

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA PRECIPITACIÓN Y DISTINTAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN UN ARROYO DE LA “PAMPA ONDULADA”.

S. Arreghini ^{1,2}, L. de Cabo ², R. Seoane ³, R. Serafini², A. F. de Iorio ¹
(¹) FAUBA, (²) MACN (³) INA

Av. Angel Gallardo 470 (1405) Buenos Aires, Argentina. TE: 4982-9410 FAX:4982-5243 sarreghi@agro.uba.ar
ldecabo@macn.gov.ar

RESUMEN

Este estudio examina la variabilidad en la composición química del agua superficial del Ao. Choza en relación al aporte de contaminantes y al efecto de las precipitaciones en escala diaria. El arroyo tiene 30km de longitud y su cuenca abarca aproximadamente 260km² de una llanura con suave pendiente, dedicada principalmente a ganadería y agricultura. Los sitios de muestreo se ubican: 21,5km (S1), a 11km (S2) y a 3,5km (S3) aguas arriba de la desembocadura en el embalse Roggero. S3 recibe aportes puntuales de contaminantes. Los sitios fueron muestreados antes (Dic98 y Jun98) y después (Mar99 y Jul99) de eventos de precipitación. Se determinaron las principales variables físico-químicas, altura del agua en el cauce y se recabaron datos de precipitación diaria y se calculó la precipitación efectiva (PPEF). Los eventos de precipitación produjeron en general incrementos de oxígeno y nitratos y decrecimiento de transparencia, de iones mayoritarios y de conductividad sugiriendo dilución. En los muestreos con PPEF (Mar99:7,8mm y Jul99:9,5mm) se evidencia la contaminación difusa por escorrentía, a través del incremento de fósforo en S1 y S2 y de sólidos suspendidos en S2 y S3 (los dos sitios con mayor área de aporte). En S3 la contaminación puntual se hace evidente en época seca a través de los elevados valores de amonio, fósforo y la disminución de oxígeno. Las concentraciones de la mayoría de las variables medidas se hacen semejantes en todos los sitios luego de las precipitaciones. Estos resultados indican la necesidad de tener en cuenta los efectos de la lluvia en el momento del muestreo, para la evaluación adecuada de la contaminación de las aguas en un arroyo de bajo caudal.

Palabras claves: escorrentía, nutrientes, precipitación, contaminación.

INTRODUCCION

La composición química del agua de un río está determinada por el caudal, la escorrentía, el uso de la tierra, el tipo de suelo, geomorfología, topografía, y por la actividad de los organismos de su cuenca de drenaje. Las márgenes de los ríos han sido drásticamente transformadas por el hombre durante siglos, especialmente en los países de climas templados (Prat y Ward, 1994). Al principio, la vegetación riparia y las comunidades acuáticas naturales de las planicies aluviales fueron convertidas a sistemas agrícolas por deforestación y relleno de tierras bajas. Luego, con el incremento de la población, fueron convertidas en áreas industriales o residenciales. La principal vía de contaminación de las aguas superficiales es a través del aporte por erosión desde los suelos adenaños, y también por flujo durante las tormentas (Honisch *et al.*, 2002).

Debido al avance de la frontera agrícola y de los límites urbanos, los ecosistemas naturales de pradera en la Región Pampeana prácticamente han desaparecido (Solbrig, 1999; Morello y Mateucci, 1999a). Las zonas riparias de varios arroyos de la Provincia de Buenos Aires han sido completamente modificadas (Faggi *et al.*, 1999). El Río Reconquista es un río de llanura de la "Pampa Ondulada" y pertenece a la gran Cuenca del Plata. Este río junto con el Río Matanza, cuya cuenca es contigua y presenta características geomorfológicas e hidrológicas y de uso de la tierra semejantes, son los más poluídos del país (Borthagaray *et al.*, 2001). Ambos desembocan en el Río de la Plata, que constituye la principal fuente de agua de la Ciudad de Buenos Aires y alrededores. Sus cuencas están comprendidas dentro de un área crítica con respecto al estado de conservación de las ecorregiones de agua dulce de América Latina (Olson *et al.*, 1998). La contaminación superficial y subterránea resulta uno de los problemas críticos para la sustentabilidad rural de esta región (Morello y Matteucci, 1999b). Sin embargo, hasta el momento son escasos los estudios limnológicos en esa área. En particular no existen datos éditos sobre uno de los afluentes del Río Reconquista, el Arroyo La Choza.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la variabilidad en la composición química del agua superficial del Arroyo La Choza por efecto de las precipitaciones y en relación con el aporte de contaminantes.

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio

El Arroyo La Choza es uno de los principales afluentes del Río Reconquista (Figura 1). Su cuenca de drenaje abarca un área de 260 km² y su longitud es de 30 km. El relieve comprende llanos muy planos y lomas extendidas (aproximadamente 20 m.s.n.m.). La pendiente de la cuenca es 0.05%. El uso principal de la tierra es ganadero con pasturas naturales, y con menor importancia agrícola (<http://www.indec.mecon.ar>).

De acuerdo a la clasificación de Köppen la región está caracterizada por un clima templado húmedo con precipitaciones medias anuales de 1055 mm para el período 1961-1990. Las precipitaciones máximas y mínimas ocurren en marzo (125 mm/mes) y en junio (56 mm/mes), respectivamente. Las temperaturas máximas se registran en enero (24,3°C) y las mínimas en julio (11,1°C) (Secretariat of the World Meteorological Organization, 1996). El período con exceso hídrico se extiende desde marzo hasta noviembre (INTA, 1997). Los sitios de muestreo se ubican a 21,5 km (S1), a 11 km (S2) y a 3,5 km (S3) aguas arriba de la desembocadura del arroyo en el embalse Roggero (Figura 1). S3 recibe descargas puntuales de camiones atmosféricos. Se realizaron cuatro muestreos, dos en condiciones de caudal base, antes de eventos de precipitación: Dic-98 y

Jun-99, y los dos restantes con precipitación efectiva (PPEF), después de eventos de precipitación: Mar-99 y Jul-99. El caudal base del arroyo medido en S3 fue de $0.73 \text{ m}^3/\text{s}$.

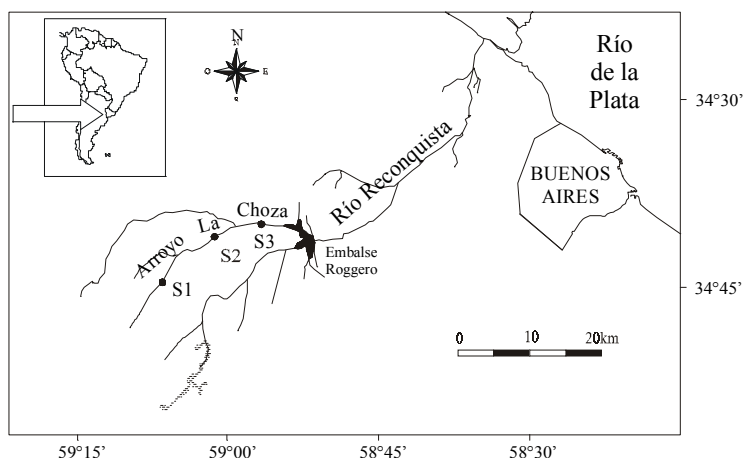


Figura 1. Río Reconquista. Sitios de muestreo: S1, S2 y S3.

Procedimiento analítico

En cada sitio de muestreo se determinó *in situ*: oxígeno disuelto (OD) (oxímetro YSI 51B), pH (peachímetro ORION 250A), conductividad eléctrica (CE) (conductímetro LUFTMAN), temperatura, y transparencia por disco de Secchi. Se tomaron muestras de agua superficial por triplicado; se filtraron a través de filtros Whatman GF/C y se trasladaron al laboratorio en frío para su posterior análisis. Allí se determinaron las concentraciones de nutrientes: fósforo reactivo soluble (PRS) con molibdato ascórbico, nitratos (N-NO_3^-) por reducción con sulfato de hidrazina, nitritos (N-NO_2^-) por diazotación, según Strickland y Parsons (1968). El amonio (N-NH_4^+) fue determinado por el método del indofenol azul (Mackereth *et al.*, 1989). Calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) por titulación con EDTA, sodio (Na^+) y potasio (K^+) por fotometría de llama, bicarbonatos (HCO_3^-) por titulación con heliantina, sulfatos (SO_4^{2-}) por turbidimetría y cloruros (Cl^-) por titulación con nitrato de plata. Todas las determinaciones se realizaron según APHA (1992). Se calculó el contenido de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) como la suma de amonio, nitratos y nitritos. Se determinó la concentración de sólidos suspendidos (SS) por gravimetría.

Análisis estadístico

Se realizaron correlaciones con el índice de Pearson entre las variables medidas ($p < 0.05$). El software usado fue Statistica (1993).

Estimaciones hidrológicas

El caudal base representa la contribución del agua subterránea (Gordon *et al.*, 1994). La precipitación efectiva para cada evento de lluvia (PPEF) representa la escorrentía superficial, y fue estimada por medio de un método de infiltración (Soil Conservation Service, 1972).

La capacidad máxima de almacenamiento del suelo S [mm] se obtuvo mediante:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

donde CN es el número de curva tabulado como una función del tipo de suelo y cobertura vegetal. Para este estudio se adoptó un valor de CN=70. Este valor se encuentra dentro del intervalo de confianza sugerido por McCuen (2002) para cuencas con características similares.

La precipitación efectiva PPEF [mm] fue calculada como:

$$PPEF = \frac{(P - 0.2S)}{P + 0.8S}$$

donde P [mm] es la precipitación total obtenida como la suma de las precipitaciones diarias correspondientes al evento estudiado. Los registros de precipitación diaria corresponden a un pluviómetro cercano (a 15 km del sitio de muestreo).

RESULTADOS Y DISCUSION

En los muestreos de Mar-99 y Jul-99 se estimó una PPEF de 7,8 mm y 9,5 mm, respectivamente. Sin embargo, no se registraron incrementos importantes en la profundidad del arroyo en los sitios S1 y S2, debido a la forma más aplanada del cauce en esos sitios (Tabla 1).

Tabla 1. Variables fisico-químicas medidas en el agua superficial del Arroyo La Choza.

	S1			S2			S3		
	media	min	max	media	min	max	media	min	max
OD (mg/l)	7,4	4,8	15,0	3,7	3,2	4,1	1,4	0,0	3,3
Temperatura (°C)	17,4	8,6	28,5	15,1	8,1	20,4	15,9	8,2	21,0
pH	8,3	8,0	8,9	8,2	7,8	8,5	8,0	7,6	8,2
CE (μS/cm)	1067	228	2057	1097	344	2017	969	387	1783
Profundidad (m)	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,6	1,2	1,0	1,5
Secchi (m)	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,5
SS (mg/l)	56	44	73	54	15	130	44	21	69
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,38	0,11	1,01	0,25	0,06	0,51	6,45	0,24	14,21
N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,18	0,03	0,49	0,12	0,03	0,25	0,19	0,00	0,37
N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,04	0,03	0,04	0,03	0,00	0,07	0,05	0,00	0,08
PRS (mg/l)	0,23	0,13	0,37	0,26	0,10	0,38	1,84	0,48	3,92
Ca ²⁺ (mg/l)	13,9	3,6	32,6	16,5	3,0	31,7	16,1	8,9	26,8
Mg ²⁺ (mg/l)	12,9	4,9	20,6	13,3	5,0	21,5	10,6	3,7	16,6
Na ⁺ (mg/l)	191,0	20,8	345,1	193,4	44,5	349,7	150,9	41,9	268,8
K ⁺ (mg/l)	13,4	9,8	16,1	13,6	11,8	15,3	13,7	11,2	16,7
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	418,1	117,9	717,0	446,4	169,8	754,8	475,3	162,7	825,5
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	55,9	14,8	106,2	57,8	19,9	102,2	34,4	18,8	48,6
Cl ⁻ (mg/l)	89,4	7,1	198,8	93,0	14,2	198,8	54,2	15,8	94,7

Los valores medios de oxígeno disuelto del agua superficial del arroyo disminuyeron hacia la desembocadura, en S3 se registró anoxia en Jun-99 (Tabla 1). En S1 no se registraron valores inferiores al límite permitido para la protección de la vida acuática (USEPA; 1986), registrándose

sobresaturación en Dic-98 debido a un florecimiento algal. No se observaron correlaciones significativas entre oxígeno disuelto y temperatura. En S2 y S3, los valores de oxígeno disuelto aumentaron en los muestreos con PPEF (Figura 2).

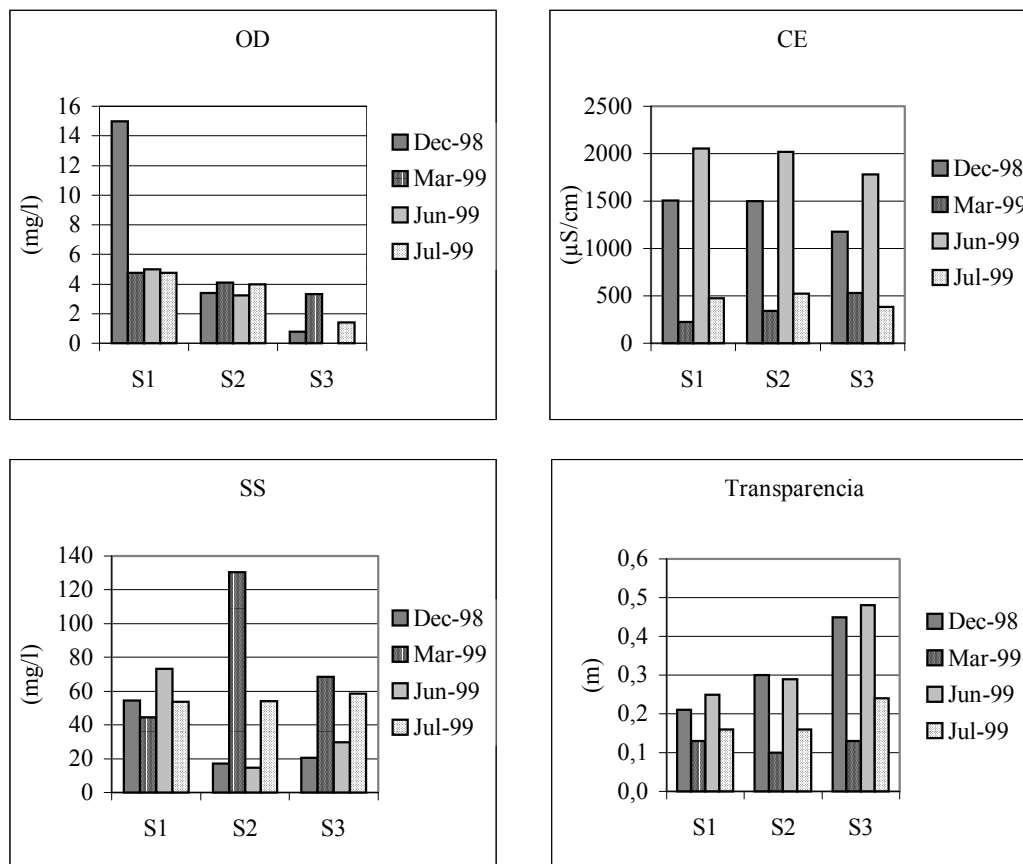


Figura 2. Valores de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos y transparencia por disco de Secchi en las distintas fechas de muestreo.

En promedio, la conductividad eléctrica del arroyo fue de 1044 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En los muestreos con caudal base (Dic-98 y Jun-99) se registraron las mayores conductividades (1178-2057 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mientras que en los muestreos con PPEF la conductividad eléctrica registró los valores mínimos (228-523 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figura 2). Los iones mayoritarios dominantes fueron sodio y bicarbonatos: 7,8 meq/l y 7,3 meq/l en promedio, respectivamente, como también fue reportado para otros ríos de la Pampa Ondulada (Mercado, 1999; Modenutti, 1987; López *et al.*, 1998). Los valores de pH fueron levemente básicos en los tres sitios, con un mínimo de 7,6 y un máximo de 8,9 (Tabla 1). Se observaron correlaciones positivas y significativas entre la conductividad eléctrica y las concentraciones de los iones mayoritarios.

En los muestreos con PPEF se evidencia la contaminación difusa por escorrentía, a través del incremento de sólidos suspendidos en S2 y S3, siendo los sitios con mayor área de aporte. En cambio, en S1 las concentraciones de sólidos suspendidos disminuyeron en los muestreos con PPEF. La transparencia representada por la lectura por disco de Secchi resultó un buen indicio de contaminación difusa por escorrentía, ya que disminuyó en los tres sitios en los muestreos con PPEF (Figura 2). En los muestreos con PPEF, las aguas presentaban una coloración oscura, probablemente producto de sustancias húmicas en suspensión, no tenidas en cuenta en la medición de sólidos suspendidos por gravimetría.

Las principales formas de nitrógeno inorgánico disuelto en el agua del arroyo fueron amonio y nitratos. En S1 y S2 las concentraciones promedio de amonio fueron 0,38 y 0,25 mg/l, respectivamente, alcanzando sólo en una ocasión 1,01 mg/l en S1. En S3 la concentración promedio de amonio fue de 6,45 mg/l y superó los 10 mg/l en los muestreos con caudal base (Tabla 1). En general, las concentraciones de amonio disminuyeron en los muestreos con PPEF respecto a los de caudal base, haciéndose semejantes en los tres sitios de muestreo (Figura 3). En cambio, las concentraciones de nitratos aumentaron en estos muestreos, debido al aumento de oxígeno disuelto, registrándose una correlación significativa ($r=0.64$) entre ambas variables.

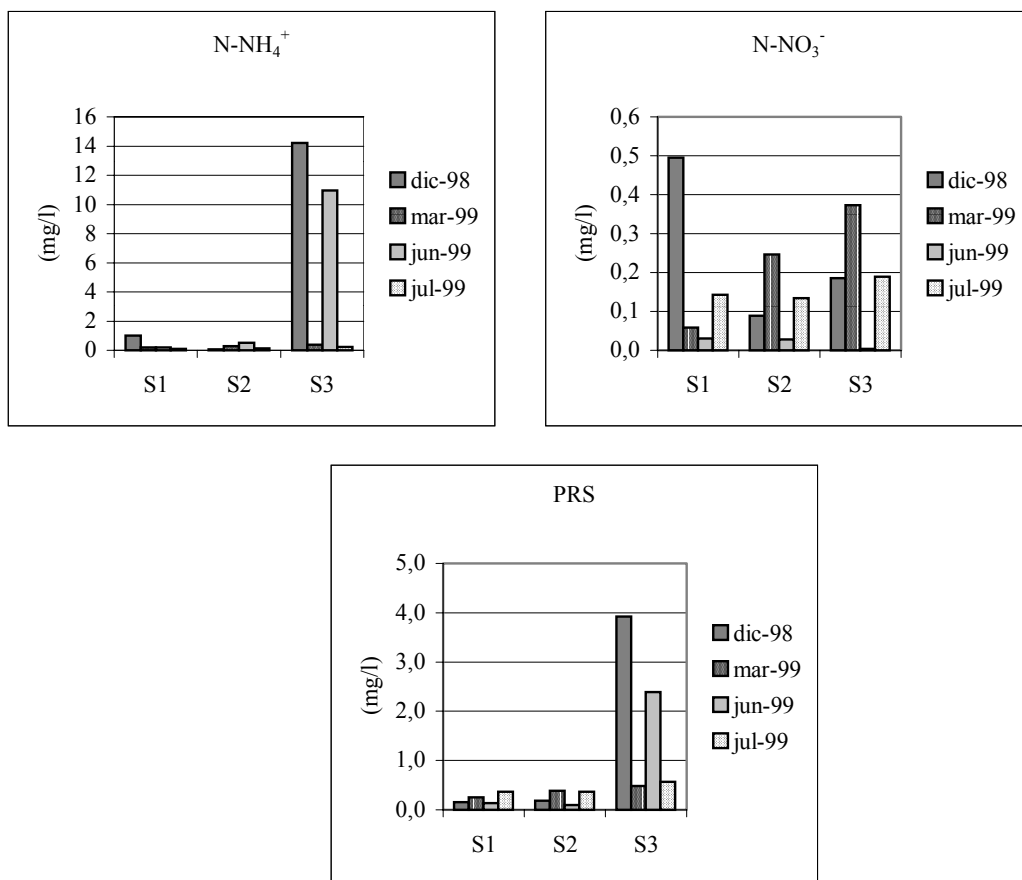


Figura 3. Concentraciones de amonio, nitratos y PRS en las distintas fechas de muestreo.

Las concentraciones promedio de PRS resultaron semejantes en S1 y S2 (0,23 y 0,26 mg/l) y aumentaron en S3 (1,84 mg/l) (Tabla 1). En S1 y S2, se evidencia la contaminación difusa por escorrentía, a través del incremento en las concentraciones de PRS en los muestreos con PPEF respecto de los muestreos con caudal base. Las concentraciones de amonio y PRS en S1 y S2 fueron semejantes a las obtenidas por Arreghini *et al.* (en prensa) en el otro afluente al Río Reconquista (Ao. Durazno). La entrada de nitrógeno y fósforo al agua de un arroyo es característica de la escorrentía en tierras dedicadas a la ganadería y agricultura (Freifelder *et al.*, 1998; Nash y Halliwell, 2000). En S3 las concentraciones de PRS disminuyeron en los muestreos con PPEF, al igual que las concentraciones de amonio (Figura 3), evidenciando un proceso de dilución de la carga puntual de contaminantes vertidos al arroyo en ese sitio.

CONCLUSIONES

Luego de los eventos de precipitación se produjeron incrementos en las concentraciones de oxígeno disuelto y de nitratos, y decrecimiento en la transparencia por efecto de la escorrentía de partículas del suelo y probablemente materia orgánica en suspensión. El decrecimiento de iones mayoritarios y conductividad durante los muestreos con PPEF sugiere su dilución por la entrada masiva de agua por lluvias. Los aumentos en las concentraciones de PRS con las lluvias sugieren procesos erosivos en la cuenca y la movilización de fósforo disuelto al agua de inundación. Las concentraciones de la mayoría de las variables medidas se hacen semejantes en todos los sitios luego de las precipitaciones.

En S3 la contaminación puntual se hace evidente en época seca a través de los elevados valores de amonio, fósforo y la disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto.

Teniendo en cuenta el punto de vista actual sobre el manejo de nutrientes en áreas agrícolas (Schröder *et al.*, 2004), la falta de registros hidrológicos representa un serio inconveniente para el manejo de nutrientes, pesticidas y otros agentes contaminantes. Nuestros resultados indican la necesidad de tener en cuenta los efectos de la lluvia en el momento del muestreo, para la evaluación adecuada de la contaminación de las aguas fundamentalmente en arroyos de bajo caudal.

BIBLIOGRAFIA

- APHA (1992) *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*, 17° ed. Díaz de Santos S.A. Madrid.
- Arreghini, S.; L. de Cabo; R. Seoane; N. Tomazin; R. Serafini y A. F. de Iorio (en prensa) "A influence of rainfall on the discharge, nutrient concentrations and loads of a stream of the "Pampa Ondulada" (Buenos Aires, Argentina). *Limnetica*.
- Borthagaray, J. M.; R. Fernández Prini; A. Igarzabal de Nistal; E. San Román y M. Tudino (2001) *Diagnóstico Ambiental del Area Metropolitana de Buenos Aires. Sistema de Información Ambiental*. Ediciones de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. UBA. Buenos Aires.
- Faggi, A. M.; M. O. Arriaga y S. S. Aliscione (1999) "Composición florística de las riberas del Río Reconquista y sus alteraciones antrópicas". *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, n.s., Vol. I, N° 1, pp. 1-6.
- Freifelder, R. R.; S. V. Smith y R. H. Bennett (1998) "Cows, humans and hydrology in the nitrogen dynamics of a grazed rural watershed". *Journal of Environmental Management*. Vol. LII, pp. 99-111.
- Gordon, B. N. D.; T. A. McMahon y B. L. Finlayson (1994) *Stream Hydrology. An introduction for ecologists*. John Wiley & Sons. New York.
- Honisch, M.; C. Hellmeier y K. Weiss (2002) "Response of surface and subsurface water quality to land use changes". *Geoderma*. Vol. CV, pp. 277-298.
- INTA. (1997) *Cartas de suelos de la República Argentina*. Hoja 3560-18, General Las Heras. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires.
- López, L. C.; A. Magdaleno; L. de Cabo; M. F. Noriega; M. Bassi; S. Arreghini; G. Bassols; M. Wagner y J. Moreton (1998) "Estudios de mutagenicidad, inhibición del crecimiento algal y contaminación química en aguas superficiales de un río urbano de Buenos Aires, Argentina". *International Journal of Environmental Pollution*, Vol. XIV, N° 1, pp. 27-37.
- Mackereth, F.; J. Heron y J. Talling (1989) *Water Analysis: some revised methods for limnologists*, 2nd ed. Freshwater Biological Association, Scientific Publication No. 36. Cumbria, UK.
- McCuen, R. H. (2002) *Approach to confidence interval estimation for curve numbers*. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. VII, N° 1, pp. 43-48.
- Mercado, L. M. (1999) *Consideraciones acerca de la calidad de las aguas de seis sistemas lóticos de la Provincia de Buenos Aires (Argentina)*. Asociación para la Protección de la Naturaleza, Boletín Científico, Volumen XIII, N°38, pp. 10-16.
- Modenutti, B. E. (1987) "Caracterización y variación espacial del zooplancton del Arroyo Rodríguez (Provincia de Buenos Aires, Argentina)". *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Autónoma de México*. Vol. XIV, N°1, pp. 21-28.
- Morello, J. y S. D. Matteucci (1999a) *Biodiversidad y fragmentation de los bosques en la Argentina*. Capítulo 21 en: *Biodiversidad y Uso de la tierra*. S. D. Matteucci, O. T. Solbrig, J. Morello, y G. Halffer (eds). Eudeba, Buenos Aires.

- Morello, J. y S. D. Matteucci** (1999b). *El difícil camino al manejo rural sostenible en la Argentina*. Capítulo 3 en: Biodiversidad y Uso de la Tierra. S. D. Matteucci, O. T. Solbrig, J. Morello, y G. Halfiter. (eds). Eudeba, Buenos Aires.
- Nash, D. M. y D. J. Halliwell** (2000) "Tracing phosphorous transferred from grazing land to water". *Wat. Res.* Vol. XXIV, N° 7, pp. 1975-1985.
- Olson, D. E.; E. Dinerstein; P. Canevari; I. Davidson; G. Castro; V. Morisset; R. Abell y E. Toledo** (1998) "*Freshwater biodiversity of Latin America and the Caribbean: A conservation assessment*". Washington D.C.
- Prat, N. y J. V. Ward** (1994) *The tamed river*. En: *Limnology now. A paradigm of planetary problems*. R. Margalef (ed). Elsevier Science B.V. Amsterdam.
- Schröder, J. J.; D. Scholefield; F. Cabral y G. Hofman** (2004) "*The effects of nutrient losses from agriculture on ground and surface water quality: the position of science in developing indicators for regulation*". *Environmental Science & Policy*. Vol. VII, pp. 15-23.
- Secretariat of the World Meteorological Organization** (1996). *Normales climatológicas para el periodo 1961 - 1990*. Report No. 847.
- Soil Conservation Service** (1972) *National Engineering Handbook*, SCS United States Department of Agriculture. Washington, DC., USA.
- Solbrig, O. T.** (1999) *Biodiversidad, desarrollo económico y sustentabilidad en la pampa argentina*. Capítulo 7 en: Biodiversidad y Uso de la Tierra. S. D. Matteucci, O. T. Solbrig, J. Morello, y G. Halfiter. (eds). Eudeba, Buenos Aires.
- Statistica** (1993) *Statistica for Windows*. Release 4.3. Copyright Statsoft Inc.
- Strickland, J. y T. Parsons** (1968) *A practical Handbook for Seawater Analysis*. Journal Fisheries Research Board of Canada.
- USEPA.** (1986) *Quality criteria for water*. United States Environmental Protection Agency 440/5-86-001. Washington, DC., USA.