

MOVIMIENTO SUPERFICIAL DE CONTAMINANTES BIOLÓGICOS DE ORIGEN GANADERO EN LA RED DE DRENAJE DE UNA CUENCA DE PAMPA ONDULADA

CELIO I CHAGAS¹; OSCAR J SANTANATOGLIA¹; JUAN MORETTON²; MARTA PAZ²
& FILIPE BEHRENDTS KRAEMER¹

1 Facultad de Agronomía UBA. Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires. Argentina.

2 Facultad de Farmacia y Bioquímica UBA. Junín 954. Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: chagas@agro.uba.ar

Recibido: 05-10-09

Aceptado: 03-05-10

RESUMEN

Se estudió la concentración de indicadores de contaminación biológica en pequeñas depresiones ubicadas en vías de escurrimiento que atraviesan tierras dedicadas a la ganadería donde se acumulan aguas y sedimentos generados por la actividad agropecuaria de la Pampa Ondulada argentina. La carga animal de los lotes ubicados en la cuenca del Tala donde se encontraban las depresiones, se relacionó estrechamente con su carga de microorganismos. La intensidad de las lluvias previas al muestreo (en el caso de los coliformes totales) y el lapso de tiempo entre el último escurrimiento significativo y el muestreo (para enterococos y estreptococos fecales) resultaron variables sensibles para predecir la dinámica de la concentración de dichos grupos de microorganismos en los sitios de acumulación. Los resultados obtenidos corroboran la estrecha asociación que existe entre los procesos de escurrimiento y erosión hídrica y la contaminación biológica de las aguas acumuladas en las depresiones estudiadas. Estos elementos, sumados a los resultados de trabajos previos realizados en la región, permitieron elaborar un modelo conceptual sencillo de entradas y salidas de potenciales contaminantes físicos y biológicos en las depresiones estudiadas que podrá servir de base para el diseño de alertas tempranas de contaminación de los cursos de agua a nivel regional.

Palabras clave. Cuenca, lluvia, escurrimiento, contaminación, ganado bovino.

SURFACE MOVEMENT OF CATTLE-BORNE BIOLOGICAL CONTAMINANTS IN THE DRAINAGE NETWORK OF A BASIN OF THE ROLLING PAMPAS

ABSTRACT

Runoff water and sediments from crop and cattle production fields of the Rolling Pampas accumulate in small depressions along the drainage network. We studied the concentration of biological contamination indicators in these small sinks located in bottomlands devoted to cattle production of the Tala River basin. The stocking rate was closely related to the concentration of microorganisms in the depressions. The intensity of rainfall events previous to each sampling date and the time between the last significant runoff event and each sampling date proved to be sensible variables for predicting the concentration dynamic of total coliforms and faecal enterococci and streptococci, respectively. Our results show a close relationship between runoff, soil erosion and surface water biological contamination in the studied area. We propose a simple conceptual model of inputs and outputs of potential contaminants in the depressions which may constitute the base for a future early warning program of regional surface water contamination.

Key words. Basin, runoff, sediment, biological contamination, cattle.

INTRODUCCIÓN

Se estima que de las 4,4 millones de ha que posee la Pampa Ondulada, el 36% ya ha sido erosionado (SAGPYA, 1995). Es posible observar en el terreno rasgos de degradación tales como horizontes A adelgazados, surcos y cárcavas, así como áreas cubiertas con sedimentación tanto en los sectores agrícolas como en las tierras bajas ganaderas. Debe tenerse en cuenta que los sedimentos producidos a través de la erosión hídrica constituyen los principales contaminantes de origen agropecuario que pueden afectar las aguas superficiales a nivel mundial (Ongley, 1997).

Un estudio realizado en tierras altas arables ubicadas en la cuenca media del Arroyo del Tala (Buenos Aires, Argentina), en el que se emplearon técnicas radioisotópicas, reveló que la pérdida de suelo promedio registrada desde la década del 50 hasta nuestros días oscila entre 11,5 y 36 t ha⁻¹ año⁻¹, por lo tanto, supera la tolerancia para este tipo de suelos (Bujan *et al.*, 2003). Dichas pérdidas estaban acompañadas por una intensa sedimentación al pie de las pendientes. Actualmente, la adopción de la siembra directa mejoró la protección superficial del suelos frente a la erosión hídrica; sin embargo, esta práctica no parece ser suficiente para reducir los volúmenes de escurrimiento (Chagas *et al.*, 2008).

En la Pampa Ondulada existe aproximadamente 1 millón de ha de tierras imperfectamente a mal drenadas que se ubican al borde de los cursos de agua y se emplean principalmente para cría bovina extensiva, aunque ocasionalmente se usan para agricultura. Dichas tierras son receptoras de escurrimientos y sedimentos provenientes de áreas agrícolas altas pero, a su vez, son generadoras de sus propios escurrimientos y sedimentos, los cuales, en parte se vuelcan a las vaguadas y arroyos aledaños. Por ende, es común observar la formación de cárcavas y depresiones en la red de drenaje local. Los animales que pastan dichas tierras tienen acceso directo a los cursos de agua y a sus cárcavas asociadas. Este hecho incrementa los procesos erosivos y la contaminación biológica del agua y puede resultar perjudicial tanto para los seres humanos como para los animales allí presentes (OMS, 1995).

En un experimento con lluvia simulada a campo en la cuenca del Arroyo del Tala se comprobó que el escurrimiento y la erosión hídrica resultantes transportaban bacterias indicadoras de contaminación fecal provenientes de heces bovinas, pudiendo alcanzar las vaguadas y los cursos de agua (Chagas *et al.*, 2007). Dicho estudio permitió advertir que las tierras ganaderas hidrohalomórficas de uso extensivo, eran fuentes de contaminación biológica difusa mientras que los «feedlots» de tierras altas se comportaban como importantes fuentes de contaminación biológica puntual.

Otro estudio en la misma cuenca reveló que la degradación específica era de tan solo $0,28 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y estaba constituida principalmente por sedimentos finos del tamaño de las arcillas que eran transportados por el Arroyo del Tala (Santanatoglia *et al.*, 2006). Si se tiene en cuenta la intensa erosión provocada por la agricultura en las tierras altas (Bujan *et al.*, 2003) y por la ganadería en las tierras bajas, y se compara con la escasa cantidad de sedimentos transportados por el arroyo, se deduce que existe un importante proceso de sedimentación a lo largo de las pendientes de la cuenca. Este hecho fue corroborado por otros trabajos locales (Santanatoglia *et al.*, 1996) y estaría favorecido por el escaso gradiente de las pendientes regionales (Sheridan, 1994).

Por lo tanto, en las cuencas de Pampa Ondulada existirían procesos simultáneos de erosión y de sedimentación de los suelos acompañados por procesos potenciales de contaminación biológica de las aguas asociados al uso ganadero extensivo de las tierras bajas, e intensivo de los «feedlots». En tal sentido, existe una intensificación a nivel internacional del estudio y el planteo de modelos para predecir la dinámica de contaminantes biológicos asociados al agua superficial bajo producción agropecuaria (Tian *et al.*, 2002). Muchos de estos contaminantes, y particularmente los microorganismos, se encuentran estrecha-

mente asociados a los sedimentos generados por la erosión hídrica (Sherer *et al.*, 1999; Chagas *et al.*, 2006). Los elementos señalados determinaron la conveniencia de desarrollar un modelo conceptual de la dinámica de contaminación biológica a nivel regional, para ser utilizado como alertas tempranas de calidad del agua superficial para diferentes usos. La escala óptima para realizar este estudio es la microcuenca o cuenca primaria pues a este nivel, es que se generan los escurrimientos de una cuenca.

El presente trabajo está enmarcado en un estudio regional de microcuencas y tuvo por objetivos: a) analizar la dinámica de la concentración de indicadores de contaminación biológica en pequeñas depresiones presentes en la red de drenaje de tierras de uso ganadero de la Pampa Ondulada argentina, en las cuales se acumulan agua y sedimentos erosionados provenientes de sitios aledaños y de otros mas altos y b) proponer un modelo conceptual de entradas y salidas de contaminantes biológicos en dichas pequeñas depresiones que pueda usarse como base de futuras alertas tempranas regionales de calidad de agua para bebida animal y humana.

MATERIALES Y METODOS

a) Ubicación y características generales del área. La cuenca del Arroyo del Tala posee una superficie de aproximadamente 800 km^2 y se ubica en el NE de la provincia de Buenos Aires, en la Pampa Ondulada (Fig. 1). Posee muy escasa población y su principal industria es un frigorífico ubicado en la alta cuenca, que cuenta con una planta de tratamiento de efluentes líquidos. El clima regional es húmedo, con un promedio anual de precipitaciones de 1.000 mm concentradas principalmente en primavera, verano y comienzo del otoño. Las pendientes máximas no superan el 3% de gradiente. Los suelos de las áreas altas son generalmente fases erosionadas de Argiudoles Típicos y Vérticos, de textura franco limosa y franco arcillo limosa, respectivamente. Previo a la década del '80, en los mismos se realizaban rotaciones de cultivos anuales y pasturas para uso ganadero de engorde. Actualmente se realizan casi exclusivamente cultivos anuales de cosecha, principalmente soja, debido al alto precio internacional de los granos y al escaso precio de la carne que se paga al productor en la Argentina. Los suelos de los bajos y planos aluviales son Natracuoles y Natracualfes Típicos franco limosos o franco arcillo limosos, a menudo erosionados y están dedicados a la cría de ganado vacuno en forma de pastoreo directo todo el año (INTA, 1973).

b) Características de los sitios experimentales y de los muestreos realizados. Se realizaron 8 muestreos estacionales de agua en la cuenca media del Arroyo del Tala y en áreas aledañas durante 2004-2005 con una frecuencia trimestral. Se muestrearon pequeñas depresiones (de menos de 100 m^2 de superficie y volúmenes generalmente menores a 50 m^3 (Fig. 2), en las cuales se acu-

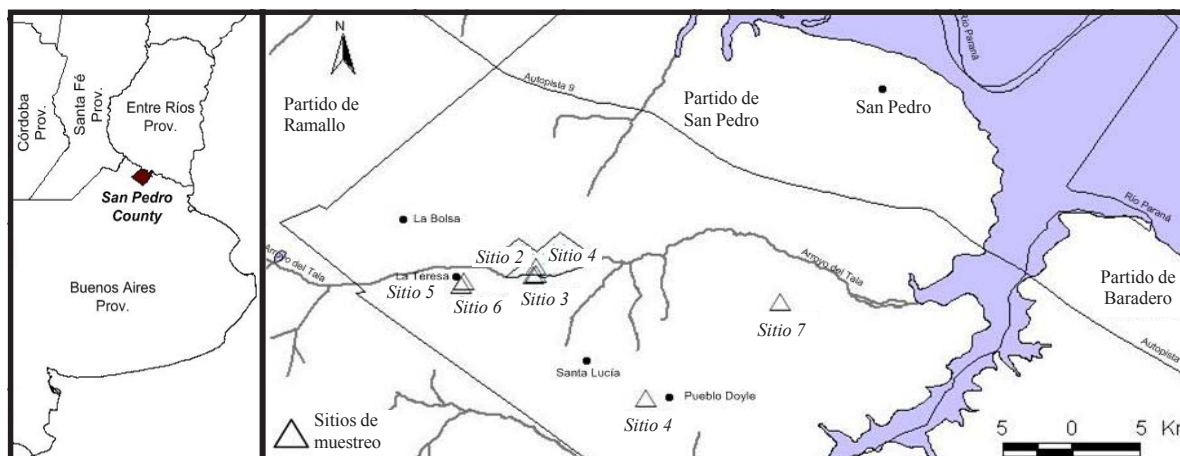


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo correspondientes a la cuenca del Arroyo del Tala y áreas aledañas en la provincia de Buenos Aires, Argentina. El área sombreada en los sitios 1, 2 y 3 corresponde al establecimiento Los Patricios de la Universidad de Buenos Aires.

Figure 1. Location of the sampling sites at the Tala River basin and surrounding areas in Buenos Aires Province, Argentina. The shaded area in sites 1, 2 and 3 corresponds to the farm Los Patricios of the University of Buenos Aires.

mulaban agua y sedimentos generados por erosión hídrica, ubicadas a lo largo de pequeños cursos de agua intermitentes y/o permanentes que atraviesan tierras bajo uso ganadero. Este tamaño de depresiones es el más frecuentemente observado en la región si bien existen otras de mayor volumen y superficie que no fueron considerados en este estudio.

Los sitios experimentales incluyeron campos ganaderos extensivos con diversa carga animal (sitios 1-6) y un «feedlot» (sitio 7). La carga animal variaba entre 200 y 15.000 kg de peso vivo por hectárea (Tabla 1) y fue calculada para cada lote en el que se encontraban las depresiones bajo estudio con influencia directa sobre dichas depresiones.



Figura 2. Ejemplo de una pequeña cubeta de acumulación de agua de escurrimiento (<math><100\text{ m}^2</math> de superficie y <math><50\text{ m}^3</math> de volumen) ubicada en el plano aluvial del Arroyo del Tala. Se advierten signos de erosión hídrica severa.

Figure 2. Example of a small depression of runoff water (<math><100\text{ m}^2</math> surface and <math><50\text{ m}^3</math> volume) located in the floodplain of the Tala River. Signs of severe water erosion are evident.

Las muestras de agua fueron recogidas en recipientes estériles de 500 cm³ por triplicado en cada uno de los 7 sitios estudiados, durante una misma jornada de muestreo, luego de simular la remoción de los sedimentos del fondo que ejercería un vacuno al ingresar a dichos sitios. Las mismas se mantuvieron refrigeradas y en menos de 24 hs fueron analizadas en laboratorio.

Las muestras de agua del arroyo se tomaron en la parte central de su curso principal a la altura del campo de la Universidad de Buenos Aires. Además, a modo de testigo se recolectó agua para bebida animal proveniente de un molino ubicado en las tierras ganaderas del mismo campo.

c) Mediciones climáticas e hidrológicas. Las lluvias se registraron con dos estaciones meteorológicas automáticas (34°48'25"S; 59°54'37"W y 33°50'36,75"S; 59°45'13,51"W) y diversos pluviómetros ubicados en el área de trabajo, y se controlaron con un equipo situado en la Estación Experimental San Pedro del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Los escurrimientos extraordinarios a que hace referencia la Figura 3 se midieron a través de un limnógrafo automático ubicado en el cauce principal del Arroyo del Tala en un sitio cuya cuenca de

aporte es de 409 km² y corresponde a la cuenca media del arroyo. Las alturas fueron luego transformadas a caudal mediante una curva confeccionada especialmente para esa área por nuestro equipo de trabajo. Ese sitio está ubicado en el arroyo próximo a los puntos de muestreo 1, 2 y 3 de la Figura 1.

d) Análisis de aguas y sedimentos gruesos. Se analizó la presencia de indicadores de contaminación fecal animal o humana en aguas y en los sedimentos gruesos contenidos en las mismas aguas.

Una vez en el laboratorio las muestras se dejaron sedimentar durante 10 minutos y luego se separó por decantación el sedimento grueso del líquido sobrenadante. El sedimento grueso fue resuspendido en agua destilada y agitado durante dos horas en frío. Estas últimas muestras se dejaron sedimentar nuevamente por 10 minutos y se tomó una alícuota del líquido sobrenadante. Las aguas sobrenadantes (la inicial y la obtenida a partir de la resuspensión de los sedimentos) fueron inoculadas en placas de medios selectivos y diferenciales o en tubos para determinar el número de microorganismos viables por la técnica de recuento en placa o de número más probable, respectivamente (APHA *et al.*, 1998). Los medios

Tabla 1. Concentración de microorganismos en muestras de agua y sedimentos que se obtuvieron sistemáticamente durante 2004 y 2005 en los sitios experimentales estudiados.

Table 1. Concentration of microorganisms found in water and sediment accumulated in depressions that were sampled during 2004 and 2005.

Sitio experimental	Carga animal media (kg ha ⁻¹) ⁽¹⁾	Medida estadística	Microorganismos (UFC ml ⁻¹)		
			Mesófilos viables	Coliformes totales	Enterococos y estreptococos fecales
Arroyo	indeterminada	Media ⁽²⁾	6.474	650	- ⁽⁴⁾
		Desvío estándar ⁽²⁾	9.513	790	-
		Concentr. máxima ⁽²⁾	27.000	2.400	-
		Media ⁽³⁾	7,839 a	6,041 a	-
1, 2, 3	200	Media ⁽²⁾	46.444	1.114	36
		Desvío estándar ⁽²⁾	137.135	1.592	70
		Concentr. máxima ⁽²⁾	540.650	5.030	258
		Media ⁽³⁾	8,644 a	5,706 a	2,661 a
4	300	Media ⁽²⁾	36.682	1.251	52
		Desvío estándar ⁽²⁾	78.293	2.465	118
		Concentr. máxima ⁽²⁾	228.000	7.300	319
		Media ⁽³⁾	8,389 a	5,859 a	2,967 a
5, 6	400	Media ⁽²⁾	77.643 (b)	2.294 (ab)	115 (b)
		Desvío estándar ⁽²⁾	124.530	3.347	314
		Concentr. máxima ⁽²⁾	390.320	10.300	1.060
		Media ⁽³⁾	10,601 b	6,760 ab	3,149 a
7	15.000	Media ⁽²⁾	175.387	21.607	1.135
		Desvío estándar ⁽²⁾	238.988	37.051	2.463
		Concentr. máxima ⁽²⁾	621.000	95.000	6.700
		Media ⁽³⁾	10,998 b	8,199 b	5,151 b

(1) La carga animal media se calculó en función del lote ganadero más cercano al sitio de muestreo con influencia directa sobre la calidad del agua superficial. No se le asignó carga animal al agua del arroyo ya que la misma integra a toda la cuenca media en el sitio de muestreo. (2) Valores sin transformar correspondientes a 8 muestreos estacionales sucesivos durante 2004-2005. (3) Valores transformados a logaritmos naturales. Medias seguidas con la misma letra dentro de una misma columna no difieren estadísticamente ($p > 0,05$). (4) Valores no detectables.

de cultivo empleados fueron: agar-tripteina-soja para micro-organismos mesófilos viables; agar-McConkey para coliformes totales y agar-Slanetz-Bartley para estreptococos y enterococos fecales. La concentración de los microorganismos estudiados correspondiente a cada muestra se expresó como la suma de las concentraciones determinadas en el sobrenadante inicial (fase principalmente líquida) y en el sobrenadante obtenido a partir de la resuspensión de los sedimentos gruesos (fase principalmente sólida). En aquellos casos en que la cantidad de sedimentos gruesos resultó despreciable, la concentración total de microorganismos de la muestra se calculó solamente a partir de la fase inicial. Los resultados se expresaron en relación al volumen original de 500 cm³ de cada muestra. La concentración de sólidos totales se obtuvo a través de la determinación del peso del residuo seco obtenido por evaporación de una alícuota de cada muestra.

e) Metodología estadística. Se empleó análisis de regresión y correlación lineal, con el objeto de relacionar entre sí las variables biológicas e hidrológicas. Se empleó análisis de variancia previa transformación de los datos a logaritmo natural, para comparar la contaminación asociada a diferentes cargas animales (Snedecor & Cochran, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La carga media de microorganismos en las aguas y sedimentos superficiales acumulados en pequeñas depresiones fue de: $9,710^4$ UFC mL⁻¹ de mesófilos viables, 3×10^3 UFC mL⁻¹ de coliformes y $2,4 \times 10^2$ UFC mL⁻¹ de estreptococos y enterococos fecales. El coeficiente de variación de dichas cargas bacterianas fue cercano al 200% indicando importantes variaciones tanto espaciales como temporales. No se detectó la presencia de estreptococos o enterococos fecales en el agua del molino ni en el agua del arroyo, lo que indica que dichas aguas no presentaban un nivel de contaminación fecal importante.

La concentración de sólidos totales (principalmente sedimentos gruesos) presentes en las muestras de agua de las depresiones fue de $5,4$ g L⁻¹ con un coeficiente de variación total de 100%. Esta concentración dependía principalmente de la remoción del fondo al momento de toma de la muestra de agua, la cual fue realizada en forma similar en todos los muestreos.

Se observó que la concentración media de microorganismos indicadores de contaminación fecal presentes en los sitios bajos estaba directamente relacionada con la carga animal media de los lotes en los que se encontraban (Tabla 1). En tal sentido, Tian *et al.* (2002), señalan que un vacuno de 450 kg produce en promedio 12,3 unidades de excremento por día con un contenido promedio de $1,3 \times 10^9$ UFC de *Escherichia coli* por cada «torta».

Los coeficientes de variación en cada sitio oscilaron entre el 150 y 250%, independientemente de la carga

animal. Esta variabilidad estuvo principalmente asociada a los diferentes momentos de muestreo ya que la carga animal se mantuvo relativamente constante en el tiempo en cada una de los sitios estudiados. Los valores máximos obtenidos muestran que el riesgo de contagio con potenciales patógenos resultaría elevado en algunos períodos del año, aún en planteos con baja carga animal.

En un trabajo previo Chagas *et al.* (2007) se corroboró la acción del escurrimiento superficial como vehículo de recarga de agua, sedimentos y contaminantes biológicos, mediante ensayos de lluvia simulada. Este experimento se llevó a cabo en dos situaciones extremas de carga animal: intensiva y extensiva. La lluvia simulada aplicada sobre el sitio 1 (campo natural) con una carga animal de 200 kg h⁻¹, arrojó los siguientes valores: escorrentía: 58%; concentración de sedimentos finos: 1 g L⁻¹, microorganismos mesófilos viables: $7,7 \times 10^4$ UFC mL⁻¹; coliformes totales: $6,8 \times 10^3$ UFC mL⁻¹; enterococos y esteptococos fecales: 10 UFC mL⁻¹ de escurrimiento. Por su parte, la lluvia simulada aplicada sobre el sitio 7 (feedlot) con una carga animal de 15.000 kg ha⁻¹ arrojó los siguientes valores: escorrentía: 70%, concentración de sedimentos finos: 13,2 g L⁻¹, microorganismos mesófilos viables: $7,8 \times 10^4$ UFC mL⁻¹; coliformes totales: $9,5 \times 10^3$ UFC mL⁻¹; enterococos y esteptococos fecales: $8,9 \times 10^2$ UFC mL⁻¹ de escurrimiento. Cabe destacar que los sedimentos generados mediante dicha lluvia simulada eran finos del tamaño de arcillas y limos. Esto es razonable dada la escasa capacidad de transporte de sólidos que caracteriza a la erosión laminar (Nearing *et al.*, 1990). Es evidente que los sedimentos gruesos presentes en las depresiones aquí estudiadas, son sucesivamente acumulados y retransportados principalmente por escurrimientos extraordinarios de gran capacidad de movilización.

Habiéndose corroborado que el escurrimiento superficial constituía el vehículo de transporte de diversos contaminantes biológicos, se relacionó su variabilidad temporal con parámetros climáticos e hidrológicos medidos en la cuenca media del arroyo estudiado (Tabla 2). La temperatura diaria promedio de los diez días anteriores al muestreo no presentó una asociación significativa con la calidad microbiológica de las aguas acumuladas en las depresiones, a pesar de ser una variable importante para la actividad biológica en general. En cambio, se obtuvieron correlaciones significativas entre algunas variables hidrológicas asociadas al escurrimiento superficial y la calidad del agua. Por ejemplo, el número de días transcurridos desde el último escurrimiento registrado en la cuenca media se asoció positivamente ($p < 0,01$) con la concentración de enterococos y estreptococos fecales en aguas y sedimentos de los sitios estudiados (ecuación de regresión: $y = 7,844x - 122,62$; siendo $y =$ la concentración de enterococos y estreptococos fecales en UFC mL⁻¹; siendo $x =$ días transcurridos desde el último escurrimiento en la

cuenca. Ello es destacable teniendo en cuenta el alto valor diagnóstico de este grupo de microorganismos como indicador de contaminación fecal. Esta relación estaría indicando que, mientras más tiempo transcurra luego de un escurrimiento extraordinario en la cuenca del Arroyo del Tala, mayor concentración de enterococos y estreptococos fecales habría en las aguas y sedimentos en los sitios de acumulación. La concentración máxima se alcanzó cuando transcurrieron 119 días luego del último escurrimiento.

La intensidad de la última precipitación previa a un muestreo se asoció con la concentración de coliformes totales en los sitios de acumulación. Esta relación fue leve al considerar la totalidad de los datos recogidos ($p < 0,10$) (ecuación de regresión: $y = 185,79x + 339,02$; siendo $y =$ la concentración de coliformes totales en UFC mL⁻¹; siendo $x =$ intensidad de la lluvia previa en mm día⁻¹). Sin embargo, esta relación se tornó significativa ($p < 0,05$) al considerar exclusivamente el *feedlot*, el cual se caracterizaba por su alta concentración de contaminantes (Tabla 1). La pendiente positiva estaría indicando que, mientras mayor sea la intensidad de la lluvia previa (escurrimientos ordinarios en Fig. 3), mayor concentración de coliformes totales habría en las aguas y sedimentos en los sitios de acumulación. La concentración máxima se alcanzó cuando la intensidad de lluvia previa fue de 54 mm día⁻¹. Igual tendencia encontraron Emiliani *et al.* (1999) al analizar coliformes en las aguas poco profundas del río Salado (Santa Fe, Argentina) en relación a las lluvias recientes ocurridas en dicha cuenca.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema de depresiones presentes en la red de drenaje estudiada, estaría sufriendo sucesivas cargas y descargas de contami-

nantes (Fig. 3). El aumento de carga se produciría por escurrimientos localizados (ordinarios) que lavarían las superficies del campo y llevarían agua, sedimentos finos y microorganismos hacia los sitios de acumulación (Lal & Elliott, 1994; Chagas *et al.*, 2007). Una vez allí, se produciría una intensa asociación e interacción entre los sedimentos gruesos ya presentes y los microorganismos movilizados (Chagas *et al.*, 2006), lo cual podría inclusive favorecer la supervivencia de los potenciales patógenos presentes en el agua (Sherer *et al.*, 1992). Esta acumulación podría continuar hasta que una lluvia suficientemente intensa y/o producida en un escenario de suelo previamente húmedo, hiciera escurrir a todo el sistema de microcuencas y subcuencas (escurrimientos extraordinarios) los que a su vez arrastrarían hacia el curso principal del arroyo, tanto a los sedimentos finos como a los gruesos acumulados en las depresiones. A partir de ese momento comenzaría un nuevo ciclo de recarga de sedimentos y contaminantes biológicos asociado a las nuevas lluvias en las mencionadas depresiones y/o cubetas.

Este mecanismo también se pudo corroborar al comparar la magnitud del lavado que provocaron dos lluvias extraordinarias de distinta intensidad en la cuenca estudiada: una de gran volumen e intensidad correspondiente al verano del año 2004 provocó un lavado mucho más pronunciado del sistema de depresiones que una lluvia de menor intensidad del período estival 2005 (Tabla 3). Dos hechos permiten atribuir estos resultados a lavados diferenciales, y descartar así un simple efecto de dilución. Por un lado, el volumen escurrido excedió largamente la capacidad de embalse de las microdepresiones, las cuales se encontraban igualmente colmadas de agua en ambas

Tabla 2. Coeficientes de correlación lineal entre algunas variables meteorológicas e hidrológicas medidas durante 2004 y 2005 y la concentración de microorganismos en las muestras de agua y sedimentos extraídos de las hoyadas y cubetas estudiadas.

Table 2. Linear correlation coefficients between some meteorological and hydrological variables measured during 2004 and 2005 and microorganism concentration in water and sediments from the depressions.

VARIABLES meteorológicas e hidrológicas	Mesófilos viables (UFC mL ⁻¹)	Coliformes totales (UFC mL ⁻¹)	Enterococos y estreptococos fecales (UFC mL ⁻¹)
Temperatura ambiente media (°C)	-0,319	-0,036	0,261
Días desde última lluvia previa al muestreo	-0,346	0,041	-0,463
Intensidad de lluvia previa al muestreo (mm)	0,448	<u>0,585</u> ⁽¹⁾	-0,091
Días desde último escurrimiento en la cuenca	-0,066	0,394	<u>0,894</u> ^(xx)
Lluvia que provocó escurrimiento en la cuenca (mm)	-0,246	-0,198	-0,275
Pico de escurrimiento en la cuenca (mm día ⁻¹)	-0,443	-0,157	-0,224

(1) : $p < 0,10$

(xx) : $p < 0,01$

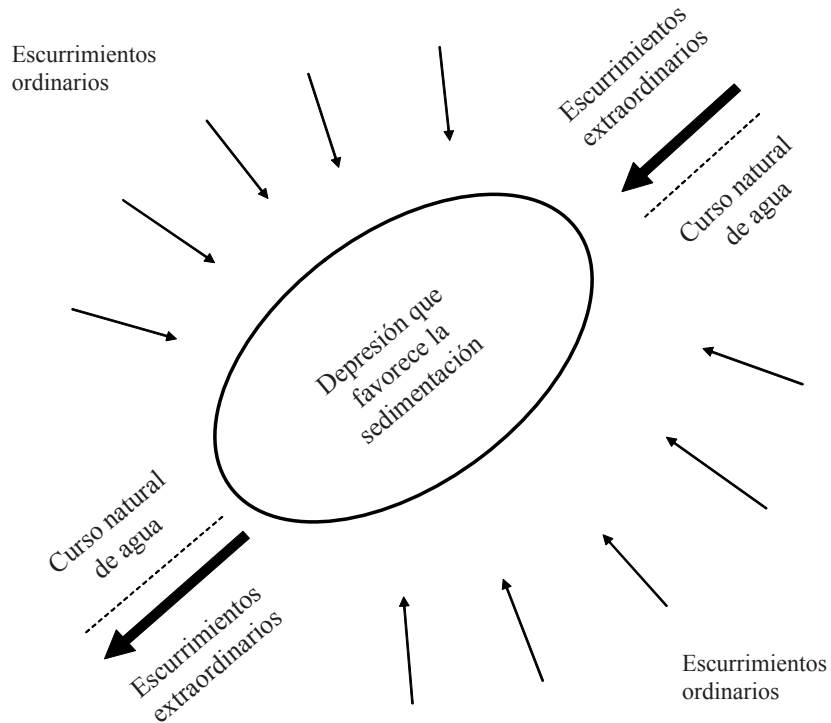


Figura 3. Esquema de entradas y salidas de contaminantes físicos y biológicos en una pequeña depresión de acumulación de agua de escurrimiento.

Figure 3. Input and output flow of sediments and microbiological contaminants in a small depression with runoff water.

Tabla 3. Concentración media de microorganismos en aguas y sedimentos acumulados en depresiones de la red de drenaje, en dos fechas de muestreo con condiciones previas contrastantes desde el punto de vista climático hidrológico (valores no transformados a logaritmos).

Table 3. Mean concentration of microorganisms in water and sediments of small depressions of runoff water for two sampling dates with contrasting climatic and hydrological antecedent conditions at the studied basin (no log transformation).

Variables hidrológicas medidas en la subcuenca			Propiedades microbiológicas de las muestras de agua y sedimentos presentes en las depresiones en las depresiones estudiadas (valores medios de 7 sitios de muestro)			
Fecha de lluvia	Lluvia (mm)	Caudal pico en la subcuenca ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$)	Fecha muestreo de agua	Mesófilos viables (UFC mL^{-1})	Coliformes totales (UFC mL^{-1})	Enterococos y estreptococos fecales (UFC mL^{-1})
31 Ene 04	159	30	24 Feb 04	3.644	321	78
31 Ene 05	72	5	20 Feb 05	33.154	2.625	115

fechas de muestreo. Por otro lado, los muestreos incluyeron la remoción manual enérgica de los sedimentos del fondo que son la principal fuente de microorganismos de las muestras de agua (Chagas *et al.*, 2006). Si las lluvias solo hubieran provocado una simple dilución, estos sedimentos no hubieran modificado tan marcadamente su carga bacteriana.

Con respecto a la supervivencia de los microorganismos en los pequeños cuerpos de agua estudiados, puede advertirse que las variables hidrológicas que se asociaron a las concentraciones de enterococos y estreptococos fecales por un lado y a los coliformes totales por otro, marcarían un comportamiento diferencial entre ambos grupos de microorganismos. Debe tenerse en cuenta que los coliformes totales poseen menor supervivencia en el ambiente externo al animal que lo generó, en comparación con los enterococos y estreptococos fecales (OMS, 1995). Al tener los coliformes menor tasa de supervivencia relativa, su concentración en las microcuencas estaría asociada principalmente al aporte provocado por las lluvias recientes (escurrimientos «ordinarios» en Fig. 3). En cambio, la mayor supervivencia relativa del grupo de enterococos y estreptococos fecales, los haría sensibles a eventos más lejanos en el tiempo y menos frecuentes (escurrimientos «extraordinarios» en Fig. 3).

CONCLUSIONES

El modelo físico propuesto de entradas y salidas de microorganismos permitió identificar en forma simple, la dinámica de recarga/descarga de indicadores de contaminación fecal en pequeñas depresiones de acumulación de agua y sedimentos de una red de drenaje de tierras de uso ganadero de la Pampa Ondulada. Las recargas se producirían a través de escurrimientos superficiales de tipo mantiforme mientras que la descarga de los mismos sería a través de escurrimientos más intensos y concentrados.

La carga animal de los lotes con influencia sobre las depresiones se relacionó estrechamente con la concentración de microorganismos de sus aguas colmadas con sedimentos «gruesos» de difícil transporte superficial. La concentración más elevada de microorganismos correspondió a una explotación intensiva tipo *feedlot* (15.000 kg de peso vivo ha⁻¹) mientras que la mínima se asoció a sistemas de pastoreo extensivo de baja carga animal (200 kg de peso vivo ha⁻¹). Sin embargo, dada la elevada variabilidad temporal en todas las situaciones analizadas, se concluye que, aun en explotaciones con baja carga animal, debería evitarse el contacto y/o ingesta por parte de

animales jóvenes o de otras categorías susceptibles, con los escurrimientos acumulados en depresiones similares a las estudiadas.

Algunas variables hidrológicas regionales como la intensidad de las lluvias previas (en el caso de microorganismos coliformes totales) y el lapso de tiempo transcurrido desde el último escurrimiento significativo a nivel de la cuenca (en el caso de enterococos y estreptococos fecales), resultaron sensibles para predecir la dinámica de la concentración de microorganismos en los sitios de acumulación estudiados. Esta diferencia de comportamiento frente a las variables hidrológicas mencionadas podría asociarse a diferencias en las tasas de supervivencia fuera del intestino animal de cada uno de los grupos de microorganismos estudiados.

Los resultados obtenidos podrán servir como base para el futuro diseño de alertas tempranas de contaminación biológica en la región y en áreas bajo uso ganadero con procesos de erosión hídrica y potencial contaminación biológica similares a los de la Pampa Ondulada argentina.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado mediante los proyectos de investigación UBACYT G045 y G016 de la Universidad de Buenos Aires.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA (American Public Health Association), American Water Works Association, Water Environment Federation, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. American Public Health Association, Washington D. C.
- Bujan, A; OJ Santanatoglia; CI Chagas; M Massobrio; M Castiglioni; M Yañez; H Ciallella & J Fernández. 2003. Soil erosion evaluation in a small basin through the use of ¹³⁷Cs technique. *Soil Till. Res.* 69(1-2): 127-137.
- Chagas, CI. 2007. Calidad y contaminación del agua superficial como recurso para bebida animal en una cuenca representativa de Pampa Ondulada. Tesis Doctoral (Área Toxicología). Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, 9 de agosto de 2007.
- Chagas, CI; J Moretton; OJ Santanatoglia; M Paz; H Muzio; M De Siervi & MG Castiglioni. 2006. Indicadores de contaminación biológica asociados a la erosión hídrica en una cuenca de Pampa Ondulada, Argentina. *Ciencia del Suelo* 24: 21-27.
- Chagas, CI; MV Piazza; M De Siervi; OJ Santanatoglia; J Moretton; M Paz; MG Castiglioni & C Iruetia. 2007. Calidad de agua de escorrentía superficial en sistemas ganaderos extensivos e intensivos de Argentina. *Agrochimica* LI (2-3): 130-136.

- Chagas, CI; OJ Santanatoglia; MG Castiglioni; MJ Massobrio; A Bujan & C Irurtia. 2008. Número de curva de escurrimiento para una microcuenca de Pampa Ondulada bajo labranza convencional y siembra directa. *Ciencia del Suelo* 26: 71-79.
- Emiliani, F; R Lajmanovich; MA Acosta & S Bonetto. 1999. Variaciones temporales y espaciales de coliformes y de *Escherichia coli* en aguas recreativas fluviales (Río Salado, Santa Fe, Argentina). Relación con los estándares de calidad. *Revista Argentina de Microbiología* 31: 142-156.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1973. Carta de Suelos. Hoja 3360-33. Pérez Millán, Buenos Aires, Argentina. E=1:50.000. 45 PP.
- Lal, R & W Elliott. 1994. Erodibility and erosivity. In: Lal, R. (ed.) Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa 50021-9764. USA. 2° Edition. PP 181-208.
- Nearing, MA; LJ Lane; EE Alberts & JM Laflen. 1990. Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1702-1711.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1995. Guías para la calidad del agua potable 2° Edición Vol. 1 Recomendaciones OMS Ginebra.
- Ongley, E. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 55, FAO, Roma. 116 PP.
- SAGPyA (Secretaría de Ganadería, Agricultura, Pesca y Alimentación), 1995. El deterioro de las tierras en la República Argentina. 288 PP.
- Santanatoglia, OJ; CI Chagas; EA Rienzi; MG Castiglioni & R Sbatella. 1996. Características de los sedimentos producidos por erosión hídrica en una microcuenca del Arroyo del Tala, provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 14: 42-46.
- Santanatoglia, OJ; A de Iorio; CI Chagas; M Massobrio; A Rendina; M Castiglioni & M Bargiela. 2006. Escurrimiento, sólidos totales y propiedades químicas del agua del Arroyo del Tala (San Pedro, Buenos Aires, Argentina). *Revista de la Facultad de Agronomía* 26: 121-131.
- Sherer, BM; JR Miner; JA Moore & JC Buckhouse. 1992. Indicator bacterial survival in stream sediments. *J. Environ. Quality* 21: 591-595.
- Sheridan, JM. 1994. Hydrograph time parameters for flatland watersheds. *Trans. ASAE* 37: 103-113.
- Snedecor, GW & WG Cochran. 1980. Statistical methods, 7th Edn. Iowa University Press.
- Tian, YQ; P Gong; JD Radke & J Scarbrough. 2002. Spatial and temporal modeling of microbial contamination on grazing farmlands. *J. Environ. Quality* 31: 860-869.