

ESTUDIOS LIMNOLOGICOS EN UNA SECCION TRANSVERSAL DEL TRAMO MEDIO DEL RIO PARANA

XIII: Bacteriología *

Federico Emiliani

Instituto Nacional de Limnología
J. Maciá 1933 - 3016 Santo Tomé
Santa Fe - Argentina

RESUMEN

Emiliani, F. 1985. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, XIII: Bacteriología. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. del Litoral*, 16 (2): 217-225

El número de bacterias mesotróficas viables fluctuó entre 10600 y 52500 cfu/ml. Las variables ambientales medidas (nivel hidrométrico, sólidos en suspensión, temperatura, conductividad, pH, oxígeno, fosfatos) explicaron el 69% de sus fluctuaciones; la concentración de sólidos en suspensión fue el principal factor ($r = 0,773$; $p < 0,001$).

El porcentaje de bacterias pigmentadas osciló según el grupo considerado (*oligo*: 0 - 8%, *meso*: 5 - 19%, *hiper*: 3 - 30% y *eutrófico*: 13 - 65%). y los subgrupos (epipsámicas < libres, mesófilas < psicrotóxicas). El pigmento más frecuente fue el amarillo o el rojo (oligotrofas) y los menos, el anaranjado, pardo, verde y azul. Los resultados se comparan con los obtenidos en ríos del Amazonas. Las fluctuaciones del porcentaje de cromógenas estuvieron asociadas, en relación inversa, con la temperatura del agua ($r = -0,647$; $p < 0,01$).

ABSTRACT

Emiliani, F. 1985. Limnological studies in a cross section of the middle reach of Paraná River, XIII: Bacteriology. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 16 (2): 217-225

Numbers of mesotrophic bacteria (on "Yeast Peptone Agar/25") fluctuated between 10.6 and 52.5 cfu . 10³ . ml⁻¹ . The measured environmental variables (water level, suspended solids, temperature, conductivity, pH, oxygen and phosphate) explained 69% of this variability. The main factor influencing the epipsammic population was the suspended solids concentration ($r = 0.773$; $p < 0.001$).

The proportion of chromogens fluctuates according to the ecological-trophic groups (*oligo*: 0 - 8%, *meso*: 5 - 19%, *hiper*: 3 - 30%, and *eutrophic*: 13 - 65%). The proportion was highest in the free-living and psychrotrophic bacteria, lower in epipsammic and mesophiles. The colonies on the plates were generally coloured reddish (oligotrophs) or yellowish (all other groups). Brown, green and blue colonies were noted only infrequently. The highest proportion of pigmented bacteria occurred in the winter, and was related to the temperature ($r = -0.647$; $p < 0.01$). We contrast these findings with the chromogens from Amazonian waters.

* Presentado en las II Jornadas de Ciencias Naturales del Litoral, Paraná 8-11 agosto 1984. Las notas anteriores (I a XII) se publicaron en el volumen 15 de esta misma revista.

INTRODUCCION

Hay muy pocos datos bacteriológicos disponibles sobre muchos de los grandes ríos del mundo. Un ejemplo es el río Paraná, uno de los más importantes de Sud América. El interés de su estudio también radica en que se ha proyectado la construcción de represas, las cuales modificarán, en alguna medida, su hidrobiología^{1,3}. Por lo tanto, el conocimiento previo de sus características bacteriológicas será útil para estudiar los cambios que eventualmente se produzcan por tales obras, tal como se comprobó, p. ej., en el río Nilo¹⁶.

Los estudios bacteriológicos realizados en este tramo del río Paraná durante 1918-1980 fueron reciente motivo de una revisión⁹. Existen muchos datos sobre los denominados "indicadores de contaminación" pero no sobre las posibles causas de sus fluctuaciones ni sobre aquellas bacterias de interés ecológico, pero no sanitario. Para lograr estos conocimientos básicos hace algunos años inicié una serie de investigaciones con ese objetivo general^{4-7,10}.

Esta contribución forma parte de dicha serie, y está centrada en un solo grupo de bacterias, las "mesotrofas" y en aquellas generadoras de colonias pigmentadas, pertenecientes a éste y a otros grupos ("oligotrofas", "eutrofas" e "hipertrofas").

Los pigmentos bacterianos constituyen una característica constante para determinadas especies, pero su formación depende de una serie de factores ambientales. Esto último, si bien hace que el uso de los pigmentos como criterio taxonómico sea de dudoso valor¹², en ecología lo hace interesante. Por eso, diversos investigadores incluyeron en estudios de esa naturaleza la evaluación del porcentaje de cromógenas. Gracias a ellos, actualmente se dispone un panorama sobre su distribución en ambientes acuáticos, terrestres y aéreos. Con respecto a los acuáticos, solamente se tiene un relativamente buen conocimiento en aquellos leníticos, de diferente naturaleza trófica, pero no es así en lo que respecta a ríos, según resulta de algunas revisiones^{3,15}.

MATERIALES Y METODOS

Todos los materiales, métodos y terminología utilizada ya fueron recientemente detallados^{4-8,10}; remito al lector a dichas publicaciones, como así también al volumen 15 (p. 1 - 188) de la *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* para el conocimiento de los demás parámetros, bióticos y abióticos del tramo medio del río Paraná a los cuales especialmente se dedicó dicho volumen.

RESULTADOS Y DISCUSION

a) *Evaluación y fluctuaciones.*

Los resultados están resumidos en el cuadro 1 y en la fig. 1, donde también incluyo los correspondientes a otros grupos a los fines comparativos, sintetizando datos ya publicados^{4-7,10} y otros inéditos.

El promedio general de las unidades formadoras de colonias (u f c) mesotrofas fue similar al de las oligotrofas, pero se registraron diferencias estadísticamente significativas en el 75% de las muestras a favor de uno u otro grupo, según la fecha de muestreo (fig. 1). A pesar de que el pro-

Cuadro 1
Evaluación de diferentes grupos tróficos en el tramo medio del río Paraná

Recuentos de bacterias viables	\bar{x}	rango	CV
<i>Oligotróficas</i> (ufc.ml ⁻¹)			
Total**	25760	4400-88000	84.0
Eipsámicas**	16490	400-53500	103.0
Libres**	8290	1300-17400	88.6
Mesófilas (Total, a 35°C)	26660	1930-79400	72.5
Psicrotróficas (Total, a 3°C)	1030	70-6300	135.0
Esporos**	311	29-1080	83.0
Esporos mesófilos (35°C)	271	70-680	63.1
<i>Mesotróficas</i> (ufc.ml ⁻¹)			
Total**	28900	10600-52500	41.0
Eipsámicas**	17121	1400-40700	67.2
Libres**	9860	2400-20000	46.5
Mesófilas (Total, 35°C)	26900	8600-50000	45.2
Psicrotróficas (Total, 3°C)	940	300-2800	77.2
Esporos**	428	110-1190	77.6
Esporos mesófilos (35°C)	326	90-510	89.0
<i>Hipertroficas</i> (ufc.ml ⁻¹)			
Total** ≤ 48 hs	2662	350-10360	82.0
Total** > 48 hs	6205	820-18500	76.0
Eipsámicas**	3248	300-11400	104.0
Libres**	2004	394-9800	114.0
Mesófilas ≤ 48 hs (35°C)	2285	140-8533	100.0
Mesófilas > 48 hs (35°C)	3619	200-11400	98.6
Psicrotróficas (3°C)	397	100-900	68.0
Esporos**	206	30-330	81.5
Esporos mesófilos (35°C)	190	80-370	53.7
Coliformes totales (35°C)	310	70-1700	100.1
Coliformes fecales (45°C)	80	17-490	95.5

* ufc = unidades formadoras de colonias

** Incubaciones a temperatura variable, según la del río (14 - 28°C).

medio general de las hipertrofas fue el más bajo de los tres grupos, algunas muestras (fig. 1) tuvieron una concentración similar.

En la misma figura se pueden constatar marcadas diferencias entre los recuentos de las u f c mesotrofas en función del tiempo. Estas fluctuaciones estuvieron asociadas a las variaciones de algunos parámetros ambientales (Cuadro 2) que explican la mayor parte de ellas. Las correlaciones parciales, sin embargo, demostraron que el seston fue el principal factor que reguló la presencia de ese grupo en el río Paraná ($r = 0,773$; $p < 0,001$).

Además de aquéllas mencionadas en el Cuadro 2, no resultaron significativas las correlaciones de las bacterias *versus* el número de algas ni *vs.* los rotíferos (aunque sí la correlación entre éstos dos últimos: $r = 0,647$;

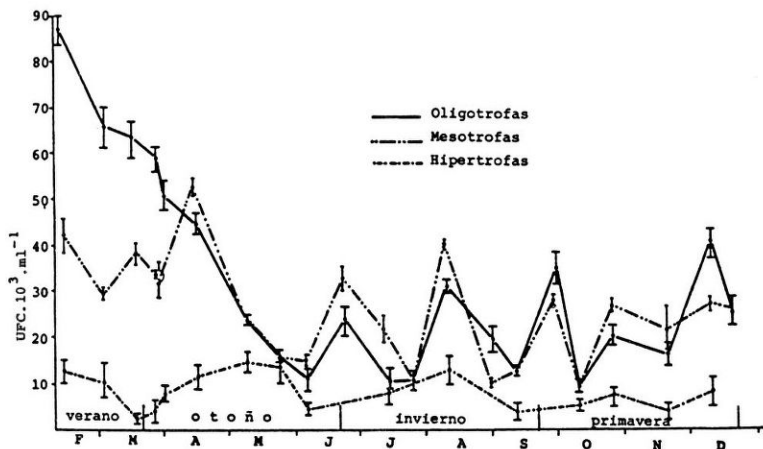


Fig. 1 – Fluctuación anual de las unidades formadoras de colonias (UFC) en el tramo medio del río Paraná. Las barras verticales indican los límites de confianza de cada recuento.

Cuadro 2

Niveles de significación de los coeficientes de correlación entre las bacterias mesotróficas y algunos parámetros ambientales

	Seston	Nivel hidrom.	Disco Secchi	Conductividad	Temperatura	Oxígeno	DQO	DBO	Nitratos	Fosfatos	R ² (s)
TALES	3	-2	-2	0	-2	0	0	0	0	0	55
EPIPSAMICAS	3	0	-3	2	0	0	0	0	0	0	69
LIBRES	-3	0	3	1	0	0	0	0	0	0	69
MESOFILAS (35°C)	-2	0	0	-1	2	0	0	0	0	0	67
PSICROTROFICAS (3°C)	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	44

0 = no significativo ($p > 0,05$). Las correlaciones significativas se indican por: 1 = $p < 0,05$; 2 = $p < 0,01$; 3 = $p < 0,001$. R² = coeficiente de determinación múltiple. DQO = Demanda química de oxígeno; DBO = Demanda bioquímica de oxígeno.

$p \leq 0,01$). No es raro encontrar en la literatura específica una buena relación entre el número de bacterias y el de algas (principalmente en cuerpos de aguas lenfáticas) debido a que las primeras pueden aprovechar los productos elaborados por las segundas y viceversa. En el río Paraná, en el caso de hallar una correlación significativa, ésta debería ser negativa debido a que, en este cuerpo de agua, lo que tienen de común es en realidad un factor principal que actúa sobre ambas poblaciones pero en forma opuesta. Los sólidos en suspensión llevan el mayor número de bacterias, pero afectan la transparencia, imprescindible para la producción algal.

Las mesotrofas presentaron un menor número de correlaciones (estadísticamente significativas) con parámetros ambientales que las oligotrofas (ver Cuadro 4 de Emiliani¹⁰). Además, en el caso de resultar significativas, los índices lo fueron a un nivel de probabilidad inferior. De ésto resulta que de poder elegir, un recuento de oligotrofas puede ser más interesante desde el punto de vista ecológico por su aparente mayor sensibilidad a los factores ambientales estudiados.

Como se sabe⁴, las aguas del río Paraná a veces aparecen con una intensa coloración rojiza, fenómeno denominado "onda roja", producto del lavado de los suelos lateríticos de la alta cuenca, con arcillas predominantemente caoliníticas. Su incidencia sobre las características físicas de las aguas en el Paraná medio fue explicado por Drago², sobre aquéllas bacteriológicas la puede estimar en dos oportunidades (Cuadro 3): duplica o

Cuadro 3
Efecto de la aparición de la "onda roja" sobre las unidades formadoras de colonias (ufc) y otros parámetros ambientales, en comparación con muestreos anteriores y posteriores a su paso

	ANTES 24 jul.	DURANTE 9 agosto	DESPUES 30 agosto	Aumentos (X)
Oligotrofas (ufc. $10^3 \cdot l^{-1}$)	11,2	33,0	20,2	295
Mesotrofas (ufc. $10^3 \cdot l^{-1}$)	10,4	40,4	10,6	388
Sólidos susp. (mg. l^{-1})	65,6	139,9	59,5	213
Nitratos ($\mu g. l^{-1}$)	0,7	3,5	1,9	500
	11 set.	27 set.	11 octubre	
Oligotrofas (ufc. $10^3 \cdot l^{-1}$)	13,0	36,0	9,6	278
Mesotrofas (ufc. $10^3 \cdot l^{-1}$)	13,8	28,6	5,0	207
Sólidos susp. (mg. l^{-1})	47,7	88,0	67,0	184
Nitratos ($\mu g. l^{-1}$)	1,1	2,4	1,3	218

cuadruplica el número original de u f c. En ambas la presencia de la "onda roja" estuvo asociada al "lavado" de las lagunas, hecho notable por la vegetación de deriva y por los restos vegetales con diverso grado de desintegración que pasaban durante el muestreo. Además de los parámetros reseñados en el mismo cuadro, en la primera oportunidad también realicé un recuento de coliformes totales. Durante el paso de la "onda roja" había 1700/100 ml (mínimo : 430 y máximo : 4900) mientras que "antes" y "después" la concentración osciló entre 70 (m : 23, M : 170) y 240/100 ml (m : 68, M : 750). Estos resultados se pueden relacionar más bien con la presencia de vegetales, pues como pude comprobar⁴, son muy abundantes en las rizósferas de las plantas acuáticas flotantes.

b) *Pigmentación de la colonias.*

El porcentaje promedio de las u f c pigmentadas fue mayor en los grupos desarrollados en los medios más ricos en nutrientes (eutróficos e hipertróficos, Cuadro 4) donde es más probable que las bacterias capaces de formar pigmentos hayan podido desarrollarse y encontrar las sustancias imprescindibles para su elaboración.

Manteniendo el factor nutritivo constante, o sea dentro de cada uno de los grandes grupos del Cuadro 4, resultó siempre mayor el porcentaje de cromógenas en las *libres* que en las *epipsámicas*. Esto concuerda con el supuesto origen edáfico de éstas últimas¹⁰, ambiente en el cual las cromógenas son raras¹⁸ y que la mayor parte de las cromógenas constituyen la "microflora típica" del agua⁸.

De las correlaciones ensayadas entre el porcentaje de cromógenas y los diversos parámetros abióticos listados en el Cuadro 2, la única que resultó estadísticamente significativa fue con la temperatura del agua del río en el momento del muestreo. El análisis de la correlación indica que al disminuir la temperatura aumentan las cromógenas ($r = -0,646$; $p < 0,01$). Esto es fácil confirmarlo experimentalmente; p. ej., en el Cuadro 4, en cada grupo, es mayor el porcentaje de cromógenas resultante de incubar a 30°C que a la temperatura aproximada de 20°C ("Totales") y, más aún, que a 35°C.

En el río Paraná, su habitual escasa transparencia (Secchi : 6 – 48 cm, $\bar{x} = 25$ cm) inhibe el efecto selectivo de la radiación solar a favor de las cromógenas, dando por resultado un frecuente y relativamente bajo porcentaje de éstas (Cuadro 4) en comparación con lagos y mares mucho más transparentes (p. ej., lago del Parque Sur³ $\bar{x} = 57\%$ de cromógenas oligotróficas; lago Mälaren¹¹ $\bar{x} = 33\%$ de cromógenas mesotróficas; lago Flathead¹⁴ con un 69% de eutróficas, etc., y en aguas marinas, según Zo Bell¹⁹, el 69%). Al estar el crecimiento de la población cromógena liberado de la influencia de la luz, las fluctuaciones de sus concentraciones relativas pudieron estar principalmente asociadas a las de la temperatura, dado que las correlaciones ensayadas con la transparencia y nutrientes no resultaron significativas y sí en cambio, con aquélla, tal como se indicó en el tercer párrafo.

Cuadro 4
Porcentajes promedio de unidades formadoras de colonias pigmentadas
según los diferentes grupos tróficos en el río Paraná medio

<u>Oligotróficas</u>	\bar{X}	RANGO	C V	1	2	3	4
Totales	2,8	0 - 8	78	10	23	52	8
epipsámicas	1,6	0 - 7,5	142	10	11	23	9
libres	4,4	0 -27	159	2	31	44	5
Mesófilas (35°C)	2,6	0 -10	103	0	20	43	5
Psicrotróficas (3°C)	6,6	0 -40	165	0	16	42,5	5
Esporos	3,1	0 -14	78	4	7,5	27	11
Esporos (35°C)	0,9	0 - 3	165	0	0	33	0
 <u>Mesotróficas</u>							
Totales	10,5	5 -19	37	2	65	33	1,5
epipsámicas	3,2	0 - 9	103	0	13	6	1,5
libres	12	2 -21	43	1	59	37	4
Mesófilas (35 °C)	7,8	3 -16	47	7	61	32	0
Psicrotróficas(3°C)	28,5	18 -50	43,5	17	60	5	5
Esporos	4,5	0 -12	99	18	20	28,5	0
Esporos (35°C)	1,5	0 - 4	123	0	0	40	0
 <u>Eutróficas</u>							
Totales	30,3	13 -65	69	7	76	17,5	0,1
 <u>Hipertróficas</u>							
Totales	17,5	3 -30	62	4	80	11	5
epipsámicas	3,3	0 - 8	100	5	10	0	0,5
libres	17	11 -20	59	5,5	72	6	0
Mesófilas	9,8	0 -18	82	0	63	11	26
Psicrotróficas(3°C)	26,1	3 -62	67	20	66	24	2
Esporos (35°C)	2,3	0 - 6	128	25	25	0	0

\bar{X} : porcentajes promedio; CV: coeficiente de variación; 1 a 4 porcentajes relativos entre los diferentes pigmentos; 1: anaranjado; 2: amarillo; 3: rosado o rojo; 4: otros (pardo, violeta, verde o celeste).

En las u f c meso, hiper y eutróficas, el pigmento más abundante fue el amarillo, abundancia relativa comprobada en muy diferentes ambientes acuáticos y en diversas partes del mundo. Resulta, en cambio, peculiar, que en las oligotrofas lo fue el rojo. Este pigmento también fue predominante en las colonias provenientes del río Solimões (río del Amazonas) pero desarrolladas en medios de cultivo hipetróficos. El pigmento azul-violáceo siempre predominante en otros cuerpos del agua del Amazonas, como p. ej., el río Negro^{16,18}, en el Paraná solamente estuvo presente en el 34^o/o de las muestras (al igual que el verde y el pardo —extracelular—) en un porcentaje, cuando presente, variable entre el 0,6 – 50^o/o con respecto al total de cromógenas, y fue observable en cualquiera de los cuatro medios de cultivo. En cambio, el pardo fue hallado más frecuentemente en el medio hipetrofas y el verde en aquél para oligotrofas.

Debido a que los recuentos y la estimación del porcentaje de cromógenas los hice a diferentes intervalos de tiempo hasta comprobar que la curva de crecimiento alcanzaba la meseta⁹, pude observar que el porcentaje de cromógenas generalmente aumenta (hasta el doble o triple) en función del tiempo de incubación. También varió, en función del mismo parámetro, la relativa abundancia de uno u otro pigmento.

AGRADECIMIENTOS

A Roberto Rodríguez, J.C. Romero y A. Regner por la colaboración prestada durante la extracción de las muestras y en las tareas de laboratorio. Los datos no bacteriológicos fueron gentilmente suministrados por Edmundo Drago, Marta Schiaffino de Marta, Susana José de Paggi, y Miguel Vassallo, todos del INALI.

REFERENCIAS

1. Depetris, P. 1979. Mineralogía de la fracción arcilla en suelos lateríticos de la provincia de Misiones (Argentina). Su posible extracción con los sedimentos suspendidos del río Paraná. *Actas del Sexto Congreso Geológico Argentino*, 2: 275–280.
2. Drago, E.C. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, IV: Influencia de la composición granométrica de los sedimentos suspendidos sobre la transparencia del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 47–55.
3. Emiliani, F. 1978. Aspectos ecológicos de las bacterias acuáticas generadoras de colonias pigmentadas. *Ecología*, 3: 65–72.
4. Emiliani, F. 1980. Aspectos ecológicos de los indicadores bacterianos de contaminación en el río Paraná medio, I: el grupo Coliforme. *An. Sanidad*, 14: 115–138.
5. Emiliani, F. 1981. Relationships of spores to a lotic environment (middle Paraná river, Argentina). *Rev. Lat.-amer. Microbiol.*, 23: 12–16.

6. Emiliani, F. 1981. Aspectos ecológicos de los indicadores bacterianos de contaminación en el río Paraná medio, II: Bacterias hipertróficas mesófilas. *Fave*, 2: 51–61.
7. Emiliani, F. 1981. Aspectos ecológicos de los indicadores bacterianos de contaminación en el río Paraná medio, III: bacterias hiperpsicrotróficas y el índice de polución 20/37 °C. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 12: 8–18.
8. Emiliani, F. 1981. La selección del medio de cultivo en ecología acuática bacteriana. *Ecología*, 6: 45–54.
9. Emiliani, F. 1981. Bacteriología del valle aluvial del río Paraná medio (p.: 100–135). En: Estudio ecológico del río Paraná medio (INALI, Ed.), *Instituto Nacional de Limnología* Santo Tomé (Sta. Fe), (135 p.).
10. Emiliani, F. 1984. Oligotrophic bacteria: Seasonal fluctuations and correlations with environmental variables (middle Paraná river, Argentina). *Hydrobiologia*, 111: 31–36.
11. Fondén, R. 1969. Heterotrophic bacteria in Lake Mälaren and Lake Hjälmaren. *Oikos* 20: 344–372.
12. Hendrie M.S.; T.G. Mitchell y J.M. Shewan, 1968. The identification of yellow-pigmented rods (p.: 67–78). En: Identification methods for microbiologists, part B (Gibbs & Shapton, Eds.). *Academic Press*, N. York, (212 p.).
13. Margalef, R. 1983. El proyecto del Parná medio y su incidencia sobre la ecología general. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 14: 29–46.
14. Potter, L.F. 1964. Planktonic bacteria and benthic bacteria of lakes and ponds (p.: 148–166). En: Principles and Applications in Aquatic Microbiology (Heukelekian & Dondero, Eds.). *Wiley*, N. York (452 p.).
15. Rai, H. y G. Hill. 1981. Bacterial biodynamics in lago Tupé, a Central Amazonian black water "Ria Lake". *Arch. Hydrobiol. (Suppl. 58)*, 4: 420–468.
16. Ramadan, F.M. 1976. Early changes in bacterial quality of Nile waters (p.: 53–68). En: Symposium on Nile waters and lake dam projects).
17. Schmidt, G.W. 1970. Numbers of bacteria and algae and their interrelation in some Amazonian waters. *Amazoniana*, 2: 393–400.
18. Snow, L.M. y E.B. Fred. 1926. Some characteristics of the bacteria of lake Mendota. *Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett.*, 12: 143–154.
19. Zo Bell, C.E. 1946. Marine microbiology. *Chronica Botanica*, Massachusetts, 240 p.

Recibido / Received / 2 octubre 1984.