

Indicadores de contaminación fecal: fluctuaciones diarias en un río urbano durante El Niño-Oscilación Sur (Santa Fe, Argentina)

Emiliani, Federico

Instituto Nacional de Limnología (CONICET - UNL) y Cátedra de Microbiología Ambiental (Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL)

RESUMEN: Durante diez meses (marzo -diciembre 1998) se recolectaron muestras subsuperficiales de agua del río Salado cada 24 horas para conocer las fluctuaciones diarias de las concentraciones de *Escherichia coli* y Coliformos Fecales (CF) durante un período hidrológico anómalo. En efecto, se registraron caudales extraordinarios ($2.672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) con respecto a la media ($140 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), permaneciendo 7 meses con niveles superiores al nivel de alerta ($\geq 5,30 \text{ m}$) y más de 5 meses con niveles superiores al de evacuación ($\geq 5,70 \text{ m}$). El muestreo se realizó cerca de su desembocadura ($31^\circ 39' 58.4'' \text{ S}$ y $60^\circ 45' 17.8'' \text{ O}$) y de las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé. Las concentraciones de los indicadores variaron dentro de un amplio rango: desde no detectables ($< 1 \text{ ufc}/100 \text{ ml}$) hasta llegar a valores de tercer orden (*E. coli*) o cuarto orden (CF) aunque con pulsos breves (≥ 2 días). Los valores más altos coincidieron frecuentemente con precipitaciones pluviales, pero también se registraron picos de tercer orden con lluvias escasas (por debajo de la media) pero con niveles extremos ($> 6 \text{ m}$). El análisis diario permitió establecer que, si se hubiesen realizado muestreos más espaciados, como rutinariamente se realizan para el control de aguas naturales para contacto primario, se habrían detectado solamente el 9% de los excesos con respecto a la concentración máxima tolerable en los estándares locales (muestreos semanales) y el 0% en muestreos mensuales. En cambio, aumentando la frecuencia de muestreo a tres días por semana, se hubiese detectado más de la mitad (el 54%) de los excesos. Cuando la cuenca drena libremente en el río es cuando más lo provee de *E. coli*. En efecto, durante las fases de bajante de los dos pulsos de inundación, se determinó una concentración media superior a la encontrada durante las fases opuestas ($423 \text{ ufc}/100 \text{ ml}$ vs $293 \text{ ufc}/100 \text{ ml}$; $p = 0,0036$). Concordantemente, durante las fases de bajante se registró una proporción significativamente mayor de muestras cuyas concentraciones de coliformos superaron el máximo tolerable para contacto primario (12% vs 6%, $p = 0,001$; $n = 308$). Las elevadas concentraciones de *E. coli* registradas (desde tercero a quinto orden) a la salida de las estaciones de bombeo, se pueden considerar indicadores de un riesgo sanitario inicial para la población (en caso de anegamiento por fallas o insuficiencia del sistema de bombeo).

Palabras clave: *Escherichia coli* - Coliformos Fecales - El Niño - Río Salado.

SUMMARY: Daily fluctuations of faecal-indicators concentrations in an urban river during El Niño-Southern Oscillation (Santa Fe, Argentina). Emiliani, Federico. Subsurface water samples of the Salado River were collected every 24 h for ten months (March-December 1998) to observe daily fluctuations of *Escherichia coli* and faecal coliforms (FC) during an anomalous hydrological period. In fact, extraordinary flows of the Salado River ($2672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), in relation to the mean ($140 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), were registered, remaining at higher levels than the alert level ($\geq 5.30 \text{ m}$) for 7 months and than the evacuation level ($\geq 5.70 \text{ m}$) for more than 5 months. The sampling was carried out near the mouth of the river ($31^\circ 39' 58.4'' \text{ S}$ and $60^\circ 45' 17.8'' \text{ W}$) and the cities of Santa Fe and Santo Tomé. Faecal indicator concentrations varied within a wide range: from non-detectable concentrations ($< 1 \text{ fcu}/100 \text{ ml}$) to third order values (*E. coli*) or fourth order values (FC), although with brief pulses (≥ 2 days). Highest values frequently coincided with pluvial precipitations but there were also third order peaks with scarce rains (below the mean) but with extreme levels ($> 6 \text{ m}$). The daily analysis allowed to state that, if the samplings would have been carried out at longer intervals, as are carried out in a routine way to control natural waters for primary contact, we would have only detected 9% of excesses in relation to the maximum tolerable concentration for local standards in weekly samplings and 0% of excesses in monthly samplings. In contrast, by increasing the sampling frequency to three days a week we would have detected more than half (54%) of excesses. When the basin drains freely into the river it contributes with more *E. coli*. In fact, during the falling limb of the two flood peaks, a mean concentration higher than that found during the opposite phases was determined ($423 \text{ ufc}/100 \text{ ml}$ vs $293 \text{ ufc}/100 \text{ ml}$; $p = 0.0036$). In coincidence, when the water level was receding, a significantly higher proportion of samples with coliform concentrations exceeded the maximum tolerable concentration for primary contact (12% vs 6%, $p = 0.001$; $n = 308$). The high concentrations of *E. coli* (from third to fifth order) registered at the end of pumping stations (where excess waters are expelled from collecting drainage channels to the Salado River), can be considered as indicators of an initial sanitary risk to the population (in case of flooding due to failures or insufficiencies in the pumping system).

Key words: *Escherichia coli* - Faecal Coliforms - El Niño - Salado River.

Correspondencia a:

F. Emiliani. INALI. J. Maciá 1933, Santo Tomé (3016).
Santa Fe. E-mail: emiliani@fich1.unl.edu.ar

Recibido: 18-05-03

Aceptado: 20-08-03

Introducción

El ciclo de El Niño Oscilación-Sur (ENOS) es una oscilación irregular del sistema climático, que se reitera con una periodicidad aproximada de 3 a 4 años (1). Es un evento principalmente tropical, pero su impacto es global: afecta el régimen pluvial e hídrico y ocasiona profundos impactos económicos y sociales en extensas áreas del planeta (2), incluyendo la provincia de Santa Fe (3).

Hay evidencias que sugieren la relación entre anomalías hidroclimáticas con enfermedades y el incremento de la dispersión de organismos patógenos tanto para el hombre como para los animales (4 - 10). Además, las alteraciones antropogénicas que contaminan suelos y aguas, pueden intensificar las consecuencias derivadas de esas anomalías (5). Las inundaciones y las fuertes lluvias pueden franquear las barreras entre las aguas residuales (o los depósitos terrestres de contaminantes) y las aguas naturales usadas para consumo humano o para las actividades recreativas.

Solamente en ambientes oceánicos y en estuarios se conoce la respuesta microbiológica al fenómeno de El Niño (11, 12). No hemos encontrado antecedentes sobre las fluctuaciones diarias de las poblaciones de *E. coli* durante los extremos hidroclimáticos, como los que se constataron durante el ENOS, en sistemas fluviales urbanos.

Se sabe que para caracterizar la calidad bacteriológica de un cuerpo de agua o de un sector del mismo, se debe conocer la variabilidad temporal del determinando de interés (13), especialmente bajo condiciones hídricas excepcionales (14). Tal información, además, puede ser útil para eventuales estudios epidemiológicos, para la aplicación adecuada de estándares, para la planificación de programas de vigilancia y para activar estrategias sanitarias preventivas. Acorde con lo expuesto, nuestro objetivo fue lograr una caracterización bacteriológica de un sistema fluvial urbano durante el ENOS mediante el estudio de las fluctuaciones diarias de las concentraciones de indicadores de contaminación fecal.

Materiales y Métodos

Descripción del área y del lugar de muestreo

El río Salado nace en el noroeste del país, de-

sarrollando un sistema fluvial que alcanza 1.500 km de longitud. Al entrar en el territorio de la Provincia de Santa Fe, su cauce recibe el aporte de numerosos arroyos definiendo la región morfológicamente conocida como "bajos submeridionales". La superficie total de la cuenca es de 247.000 km² y la del curso inferior, dentro de la Provincia de Santa Fe, es de 24.791 km² (15). El río escurre en un valle de grandes áreas inundables y por un cauce meandroso, con un caudal variable entre 7 m³s⁻¹ y 2.596 m³s⁻¹ (caudal medio anual de 140 m³s⁻¹) (16). La región es una llanura típica, geomorfológicamente constituida por arcilla y arena muy fina, además de carbonatos de calcio y eflorescencias salinas. Estas áreas probablemente proveen la mayor parte de la salinidad del río (17).

Las aguas del río Salado son utilizadas para riego y para abastecer de agua para potabilizar a algunas localidades del norte santafesino. El ganado en cría extensiva bebe desde las riberas o en las lagunas conectadas con él. En sus aguas se practica la pesca (deportiva y comercial), la natación y otros deportes acuáticos.

El lugar de muestreo está situado cerca de su desembocadura; más precisamente, frente al Instituto Nacional de Limnología (Santo Tomé, 31° 39' 58.4" Latitud Sur y 60° 45' 17.8" Longitud Oeste), aguas abajo del arroyo El Vado (el cual puede estar afectado, por su comunicación con el Río Santa Fe, por descargas cloacales de camiones atmosféricos). Desde hace unos 10 años se han iniciado o finalizado algunas obras en la cuenca del río Salado para disminuir su grado de contaminación. Con respecto al lugar de muestreo y la contaminación fecal, justamente un mes antes del inicio de los muestreos diarios, la empresa Aguas Provinciales de Santa Fe finalizó (febrero 1998) los trabajos para desvincular la descarga de aguas servidas al río Salado, provenientes de barrios y establecimientos públicos situados al oeste de la ciudad de Santa Fe (18). No obstante, también cercanas al lugar de muestreo, existen 5 estaciones de bombeo (denominadas «casas-bomba») instaladas sobre la ribera oeste de la misma ciudad (con una capacidad de 39.000 m³h⁻¹) y tres sobre la ribera santotomesina (20.000 m³h⁻¹), además de bombas portátiles de menor capacidad. El agua bombeada de los reservorios proviene de una extensa red de canales a cielo abierto ("zan-

jones") colectores del lavado pluvial de suelos urbanos y periurbanos; la mayoría de los 38 km de canales existentes dentro de la ciudad de Santa Fe, conducen hacia el Salado. El desagote por bombeo de los excesos pluviales retarda el tiempo de evacuación, pero es necesario debido a las defensas costeras que bordean a ambas ciudades. Ese retardo es producido por la capacidad insuficiente de los equipos y/o por basura acumulada en las rejillas y bocas de tormenta, que produce obstrucción y dificulta el escurrimiento del agua. Los cortes en el suministro eléctrico (fallas en los transformadores, vandalismo, robo de cables o anegamiento de cámaras subterráneas), puede agravar la situación y producir anegamientos en sectores periurbanos y urbanos, incluyendo suelos contaminados por residuos sólidos y líquidos, todo lo cual expone a la población a un riesgo sanitario y aumenta la carga bacteriana vertida al río Salado. Mientras que en el oeste de la ciudad de Santa Fe el desagote por bombeo es independiente del nivel hidrométrico, en la ciudad de Santo Tomé el bombeo solo se activa cuando el nivel de las aguas del río Salado supera los 4,50 m (a niveles inferiores, el agua de lluvia llega al río a través de compuertas y desagües por simple gravitación).

Muestreos y análisis bacteriológicos

Para el análisis bacteriológico de coliformes se recolectaron muestras diariamente, desde el 1º marzo 1998 hasta el 30 diciembre 1998, totalizando 308 muestras. Las muestras fueron recolectadas con frascos de vidrio estériles tipo Simax (500 ml), a 15 cm. de profundidad y mantenidas refrigeradas y en la oscuridad hasta su análisis (< 3 hs). También se obtuvieron 16 muestras a la salida de la estación de bombeo de Santo Tomé, 6 en su canal colector y 8 a la salida de la casa-bomba nº 2 (Santa Fe).

Se usaron las concentraciones de *E. coli* y de Coliformes Fecales como indicadores de contaminación fecal (19), que, de acuerdo con la "Agenda 21" (20), también son indicadores ambientales del desarrollo sustentable. Estos indicadores, especialmente *E. coli*, están estrechamente relacionados con varias otras categorías socioeconómicas y ambientales, incluyendo la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas, la cobertura de los tratamientos de aguas residuales, y porcentaje de la población cubierta con una adecuada disposición de las excretas (20).

Para cuantificar *E. coli*, se utilizó el método de detección enzimática (β -glucuronidasa) con las placas CHROMagar™ ECC (CHROMagar Microbiol., Paris, Francia) según detalles publicados por Alonso *et al.* (21), incluyendo las pruebas confirmativas. Las placas descartables fueron incubadas a $44.5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 h en un baño termostático en bolsas de plástico estériles a prueba de agua (Whirl-Pak™, de Nasco). Las colonias azules a violetas (GLUC +) sumadas a las colonias salmón a rojas (β -galactosidasa +) se consideraron Coliformes Fecales (también denominados "coliformes termotolerantes", de acuerdo con la sugerencia de algunos autores (22).

Para comparar la variabilidad de los datos diarios de las concentraciones de coliformes con la concentración de hongos mesófilos ($35 \text{ }^\circ\text{C}$) y aerobias termotolerantes ($44,5 \text{ }^\circ\text{C}$) se realizaron recuentos diarios durante 17 días de invierno y 30 días de primavera, usando placas Petrifilm™ MYC (3M™, Min., EEUU) y Petrifilm™ PC (3M™, Min., EEUU), de acuerdo con detalles operativos publicados por los mismos fabricantes (23), excepto las temperaturas de incubación (ya indicadas) y el dispersor usado (30 cm^2). Por otra parte, en las muestras provenientes del canal colector de Santo Tomé se estimó la concentración de *Staphylococcus aureus* usando las placas Petrifilm™ RSA (3M™, Min., EEUU) con disco reactivo para la detección de nucleasa termoestable (23).

Para la estadística descriptiva, medidas de dispersión relativa, correlaciones y para el análisis de las diferencias entre la tendencia central se usó el GraPhad InStat™ versión 3.02 (de GraphPad Software, California) aplicando pruebas paramétricas o no paramétricas según si el conjunto de datos a comparar se correspondían o no a una distribución normal. Para evaluar el impacto de los extremos pluviales sobre la concentración de *E. coli*, los resultados fueron comparados con la concentración media de *E. coli* obtenida bajo condiciones climáticas estables (establecida en el trabajo de Emiliani y García de Emiliani - 24) usando el test *t* de significancia de una muestra (25). Para calcular la media geométrica (Xg), habiéndose registrado valores por debajo del límite de detección (< 1ufc/100 ml), se siguió el procedimiento detallado en Figueras *et al.* (26). Dado que no existen estándares de calidad bacteriológica aceptados a nivel provincial, nacional o internacional (19)

(en lo que se refiere a especies, concentraciones y otros detalles operativos), se usaron como referencia los estándares locales (Santo Tomé) para contacto primario, establecidos sobre la base de *E. coli* (límite máximo tolerable: 610 ufc/100 ml) y originados en un estudio epidemiológico de Holmes (27).

Obtención de datos de campaña y datos hidroclimáticos

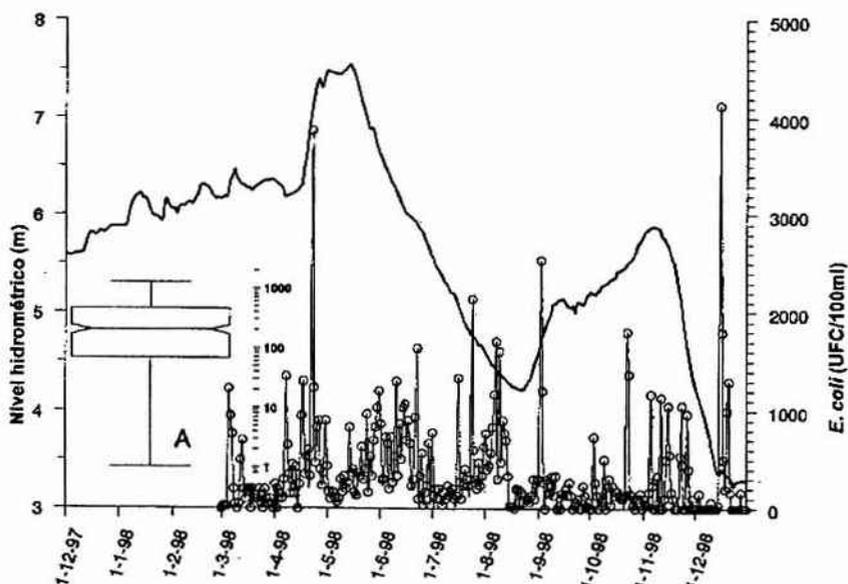
Se midió *in situ* la transparencia (disco de Secchi), pH (modelo B213 Twin, de Horiba, con reproducibilidad de $\pm 0,1$ UpH), conductividad (B173 Twin, de Horiba, de ± 1 %), temperatura y oxígeno disuelto (ambos con el modelo D-25 de Horiba, reproducibilidad: $\pm 0,5$ %). Los datos de precipitaciones pluviales fueron suministrados por el Centro de Informaciones Meteorológicas (FICH-UNL), los niveles hidrométricos (Nh) se obtuvieron en el INALI, los valores de radiación solar y heliofanía fueron suministrados por la EEA Paraná (INTA).

Resultados y Discusión

Fluctuaciones de variables abióticas

Después de un período prolongado (6 meses) de niveles medios (3,41 m), en octubre 1997 se inició un período con niveles hidrométricos en constante aumento en el río Salado: desde 3,4 m hasta 7,1 m (abril 1998). El caudal máximo (medido a la altura de la ruta provincial n° 70) fue de $2.672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, superando el máximo medido en el año 1973 ($2.596 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Esta situación hídrica no solamente fue excepcional por los niveles alcanzados sino también por su duración (7 meses con niveles superiores al nivel de alerta: $\geq 5,30$ m, y más de 5 meses con niveles superiores al nivel de evacuación ($\geq 5,70$ m)). Luego del pico máximo mencionado, siguió un período de bajante prolongado (de $N_h = 7,1 \text{ m}$ a $N_h = 4,1 \text{ m}$ en 3 meses) y un nuevo pico ($N_h = 5,6 \text{ m}$) de relativamente corta duración (fig.1). Estas anomalías hidrológicas positivas fueron parecidas en su forma general a la crecida registrada en 1982/1983, pero de magnitud menor (el pico máximo alcanzado en el hidrómetro del INALI fue similar, sin

Figura 1: Fluctuaciones diarias de las concentraciones de *Escherichia coli* durante El Niño en el río Salado (período marzo-diciembre 1998).



Fechas: dd/mm/aa. En el sector A de la figura, los límites superiores e inferior del diagrama de caja indican, respectivamente, los percentiles 75 y 25 de los datos. Las barras verticales que salen de la caja indican los percentiles 95 y 5. La mediana está indicada por una línea horizontal, la muesca indica el intervalo de confianza de la mediana.

embargo durante 1982/1983 se registraron 8 meses con Nh superiores al nivel de evacuación). Por otra parte, durante 6 meses del período estudiado, se presentaron lluvias locales más importantes con respecto a la inundación anterior (607 mm vs 947 mm acumulados).

Con respecto a la media histórica (1901 - 1997), durante el primer mes de muestreo (marzo 1998), las precipitaciones pluviales acumuladas en el mes superaron (+) en 129 mm a la media de 96 años para el mismo mes (media = 138,4 mm). Exceso que también se registró durante los meses anteriores (enero y diciembre: +161mm y +83 mm, respectivamente).

Durante el período estudiado la conductividad fluctuó entre $336 \mu\text{S cm}^{-1}$ y $3.800 \mu\text{S cm}^{-1}$ (media = $608 \mu\text{S cm}^{-1}$) siendo significativamente menor la media registrada durante aguas altas (Nh > 5m) que estando por debajo de ese nivel (1.288 vs 1.829; $p < 0.0001$), al igual que la transparencia (11,6 vs 14,0; $p < 0.0001$), que fluctuó entre 9 cm y 19 cm. Estas diferencias significativas entre las medias, asociadas a los Nh, no se registraron en el pH (7,9 UpH vs 8,0 UpH) ni en el O_2 disuelto (6,6 mg l^{-1} vs 6,8 mg l^{-1}).

Si se compara el período más intenso de El Niño (diciembre 1997 - abril 1998; Nh medio = 5,9m) con los mismos meses pero del período 1998-1999 (Nh medio = 3,9m) se puede constatar que la persistencia del mal tiempo (heliofanía media 7,8 h vs 9,4 h; $p = 0,0087$) implicó valores medios de radiación solar significativamente más bajos ($p = 0,0035$): 17,4 $\text{mJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (o bien: 416 $\text{cal m}^{-2} \text{d}^{-1}$) versus 19,8 $\text{mJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (473 $\text{cal m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Esta menor radiación solar, y los mayores volúmenes de agua en circulación, coincidió con una menor temperatura media del agua (24,0 °C vs 26,3 °C, $p = 0,0007$).

Indicadores de contaminación fecal

Las variaciones registradas (fig. 1) se pueden considerar que siguen un patrón irregular, lo cual correspondería a fuentes de contaminación no puntuales; es decir, aquéllas en que la carga contaminante es depositada y acumulada en forma dispersa (natural o artificialmente) y, frecuentemente, aleatoria (incluyendo su arrastre hacia el río).

Los picos de las concentraciones de *E. coli* (que superaron al estándar) resultaron de corta duración (≤ 2 días en el 84,4 % de los 32 casos) y con una

periodicidad variable entre 1 y 49 días (media \pm límites de confianza al 95% = 7,8 días \pm 3,7 días). Por lo tanto, en muestreos temporalmente más espaciados (semanales a mensuales, como es habitual en el control rutinario de calidad bacteriológica de aguas naturales), es posible que la mayoría hubiese pasado desapercibida. En efecto, recolectando una muestra semanal (en un día elegido al azar) solamente se hubiese detectado el 9 % de las 56 veces en que la concentración del indicador excedió la concentración máxima tolerable por los estándares locales, y el 0% bajo una frecuencia mensual. En cambio, aumentando la frecuencia de muestreo a tres días por semana, se hubiese detectado más de la mitad (el 54%) de los excesos.

Los resultados permiten enunciar la hipótesis de que cuando la cuenca drene libremente en el río es cuando más lo provee de *E. coli*. En efecto, durante las fases de bajante de los dos pulsos de inundación, se determinó una concentración media superior a la encontrada durante las fases opuestas (423 ufc/100ml vs 293 ufc/100ml; $p = 0,0036$). Concordantemente, durante las fases de bajante se registró una proporción significativamente mayor de muestras cuyas concentraciones de coliformes superaron el máximo tolerable para contacto primario (12% vs 6%, $p = 0,001$; $n = 308$). Si solamente se considera la altura del nivel del agua (mayor o menor al nivel de alerta), sin tener en cuenta si las aguas de inundación están en bajante o creciente, las diferencias entre las proporciones resultantes no son estadísticamente significativas ($p = 0,431$).

Las concentraciones diarias de *E. coli* fluctuaron dentro de un amplio rango: desde < 1 ufc/100ml hasta 4.130 ufc/100ml; en la fig. 1A se indican otros descriptores estadísticos. La media geométrica resultó, sin embargo, de 102 ufc/100 ml, la cual estaría situada dentro de las medias de los estándares menos permisivos de calidad bacteriológica de aguas para contacto primario (19); más aún si no se toman en cuenta los valores obtenidos durante los días de lluvias, tal como sugiere la US EPA (28). Las lluvias importantes (> 30 mm) siempre causaron una concentración máxima de *E. coli* significativamente mayor a la media ($p < 0,0001$), establecida en 71 ufc/100 ml para situaciones climáticas estables en el río Salado (24). Dado que la luz solar tiene un efecto perjudicial para los coliformes que están so-

bre la superficie del suelo (29) o en el agua (30, 31), se puede conjeturar que, en nuestro caso, la relativamente menor radiación solar y heliofania registradas durante El Niño, pudo haber favorecido el transporte y supervivencia de las bacterias detectadas. A estos factores ambientales favorables se le puede agregar la menor transparencia registrada (pues disminuye la penetración de la luz solar).

También las concentraciones de Coliformes Fecales (CF) variaron dentro de un amplio rango: desde < 1 ufc/100ml hasta 11.050 ufc/100ml; $X_g = 263$ ufc/100 ml. Valor que puede ser aceptable según los estándares que se consideren (19). En general, las variaciones diarias de las concentraciones de CF siguieron a las de *E. coli* manteniendo una correlación estadísticamente significativa ($p < 0,0001$; $n = 266$), pero con un coeficiente de correlación bajo ($r = 0,450$). Esto es debido a la variabilidad con que *E. coli* participó en la composición del grupo termotolerante: desde el 0% al 100%, con una media del 52,8% (LC 95% = $\pm 3,7\%$); así se registraron siete picos de CF hasta de 1.200 ufc/100ml (media = 548 ufc/100 ml) con ausencia de *E. coli* (< 1 ufc/100 ml). Estos pulsos posiblemente se hayan registrado por el vertido de aguas residuales predominantemente no cloacales, donde los porcentajes de *E. coli* son bajos (0,4 - 35%) o ausentes, con respecto al total de coliformes termotolerantes (32, 33). Por el contrario, en el arroyo Tientuco y río Colastiné (que reciben aguas cloacales de Santo Tomé y Santa Fe, respectivamente) el porcentaje de *E. coli* oscila entre 76,2 y 93,6% (Emiliani, observ. inéditas).

No siempre las concentraciones máximas de *E. coli* (o de CF) durante El Niño estuvieron asociadas a las precipitaciones pluviales. Es de señalar, en efecto, que una de las concentraciones más altas

registradas en el mes de abril (3.900 ufc/100 ml y 5.070 ufc/100 ml de *E. coli* y CF, respectivamente; % *E. coli* = 76,9), fue coincidente con uno de los valores más altos del nivel hidrométrico (6,8 m) pero con lluvias por debajo de la media histórica para el mismo mes (69,4 mm vs 99,5 mm). Este no parece ser el caso de los grandes ríos como el Paraná, en puntos de muestreo alejados de centros urbanos (Emiliani, observaciones inéditas) o el Orinoco (34), donde luego de la embestida del agua en creciente, se detectan las concentraciones mínimas de bacterias en coincidencia con los picos de la inundación. Allí la disminución de las concentraciones puede indicar el efecto de dilución de grandes volúmenes de agua pasando a través del sistema. Este proceso de dilución también es compartido por otros organismos acuáticos, como macroinvertebrados, fitoplancton y zooplancton (35, 36).

Las concentraciones elevadas de coliformes es posible que hayan estado asociadas, en parte, a eventuales fallas en la conducción de las aguas servidas. Dada las características topográficas de ambas ciudades, se necesitan estaciones elevadoras de líquidos cloacales. Estos son impulsados de las colectoras a una cañería de mayor diámetro (denominada «cloaca máxima») y luego a una laguna de estabilización alejada del centro urbano. Sin embargo, en caso de averías, anegamientos, conexiones erróneas, taponamientos, o fallas en el suministro eléctrico, las aguas servidas pueden aflorar en las cámaras, bocas de registro de la ciudad (empalme de las colectoras), estaciones elevadoras, y/o en los propios domicilios. Estos problemas de contaminación fecal se pueden detectar no solamente *in situ* sino también, según la magnitud del evento, a la salida de la cañería de las estaciones de bombeo de

Tabla 1: Concentraciones de indicadores de contaminación fecal (ufc/100 ml) a la salida de las estaciones de bombeo situadas en las ciudades de Santa Fe ($n = 8$) y de Santo Tomé ($n = 16$)

	Santa Fe		Santo Tomé	
	<i>E. coli</i>	C. Fecales	<i>E. coli</i>	C. Fecales
Rango	1.300 - 27.600	2.400 - 43.200	1.275 - 270.000	1.625 - 520.000
Media	17.000	25.000	12.350	172.000

aguas pluviales (Tabla 1). Esto es debido a que las aguas contaminadas pueden drenar, en ambas ciudades, hacia los canales colectores de los desagües pluviales.

Es de señalar que, en coincidencia con el período más intenso de El Niño, en Santa Fe se documentaron brotes de enfermedades, y que fueron relacionadas con el exceso de agua (37, 38). La población que carece de red de alcantarillado público deben disponer las heces en sistemas aún más vulnerables a los anegamientos (letrinas, pozos absorbentes) en sus aspectos sanitarios (además, la saturación de los suelos disminuye la eficiencia séptica del sistema, 12). El riesgo inicial a la que está sujeta la población en caso de permanecer en contacto con el agua de inundación (por fallas y/o insuficiencia de los sistemas de evacuación de las aguas), puede estar indicada por la calidad microbiológica del agua de desagote. Los datos de las concentraciones de indicadores de contaminación fecal en las aguas expulsadas por bombeo (Tabla 1) se pueden tomar como información preliminar para sustentar tal hipótesis. Para resaltar la magnitud de esos valores, se puede recordar que la ley Provincial (Santa Fe) n° 11.220 (Anexo A: «Límite obligatorio») tolera un máximo de 1.000 CF/100 ml en los desagües que vierten en los recursos hídricos. El porcentaje de *E. coli* en el grupo termotolerante en los desagües resultó variable desde 9,6% al 99,6% pero frecuentemente alto (media = 72,1%; LC 95% = ± 8,8%; n = 24). También resultaron elevados los recuentos de *S. aureus* en seis muestras del canal colector de Santo Tomé: 10.000 - 28.000 ufc/100ml. Por otra parte, otros autores (39), encontraron una fuerte correlación entre estas bacterias y los indicadores de contaminación fecal y, además, que pueden perdurar -comparativamente- más tiempo en el agua.

De los grupos analizados, la menor variabilidad diaria de los datos (n = 47), medida por el coeficiente de variación (CV), correspondió al de los hongos mesófilos (CV = 5,1%; Xg = 1.070 ufc/100ml), seguida por las bacterias aerobias termotolerantes (CV = 5,9%; Xg = 72.800 ufc/100ml), coliformes fecales (CV = 11,6 %; Xg = 1.400 ufc/100ml) y *Escherichia coli* (CV = 23,8%; Xg = 240/100ml); es decir, el CV aumenta a medida que se restringe el

grupo taxonómico estudiado. La menor variabilidad se registró en los días de invierno (n = 17), donde el CV, de cualquiera de los grupos, no superó los dos dígitos (2,6% al 8,8 %).

En conclusión, las fluctuaciones diarias de los indicadores de contaminación fecal demuestran el grado y la frecuencia con que se vulnera la calidad bacteriológica del río Salado, incluso durante caudales extraordinarios donde se podía esperar un efecto importante de dilución.

Agradecimientos

Para la realización de este trabajo, en tareas de laboratorio y de campo, se contó con la colaboración de Stella Maris González, Aldo Paira, Alcides Meurzet, Ramón Regner, Eduardo Lordi y Pedro Garcilazo, pertenecientes al Instituto Nacional de Limnología (CONICET- UNL). También se contó con la colaboración de Enrique Rodríguez (Centro de Informaciones Meteorológicas, FICH-UNL), de José Saluso (EEA INTA Paraná), de María Ofelia García de Emiliani (INALI, CONICET- UNL) y de Carlos Paoli (Instituto Nacional del Agua). Este trabajo forma parte del proyecto CAI+D («Influencia de las anomalías hidroclimáticas en la calidad microbiológica de ambientes acuáticos urbanos»), financiado por la Universidad Nacional del Litoral (Santa Fe).

Bibliografía

1. McPhaden M. J., 1999. Genesis and evolution of the 1997-98 El Niño. *Science* 283: 950-954.
2. Wang, H.J., Zang, R.H., Coles, F.I., and Chávez, F.P., 1999. El Niño and the related phenomenon Southern Oscillation (ENSO): The largest signal in interannual climate variation.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96, 11072.
3. García N. O. y M. V. Venencio, 1998. El Niño, la Niña y el agua en la Provincia de Santa Fe (Argentina) «Anales XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Conosur. 3 - 7 Agosto 1998». Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Univ. Nac. Litoral, (Santa Fe), 22 - 31.
4. Colwell R. R. and J. A. Patz, 1998. «Climate, infectious disease and health. An interdisciplinary perspective». *American Academy of Microbiology* (Washington, DC).

5. Epstein P. R., 1999. «Extreme weather events: The health and economic consequences of the 1997/98 El Niño and La Niña». <http://chge2.harvard.edu/enso/samericagroupprpt3.html>.
6. Harvell C.D., Kim K., Burkholder J.M., Colwell R.R., Epstein P.R., Grimes D.J., Hofmann E.E., Lipp E.K., and Osterhaus A.D., 1999. Emerging marine disease: Climate links and anthropogenic factors. *Science*, **285**, 1505-1510.
7. Kovatz R.S., 2000. El Niño and human health. *Bull. World Health Organ.*, **78**, 1127-1135.
8. Patz J.A., Epstein P.R., Jurke T.A. and Albus J.M., 1996. Global climate change and emerging infection disease. *J. Amer. Med. Ass.* **275**, 217 - 223.
9. Rose J.B., A. Huq, and E. K. Lipp, 2001. «Health, Climate and Infectious Disease: A Global Perspective». American Academy of Microbiology (Washington, DC).
10. Rose, J.B., Daeschner, S., Easterling, D.R., Curriero, F.C., Lele, S., and Patz, J. A., 2000. Climate and waterborne disease outbreaks. *J. Water Work. Assoc.* **92**, 77-85.
11. Chávez F.P., Strutton P.G., Friederich G.E., Feeley R.A., Feldman F.G., Doley M.J., and Phaden M.J., 1999. Biological and chemical response of the equatorial Pacific Ocean to the 1997-98 El Niño. *Science* **286**, 2126-2131.
12. Lipp E.K., Kurz R., Vincent R., Rodríguez-Palacios C., Farrah S.R., and Rose J.B., 2001. The effects of seasonal variability and weather on microbial fecal pollution and enteric pathogens in a subtropical estuary. *Estuaries* **24**, 266-276.
13. Wilson A. L., 1982. Design of sampling programmes: In: Suess, M. J.(ed) «Examination of water for pollution control: A reference handbook». Pergamon Press & World Health Organization (Oxford) p. 23-77.
14. Mäkelä A. and M. Meybeck, 1996. Designing a monitoring programme. In: Bartram, J. and Ballance, R.(ed). «Water Quality Monitoring». United Nations Environment Programme, World Health Organization & FN Spon (Londres) 35 - 59.
15. Castellanos A., 1975. Cuenca potamográfica del Río de la Plata. *Geogr. Rep. Arg.* **4**: 86-91.
16. Gabioux M. y A. M. Alvarez, 2000. Análisis de series de niveles hidrométricos. Tramo inferior del río Salado (Santa Fe). En: Fariás H. D., Pilán M. T., Borselino F. J., Pece F. C., Mattar M. T., y Storniolo A. R. «Memorias del 18º Congreso Nacional del Agua». IRHI, FCEyT-UNSE: Santiago del Estero (versión digital en CD).
17. Iriondo M., 1983. Geomorfología de la cuenca inferior del Río Salado como base para la investigación hidrológica. *Hidrol. Grandes Llanuras*, **3**, 1207-1238.
18. Gabioux M. , A. Trento y V. Venturini, 1998. Identificación de fuentes de polución en la cuenca inferior del río Salado (Santa Fe): «Actas Congreso Nacional del Agua» Univ. Nac. Litoral (Santa Fe) 117 - 125.
19. Bartram J. and G. Rees, 2000. «Monitoring bathing waters» SPON, WHO, EPA, Commission of the European Communities (Londres).
20. United Nation Division for Sustainable Development, 1999. <http://www.un.org/esa/sustdev/indis/english/chapt18e.htm>.
21. Alonso J.L., Soriano A., Amoros I., and Ferrus M.A., 1998. Quantitative determination of *E. coli* and Fecal Coliforms in water using a chromogenic medium. *J. Environ. Sci. Health*, **33**, 1229-1248.
22. Mossel D.A., 2003. Request for opinions on abolishing the term «fecal coliforms». *ASM News*, **63**, 175.
23. 3M, 2001. Petrifilm™: Placa para recuento de mohos y levaduras, placa para recuento aeróbico y placa de recuento rápido de *S. aureus*: Guía de Interpretación». En: Emiliani, F. y González, S. M. (ed.) «Microbiología Ambiental» Fac. Ing. Cienc. Hídricas (UNL) & Instituto Nacional Limnología (CONICET - UNL). Versión digital en CD (64 Mb).
24. Emiliani F. and García de Emiliani M.O., 2003. Extreme pluvial episodes: bacteriological vulnerability of some subtropical fluvial systems. *Internat. J. Environ. Health Res.* **13** (3): *in press*.
25. Prosser J. I., 1998. Mathematical Modeling and Statistical Analysis: In: Burlage R. S., Atlas R., Stahl D., Geesey G., and Saylor G (ed) «Techniques in Microbial Ecology». Oxford University Press (New York) 408-437.
26. Figueras M. J., J. J. Borrego, E. B. Pike, W. Roberston and N. Ashbolt, 2000. Sanitary inspection and microbiological water quality: In: Bartram J. and Rees G.(ed): «Monitoring bathing waters». SPON, WHO, EPA, Commission of the European Communities (Londres), 113-167.
27. Holmes R., 1997. Bacteria in recreational waters: A regulator's concerns. In: Kay D., Fricker C. (eds), «Coliforms and *E. coli*: problems or solution?». The Royal Society of Chemistry (Cambridge) 145-154.
28. US Environmental Protection Agency, 1986. «Ambient Water Quality Criteria for Bacteria» EPA440/5-84-002, US Environmental Protection Agency (Washington).
29. Bitton G. and R. W. Harvey, 1993. Transport of pathogens through soils and aquifers: In: Mitchell R.(ed). «Environmental Microbiology». Wiley-Liss (New York), 103-124.
30. Jones K., 1997. Strategies for survival. In: Kay D. and Fricker C.(ed) «Coliforms and *E. coli*. problems or solution?». The Royal Society of Chemistry (Cambridge) 133 - 144.
31. Yukselin, M.A., Calli, B., Gokyay, O., and Saatci, A., 2003. Inactivation of coliform bacteria in waters due to solar radiation: *Environ. Internat.*, **29**: 45-50.

32. Haslay C. et H. Leclerc, 1993. «Microbiologie des eaux d'alimentation». Technique & Documentation - Lavoisier (Paris).
33. Niemi R. M., S. I. Niemela, K. Lahti and J. S. Niemi, 1997. Coliforms and *E. coli* in Finnish surface water: In: Kay D. and Fricker C. (ed) "Coliforms and *E. coli*". The Royal Society of Chemistry (Cambridge) 112-119.
34. Lewis W. M., J. F. Saunders, and R. Dufford, 1990. Suspended organisms and biological carbon flux along the lower Orinoco river. In: Weibezahn F. H., Alvarez H., and Lewis W. M.p. 269-300. «El río Orinoco como ecosistema». Edelca & Fondo Editorial Acta Científica Venezuela (Caracas).
35. García de Emiliani M.O., 1997. Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river-floodplain lake system (Paraná River, Argentina), *Hydrobiologia* **357**, 1-15.
36. Neiff J.J., 1997. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia*, **15**, 424-440.
37. Vanasco, N.B., Sequeira, G., Dalla Fontana, M.L., Fusco, S., Sequeira, M.D. y Enría, D., 2000. Descripción de un brote de leptospirosis en la ciudad de Santa Fe, Argentina, marzo - abril 1998: *Rev. Panam.Salud Pública*, **7**, 35-40.
38. Vanasco, N.B., Fusco, S., Zanuttini, J.C., Manattini, S., Dalla Fontana, M.L., Prez, J., Cerrano, D., y Sequeira, M.D., 2002. Brote de leptospirosis humana luego de una inundación en Reconquista (Santa Fe, 1998) *Rev. Arg. Microbiol.*, **34**, 124-131.
39. Soliae, M. and Krstuloviae, N. 1994. Presence and survival of *Staphylococcus aureus* in the coastal area of Split. *Marine Poll. Bull.*, **28**, 696 - 700.