



CONCENTRACIONES DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN UN BALNEARIO FLUVIAL

Federico Emiliani y Stella M. González de Paira

Instituto Nacional de Limnología (CONICET)
J. Maciá 1933, 3016 Santo Tomé (Santa Fe, Argentina)

RESUMEN. El número de coliformes termotolerantes durante dos períodos estivales (1993-94 y 1994-95) resultaron significativamente diferentes (promedio = 1640 NMP/100 ml *vs.* 16500 NMP/100 ml). Las concentraciones más altas se relacionaron con mayores precipitaciones pluviales a escala local y con la intrusión del río Santa Fe en el Salado. La asociación entre los coliformes y el nivel hidrométrico no resultó estadísticamente significativa, pero sí con las lluvias.

ABSTRACT. Thermotolerant coliforms concentrations in a recreational fluvial water.

A significant difference between thermotolerant coliforms bacteria counts during two summers (1993-94 and 1994-95) was found (mean = 1640 MPN/100 ml *vs.* 16500 MPN/100 ml). The higher concentration was related to higher local rains and to the intrusion of the Santa Fe River into the Salado River. The relation between counts of coliforms and rainfall was statistically significant, but not between counts and river water level.

INTRODUCCION

Los balnearios son cuerpos de agua en creciente demanda y tienen una reconocida importancia social y económica (Lant y Mullens, 1991). Una de las necesidades básicas es el derecho a la recreación y, especialmente, los balnearios públicos son una alternativa para la población de menores recursos económicos. Sin embargo, el acceso a sus aguas

periódicamente es impedido o desaconsejado su uso por la incertidumbre con respecto a la seguridad bacteriológica, de acuerdo con los estándares de calidad vigentes.

El balneario "Brigadier E. López" de la ciudad de Santo Tomé, situado en la ribera del río Salado (Fig. 1), es un ejemplo de lo antedicho. Para contribuir a resolver el problema, un primer paso

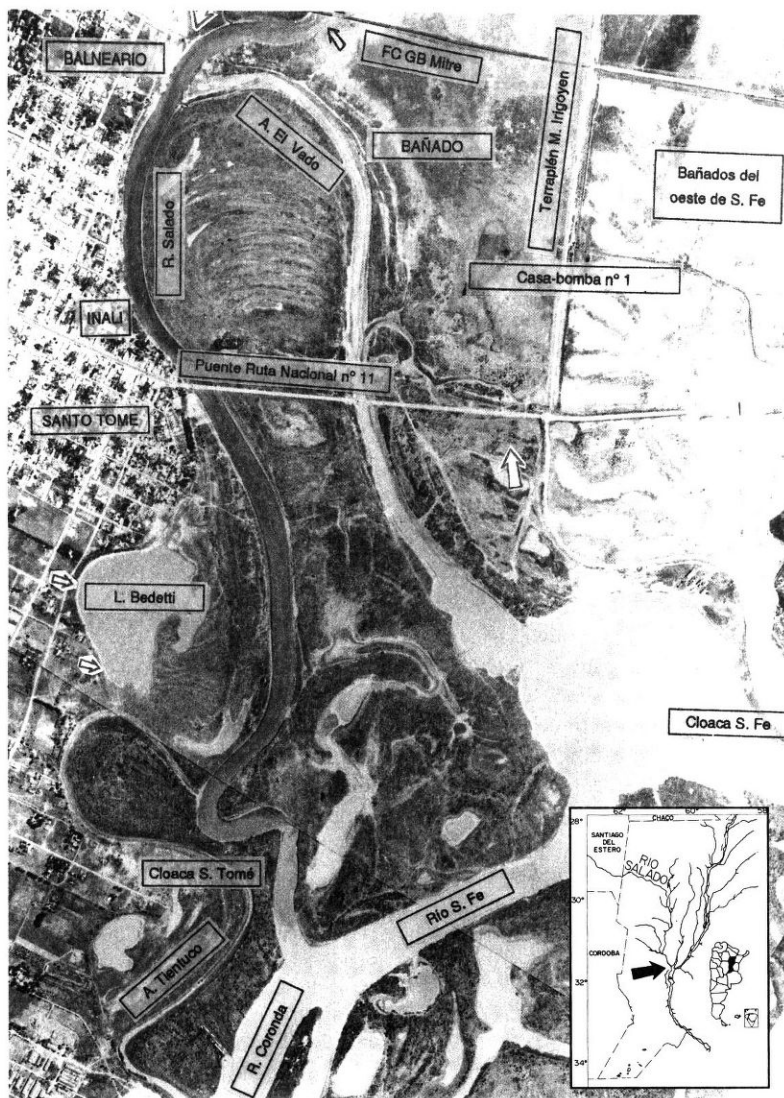


Fig. 1. Tramo inferior del río Salado. Como escala se puede tomar el puente Santo Tomé-Santa Fe (ruta nacional 11), que mide 1,4 km. La flecha blanca cercana al puente indica la vía de entrada del río Santa Fe por el bañado al inicio del período de inundación (3,50 en el puerto de Sta. Fe). Las dos flechas más pequeñas, al lado del FC Mitre, indican por donde desagua el bañado (justamente aguas arriba del balneario). Las flechas restantes indican desagües.

fue realizar muestreos exploratorios para estimar y dar a conocer las principales fuentes de coliformes que pueden afectar su calidad bacteriológica (Emiliani (en prensa); Emiliani y González de Paira, 1995). Un segundo objetivo, el presente, fue conocer las fluctuaciones de las concentraciones de esos indicadores bacterianos en el balneario durante las épocas de su utilización como tal, con la finalidad de estimar las condiciones hidrológicas y climáticas que pueden afectar el transporte y la concentración de coliformes.

MATERIAL Y METODOS

El período de muestreo en el balneario se extendió desde principios de diciembre hasta principios de marzo, durante 1993-94 y durante 1994-95. La frecuencia, fue aproximadamente semanal; en el primer período recolectamos 11 muestras y en el segundo, 15.

Dada la cercanía del lugar de muestreo y nuestro laboratorio (INALI), pudimos realizar los análisis inmediatamente después de la extracción de las muestras, que fueron recolectadas de acuerdo con

Cuadro 1. Estadística descriptiva de algunos parámetros abióticos y de coliformes termotolerantes (C To): promedio (x), mediana (me), mínimo (m), máximo (M) y desviación estándar (DE).

Verano 1993/94

	x	me	m	M	DE
Temperatura (°C)	26	26	24	29	1,6
Transparencia (cm)	10	10	8	12	1,4
Oxígeno disuelto (mg/l)	6,8	6,5	6,2	7,4	0,5
Conductividad (µS/cm)	1990	2200	1350	2400	366
pH	7,7	7,8	7,4	7,8	0,2
C To (NMP/100ml)	1640	630	170	7900	2245

Verano 1994/95

Temperatura (°C)	27	27	24	30	1,9
Transparencia (cm)	19	19	10	33	7,1
Oxígeno disuelto (mg/l)	5,4	4,8	3,2	8,2	1,6
Conductividad (µS/cm)	773	500	195	1750	569
pH	7,5	7,4	7,2	8,2	0,3
C To (NMP/100ml)	16500	13000	790	49000	14290

Cuadro 2. Promedio (error estándar) de las variables abióticas y de los coliformes termotolerantes (C To) en los dos períodos estudiados y nivel de significancia (p) según el test de MannWhitney (U).

	VERANOS				U	p
	1993/94		1994/95			
Temperatura (°C)	26	(± 0,48)	27	(± 0,47)	58	0,1
Transparencia (cm)	10	(± 0,44)	19	(± 1,83)	9,5	0,001
Oxígeno disuelto(mg/l)	6,8	(± 0,15)	5,4	(± 0,47)	25,5	0,05
Conductividad (µS/cm)	1990	(± 138)	773	(± 147)	4	0,001
pH	7,7	(± 0,06)	7,5	(± 0,07)	34,5	0,1
C To (NMP/100ml)	1640	(± 677)	16.500	(± 4.170)	9	0,001

la APHA (1985). Hicimos cinco repeticiones por dilución siendo los medios de cultivo líquidos y demás variables culturales aquellas detalladas en Ormerod *et al.* (1985), que definen operativamente a los "coliformes termotolerantes" (según normas ISO, en Haslay y Leclec, 1995), anteriormente denominados "coliformes fecales".

En campaña registramos la temperatura del agua, pH, conductividad y oxígeno disuelto con un equipo de monitoreo HORIBA, y la transparencia con el disco de Secchi.

Para el análisis de las diferencias de los datos registrados en ambos períodos, usamos la prueba de significación estadística no paramétrica de MannWhitney. Para estimar la posible asociación entre los coliformes, el nivel hidrométrico y las lluvias, la prueba bilateral de Spearman (Barnard *et al.*, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los análisis realizados en campaña están indicados en el Cuadro 1, con el agregado de los datos de colimetría. Las diferencias entre temperatura y pH registradas en ambos períodos no resultaron estadísticamente significativas (Cuadro 2). En cambio, sí lo fueron la transparencia, la conductividad y los coliformes ($p < 0,001$) y el oxígeno ($p < 0,05$).

La diferencia numérica de coliformes no solamente resultó altamente significativa desde el punto de vista estadístico, sino también para el uso del agua como balneario. Si se tienen en cuenta los estándares de la Comunidad Económica Europea (Fresenius y Schneider, 1989), el primer período casi siempre habría sido aceptable su uso, pero nunca durante el segundo (Fig. 2). Sin embargo, la aplicación de este tipo de estándar u

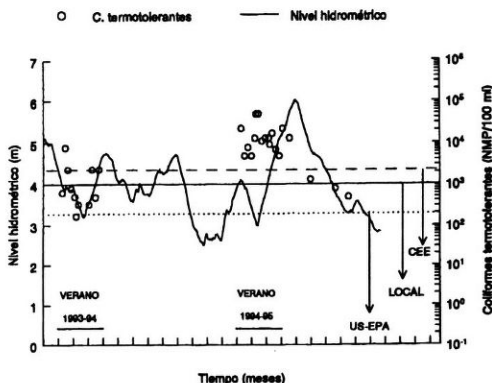


Fig. 2. Fluctuaciones del nivel hidrométrico y de las concentraciones de coliformes en los dos periodos estivales. Las rectas horizontales marcan los estándares locales (Dep. Saneamiento Ambiental, Prov. Santa Fe), de la Comunidad Económica Europea (CEE) (Fresenius y Schneider, 1989) y de la Environmental Protection Agency (USEPA) (en Federal Provincial Working Group, 1989).

otro, requiere, para nuestra zona, mayores estudios (Emiliani, 1996).

La mayor concentración de coliformes registrada en el segundo período pudo deberse a dos factores. Uno de índole climática (lluvias) y, otro, hidrológica.

Durante la rama descendente del nivel hidrométrico el número de coliformes termotolerantes tendió a disminuir (primer período); pero esa tendencia no se evidenció en el segundo período (1994/95) debido a mayores precipitaciones pluviales. En la zona del balneario, las lluvias locales no representan solamente fuentes dispersas de coliformes, como en la mayoría de los trabajos publicados sobre las relaciones entre lluvias y coliformes (p. ej., Ferramola y Monteverde, 1940; Dirar, 1986; Stukel *et al.*, 1990; Hayes *et al.*, 1990; etc.), sino también fuentes puntuales. Y, como tales, pueden incidir sobre la concentración de coliformes en el río durante los

bajos niveles hidrológicos (por su menor capacidad de dilución). Al oeste de la ciudad de Santa Fe -protegida de las inundaciones por el terraplén Irigoyen- están situadas cinco casabomba para evacuar los excesos pluviales de esa ciudad (aguas arriba del balneario estudiado). También aguas arriba, pero sobre la ribera santotomesina, un canal con casabomba cumple esa misma función. (La concentración de coliformes en los desagües mencionados se detalló en un trabajo anterior, Emiliani y González de Paira, 1995). Durante el segundo período estival las precipitaciones pluviales fueron más frecuentes y superaron en más de 160 mm a las producidas durante el primer período. Dada la mayor frecuencia de lluvias, recolectamos un mayor número de muestras (9 vs. 3) durante o poco después de producirse precipitaciones pluviales (Fig. 3). Como se sabe (Emiliani, 1980; Emiliani y Suñé,

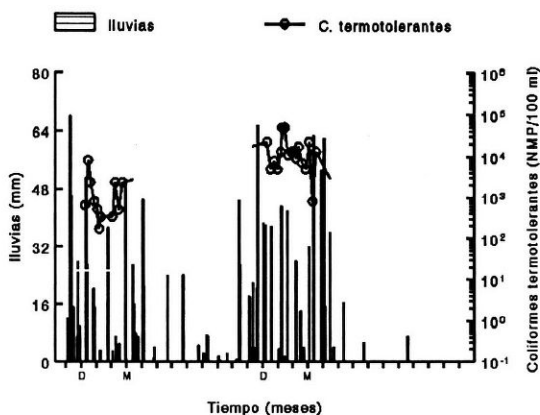


Figura 3. Secuencia temporal de los registros de coliformes y de precipitaciones pluviales. Los puntos negros indican muestras recolectadas durante lluvias.

Cuadro 3. Matriz de correlaciones de Spearman. Coeficientes (y nivel de significancia) Abreviaturas: CTo = Coliformes termotolerantes; N hid = Nivel hidrométrico; Lluv = precipitaciones pluviales.

Verano 93/94 (n=11)

	N hid	Lluv
CTo	0,53 (0,09)	0,73 (0,02)
N hid		0,44 (0,15)

Verano 94/95 (n=15)

	N hid	Lluv
CTo	-0,26 (0,33)	0,60 (0,02)
N hid		-0,23 (0,38)

1990), la cercanía del momento del muestreo a las precipitaciones pluviales, incide en la obtención de recuentos elevados. En ambos períodos registramos (Cuadro 3) una tendencia positiva y significativa ($r_s = 0,604$ y $r_s = 0,731$; $p < 0,02$) entre los recuentos de coliformes y las precipitaciones pluviales (ocurridas desde 0 hasta 7 días antes del muestreo).

Durante el inicio de la rama ascendente de la segunda creciente obtuvimos valores altos, más altos de lo esperable, posiblemente por la intrusión del río Santa Fe en el Salado (que se sumó al efecto de las lluvias mencionado en el párrafo anterior). Durante el segundo período recolectamos un mayor número de muestras (un 47 % vs. 18 %) durante ni-

veles hidrométricos superiores a cuatro metros. Cuando el hidrómetro (en el puerto de Santa Fe) supera los 3,5 m, se inicia la entrada de las aguas del río Santa Fe por el bañado (que luego desagua aguas arriba, donde está situado el puente del Ferrocarril Mitre, Fig. 1). El río Salado se embalsa y es invadido por el río Santa Fe, el cual aporta coliformes de los desagües cloacales de la ciudad homónima (Emiliani, 1980). Esta circunstancia hidrológica agrega, además, por inundación de los suelos del bañado, los coliformes depositados anteriormente en ellos (Fig. 5a y Emiliani, 1996). Por otra parte, durante el período de creciente (Fig. 5b), las casabombas desaguan directamente al río Salado.

En el segundo período, la penetración del río Santa Fe en el Salado fue más evidente (y duradera) por las diferencias registradas en las medidas de conductividad (Cuadro 1). Los dos ríos normalmente difieren mucho en este parámetro (alrededor de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente). También fue evidente por observación de fotografías aéreas, pues el río Salado tiene una tonalidad más oscura que el Santa Fe (figuras 1 y 5b).

La asociación entre los coliformes termotolerantes y el nivel hidrométrico, no resultó significativa (Cuadro 3); tampoco al agregar datos "históricos" de nuestros archivos obtenidos durante otros años y en diferentes estaciones (Fig. 4). Del mismo modo, Elder (1987) obtuvo resultados similares (es decir, relaciones poco o nada significativas entre ambos parámetros) en el río Apalachicola de Florida (EE.UU.). Otros autores (p. ej., Deufel, 1968; Hunter, *et al.*, 1992) encontraron una relación inversa. En cambio, Rai y Hill (1978), Niemi y Niemi

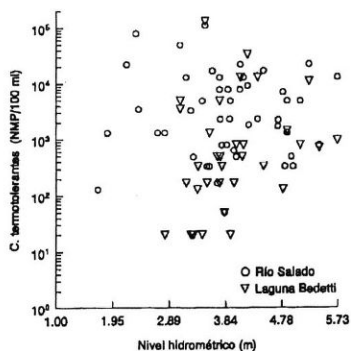


Fig. 4. Los coliformes termotolerantes y el nivel hidrométrico están débilmente asociados. A los valores actuales, agregamos los "históricos" de los archivos del laboratorio de microbiología (INALI), obtenidos en diferentes estaciones y años ($n = 48$, $r_s = 0,295$). Además, incluimos datos de la laguna Bedetti ($n = 33$, $r_s = 0,305$).

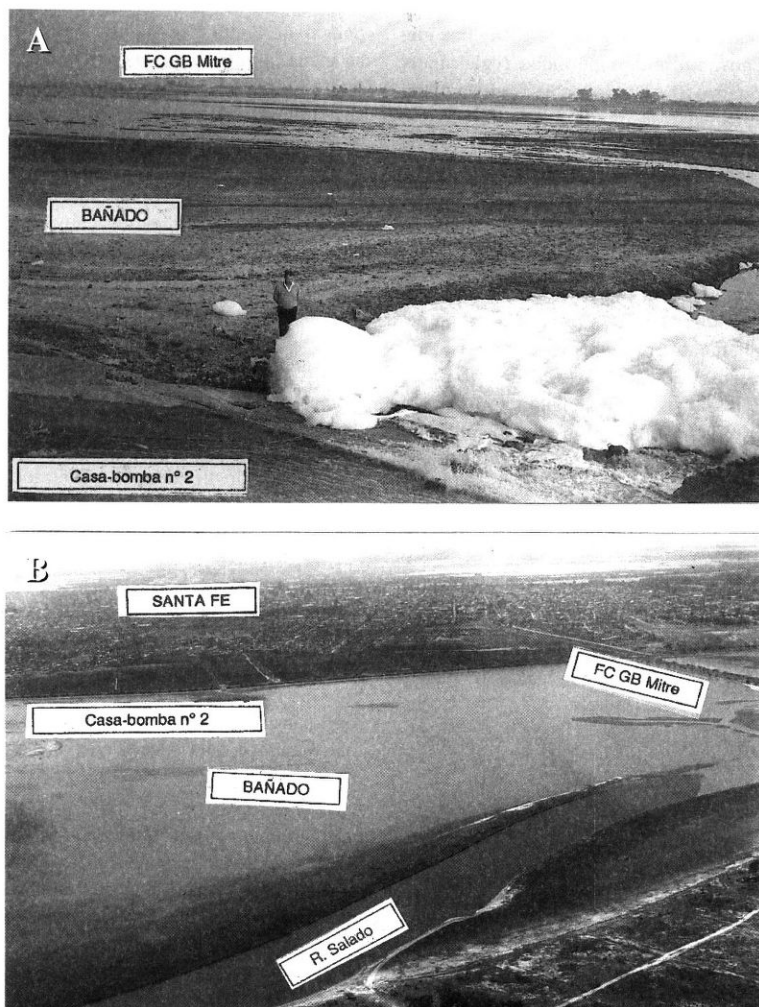


Fig. 5. Durante los períodos en que el río Salado se encuentra encauzado (foto A) los desahües, como el ilustrado (casabomba 2), depositan coliformes sobre los suelos del bañado. Las lluvias o las inundaciones los transportan al río Salado, aguas arriba del balneario (conexión señalada con pequeñas flechas a la izquierda del FC Mitre de la Fig. 1). En la foto B se puede observar el mismo bañado, pero inundado y la tonalidad más oscura del río Salado (embalsado por el río Santa Fe).

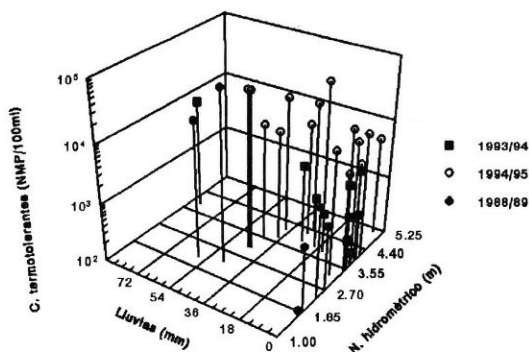


Figura 6. Coliformes fecales en función de las lluvias y del nivel hidrométrico: datos actuales más los obtenidos durante el verano 1988/89 (Emiliani y Sufé, 1990) en el mismo balneario.

(1991), Niemi *et al.* (1994), una relación directa altamente significativa.

Los factores mencionados (lluvias locales que no modifican el nivel hidrométrico, e intrusión del río Santa Fe) posiblemente desvían sustancialmente una esperable y significativa relación directa simple entre el nivel hidrométrico y la concentración de coliformes. Elder (1987) constató que valores aberrantes, más bajos de lo esperable, son característicos de las últimas etapas de una crecida, cuando el nivel del agua está en bajante. Por el contrario, valores aberrantes altos ocurren más frecuentemente durante la rama ascendente de la primera crecida de la estación, especialmente a continuación de períodos relativamente secos. El primer pico tiene un mayor potencial de arrastrar los coliformes acumulados antes de la crecida, cuando el caudal del río era bajo. Los picos tardíos en cualquier período de inundación transportan un menor número

de bacterias que un pico precedente de igual magnitud. Después del inicial la posibilidad de acumulación de coliformes en suelos es menor; la capacidad de lavado disminuye y la dilución aumenta. El modelo matemático propuesto por Elder (1987): $C = aQ - b(\log P) + c$ (donde C = coliformes; a, b y c = constantes, Q = caudal y P un factor que caracteriza el efecto combinado de la duración de la crecida, etapa de la crecida -rama ascendente o descendente- y altura del pico en relación con picos previos) es conceptualmente aplicable al río Salado, pero habría que estudiar la posibilidad de incorporar al modelo el efecto antedicho de las lluvias locales.

Con respecto al efecto de las variables climáticas e hidrológicas sobre el uso del balneario, (Fig. 6) que incluye datos de otro período estival (1988/89), es más probable encontrar una calidad bacteriológica aceptable (< 2000 C To / 100 ml) durante niveles hidrométricos infe-

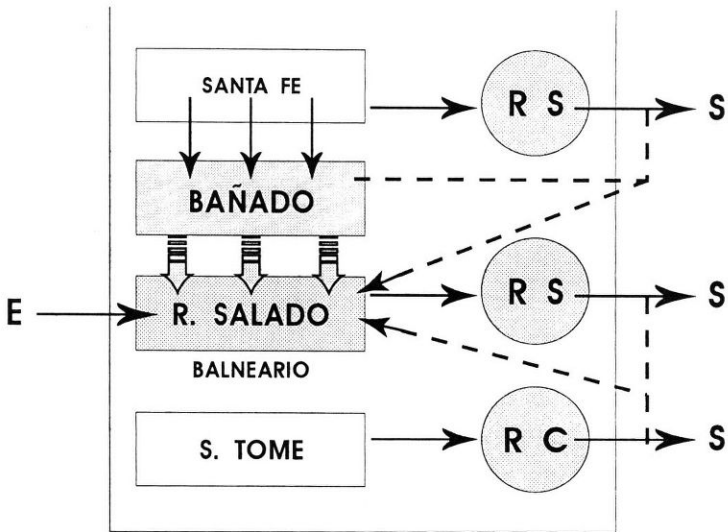


Fig. 7. - La calidad bacteriológica del río Salado en la zona del balneario está afectada por la entrada (E) de coliformes desde fuera del sistema estudiado (Emiliani, 1980), por el transporte de la producción interna de coliformes (flechas Santa Fe \rightleftharpoons Bañado \rightleftharpoons R. Salado) durante las lluvias y por la falta de salida (S) de coliformes por los ríos Santa Fe (RS) y Coronda (RC) durante la rama ascendente de sus picos de inundación (líneas de trazos - - \rightleftharpoons).

rios a 4 m y cuando, en esa misma situación hidrológica, no se registran lluvias o éstas son escasas (< 30 mm). Por el contrario, es probable encontrar las concentraciones más altas de coliformes ($> 10^3$) durante lluvias y niveles bajos (< 4 m). Con niveles hidrométricos altos, incluso sin lluvias locales de importancia, también es posible encontrar elevadas concentraciones de coliformes (debido, como ya dijimos, a la intrusión del Santa Fe en el río Salado: el primero, arrastra los coliformes depositados en los bañados durante los períodos de sequía y -además- transporta coliformes desde los efluentes cloacales de la ciudad de Santa Fe). En la figura 7, mostramos un enfoque sistémico simplificado del subsistema estudiado.

AGRADECIMIENTOS

A los señores Juan Carlos Romero, Ramón Regner, al perito topocartógrafo Aldo Paira, y a las señoras profesoras Mirta Campana y Graciela Paporello de Amsler por la colaboración en los análisis de laboratorio y en los trabajos de campo. La foto B fue tomada por el profesor E. Drago. Todos ellos pertenecen al Instituto Nacional de Limnología (INALI, CONICET).

Este trabajo forma parte de un programa de investigaciones del INALI sobre contaminación del río Salado, habiendo recibido un subsidio del CONICET. Su concreción también fue facilitada por un convenio celebrado entre las autoridades municipales y las del INALI.

REFERENCIAS

- APHA 1985.** Standard Methods, 16^a ed., APHA, Baltimore. 1268 pp.
- Barnard, C.; F. Gilbert y P. McGregor. 1994.** Asking Questions in Biology. Longman, Londres. 158 pp.
- Deufel, J. 1968.** Die Häufigkeit von Enterobakterien, Enterokokken und anaeroben sporenbildenden Bakterien im Oberlauf der Donau bis Ulm. *Arch. Hydrobiol.*, Suppl. 34: 74-87.
- Dirar, H. 1986.** Coliforms bacterial counts in the Nile water at Khartoum. *Environ. Internat.* 12: 571-576.
- Elder, J. F. 1987.** Indicator bacteria concentrations as affected by hydrological variables in the Apalachicola River, Florida. *Water, Air Soil Pollut.* 32: 407-416.
- Emiliani, F. 1996.** Interpretación de la calidad bacteriológica en aguas naturales: Incidencia de las variables ambientales (p.: 42-60). En: *Actas del Seminario de Ecología sobre Contaminación Hídrica*. Centro Naval, Buenos Aires. 107 p.
- Emiliani, F. (en prensa).** Concentraciones de coliformes fecales en la rizósfera de camalotes (*Eichhornia crassipes*) y en sedimentos. *Actas Primeras Jornadas Nacionales y Sextas Regionales sobre Medio Ambiente*. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, La Plata.
- Emiliani, F. 1980.** Ecología de la contaminación de la cuenca inferior del río Salado. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 11: 41-69.
- Emiliani, F. y S. M. González de Paira. 1995.** Fuentes puntuales y dispersas de coliformes fecales en dos balnearios urbanos (p.: 41-45). En: *Recursos Hídricos* (Paoli, C.; director). Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, 318 p.
- Emiliani, F. y N. Suñé. 1990.** Relaciones entre coliformes fecales, lluvias y nivel hidrométrico (río Salado, Sto. Tomé, Santa Fe). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 21: 99-102.
- Ferramola, R. y J. J. Monteverde. 1940.** Organismos del género *Pseudomonas* en las aguas del país (II nota). *Bol. Obras Sanitarias de la Nación* 6: 613 -619.
- Federal-Provincial Working Group on Recreational Water Quality (editors). 1989.** Guidelines for Canadian Recreational Water Quality. *Minister of National Health and Welfare*, Ottawa. 74 pp.
- Fresenius, W. y W. Schneider (editors) 1989.** Waste Water Technology. Origin, Collection, Treatment and Analysis of Waste Water. *SpringerVerlag*, Berlín, 1136 pp. + 2 suplementos (sin numerar).
- Haslay, C. y H. Leclec. 1995.** Microbiologie des Eaux d'Alimentation. *Technique et Documentation* (Lavoiser), Paris. 496 pp.
- Hayes, S.; L. Newland, K. Morgan y K. Dean. 1990.** Septic tanks and agricultural non-point source of pollution within a rural watershed. *Toxicol. Environ. Chem.* 26: 137-155.
- Hunter, C.; A. McDonald y K. Beven. 1992.** Input of fecal coliform bacteria to an upland stream channel in the Yorkshirte Dales. *Water Resour. Res.* 28: 1869-1876.
- Lant, C. L. y J. B. Mullens. 1991.** Lake and River Quality for Recreation Management and Contingent Valuation. *Water Resour. Bull.*, 27 (3): 453-460.
- Niemi, R. M y J. S. Niemi. 1991.** Bacterial pollution of waters in pristine and agricultural lands. *J. Environ. Qual.* 20: 620-627.
- Niemi, J. S.; R. Niemi y P. Pajakko. 1994.** Longterm temporal variation of hygienic indicator bacteria in river. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 1901-1909.
- Ormerod, K.; G. J. Bonde y K. K. Kristensen. 1985.** Bacteriological Examination (p.: 273-461). En: *Examination of Water for Pollution Control* (M. J. Suess, Ed.), *World Health Organization*, Oxford, 532 pp.
- Rai, H. y Hill, G. 1978.** Bacteriological studies on Amazonas, Mississippi and Nile waters. *Arch. Hydrobiol.* 81: 445-461.
- Stukel, T. A.; E. R. Greenberg, B. J. Dain, F. C. Reed y N. J. Jacobs. 1990.** Longitudinal study of rainfall and coliform contamination in small community drinking water supplies. *Environ. Sci. Technol.* 24: 571-575.

Recibido/Received/: 9 noviembre 1995

Aceptado/Accepted/: 20 mayo 1996