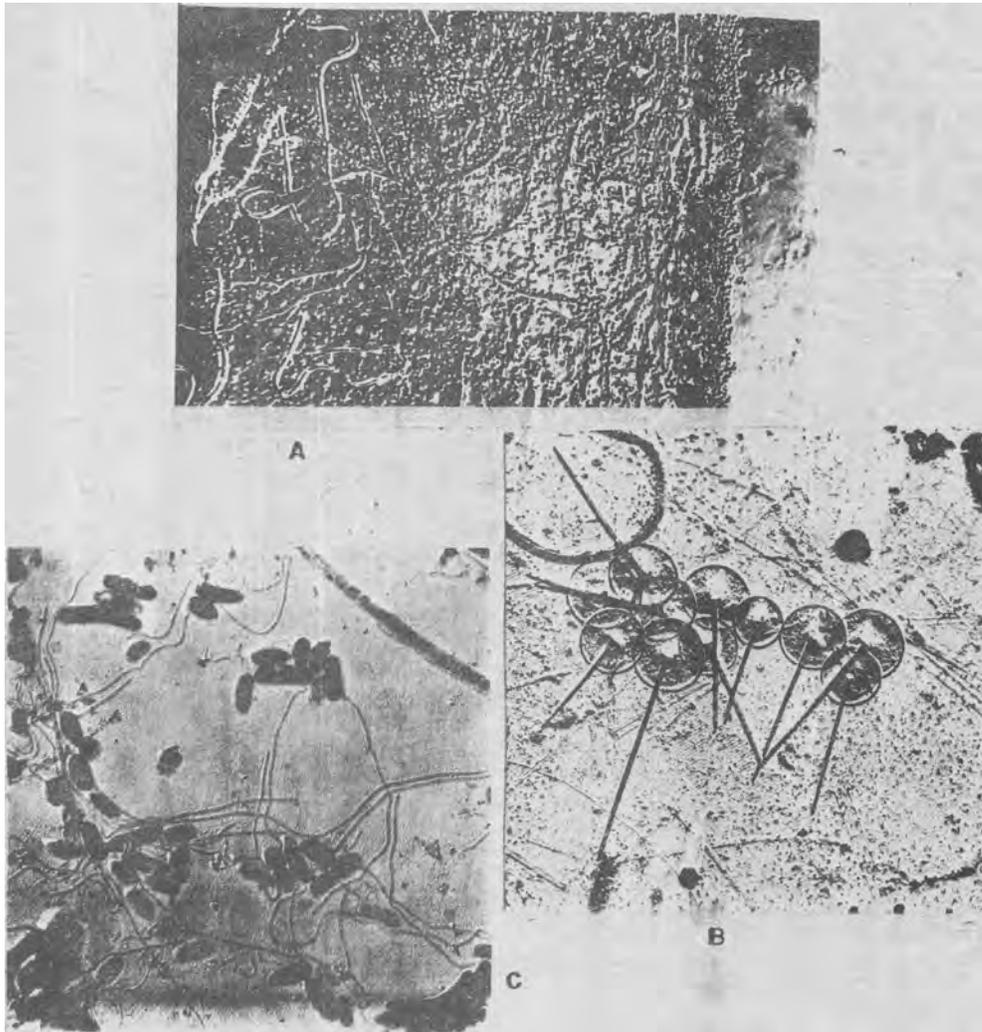


FIG. 5. Película superficial del Embalse de Sierra del Rosario. A, profusión de bacterias (microscopio óptico, 100 X); B, alga *Paraphysomonas vestita* (microscopio electrónico, 6 000 X); C, hifas de hongos que forman una red en la que precipitan muchos cristales (microscopio óptico, 900 X).

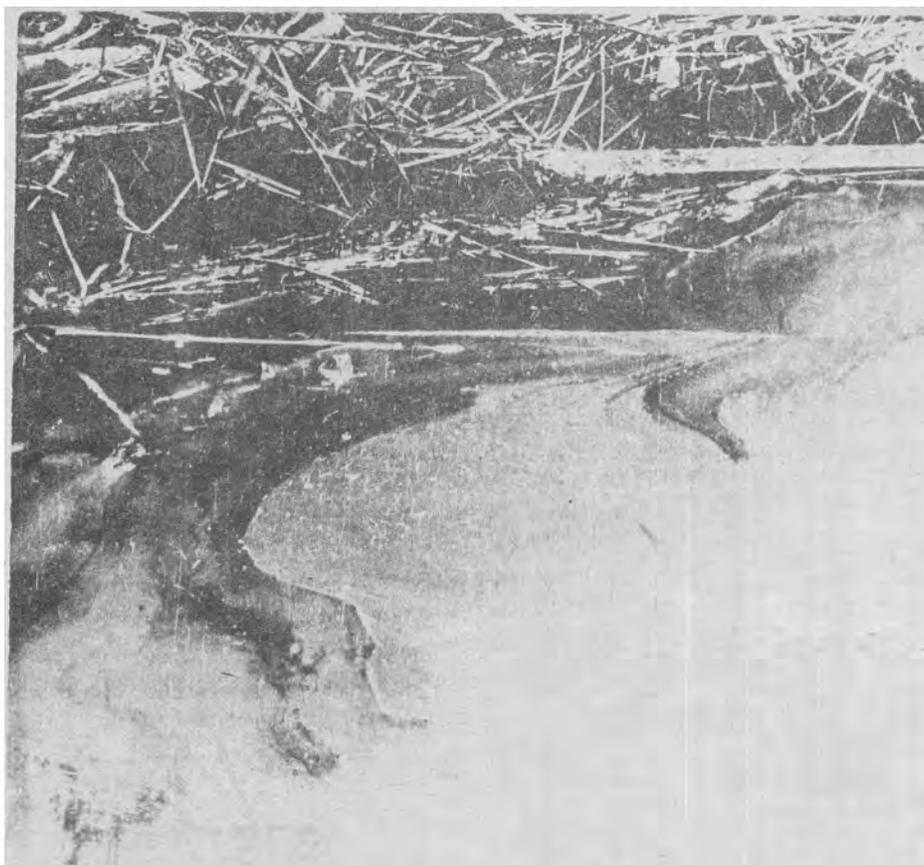


FIG. 6. Espuma formada en el Embalse de Sierra del Rosario.