

Evaluación del estado trófico de arroyos de la cuenca de Paso Severino (Florida, Uruguay) mediante la utilización del índice biótico TSI-BI

Assessment of trophic conditions of streams at Paso Severino basin (Florida, Uruguay) through the TSI-BI biotic index

Juan Pablo Pacheco ^{a,b,*}, Rafael Arocena ^b, Guillermo Chalar ^b, Patricia García ^b, Mauricio Gonzalez-Piana ^b, Daniel Fabián ^b, Vanesa Olivero ^b, Macarena Silva ^b

Palabras clave: gestión del agua, contaminación ambiental, producción agropecuaria, capacitación rural
Keywords: water managment, environmental pollution, agricultural production, rural training

ABSTRACT

Freshwater macroinvertebrates responds to environmental characteristics and so show their alterations. Therefore, they are often used as biological indicators in water quality studies and environmental monitoring. The trophic state index TSI-BI, created for Santa Lucía river basin, allows to know the trophic status of streams through the composition of aquatic macroinvertebrates. The aim of this study was to evaluate the trophic status of streams in the basin of Paso Severino Reservoir through the macroinvertebrate community, using the TSI-BI index. The reservoir is used as a source of drinking water for the most populated southern region in Uruguay. Dairy farming has lately developed in this area. We selected 10 sub-basins from 2nd - 4th order streams. Samples of macroinvertebrates were collected seasonally during years 2009-2010 with a 500 micrometer-pore hand net. We analyzed the relative abundance and composition of macroinvertebrates and then estimated the trophic status of streams using the TSI-BI index. All the studied streams had high and very high levels of organic pollution within the Eutrophic-Hypertrophic range. Streams with higher trophic state (hypereutrophic) showed a community dominated by Hirudinea and Crustacea while those with lower trophic level showed a greater abundance of Ephemeroptera and Trichoptera. High trophic levels may be indicating that nutrient impact induce changes in the macroinvertebrate community favoring pollution-tolerant organisms dominance. Given the high trophic levels in these streams and considering that they are tributaries of Paso Severino Reservoir, the applied index and current results provide an important tool for local environmental management.

RESUMEN

Los macroinvertebrados acuáticos responden a las características de su ambiente reflejando las alteraciones en el mismo. Por ello, son frecuentemente utilizados como indicadores biológicos en estudios de calidad de agua y monitoreo ambiental. El índice de estado trófico TSI-BI creado para la cuenca del río Santa Lucía, que incluye la cuenca de estudio, permite conocer el estado trófico de los arroyos mediante su composición de macroinvertebrados acuáticos. El objetivo de este trabajo es evaluar el estado trófico de los arroyos de la cuenca del embalse Paso Severino a través de la comunidad de macroinvertebrados mediante el índice TSI-BI. El embalse es utilizado como fuente de agua potable para la zona sur densamente poblada del país. La zona ha tenido un importante desarrollo de la actividad lechera en las últimas décadas. Se seleccionaron 10 subcuencas pertenecientes a arroyos de órdenes 2-4 tomándose muestras estacionales (2009-2010) de macroinvertebrados con red de mano de 500 µm. Se analizaron la abundancia relativa y composición de los macroinvertebrados, estimándose el estado trófico de los arroyos mediante el índice TSI-BI. Todos los arroyos estudiados presentaron niveles altos a muy altos de contaminación orgánica situándose en los rangos eutrófico-hipereutrófico. Los arroyos de mayor estado trófico (hipereutrófico) presentaron una comunidad dominada por Hirudinea y Crustacea, mientras que en los de menor nivel trófico se observó una mayor abundancia de Ephemeroptera y presencia de Trichoptera. Los altos niveles tróficos de los arroyos indicarían la existencia de impacto por nutrientes, que llevó a cambios en la comunidad de macroinvertebrados hacia el dominio de organismos tolerantes a la contaminación. Dado los altos niveles tróficos de estos arroyos, y considerando que son afluentes del embalse de Paso Severino, el índice empleado y los resultados obtenidos constituyen una importante herramienta de gestión ambiental local.

Recibido 30 de marzo de 2012; Aceptado 26 de noviembre de 2012

^a Centro Universitario de la Región Este, Universidad de la República, Uruguay

^b Sección Limnología, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay

* Autor para correspondencia: 00598-99-507-983 juanppacheco@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

Las actividades agropecuarias afectan la calidad de los sistemas acuáticos constituyendo una fuente difusa de entrada de nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo, bacterias fecales y sedimentos (Gillingham & Thorrold 2000; Monaghan & Smith 2004). El sector lechero es una de las ramas de actividad agropecuaria más contaminantes, produciendo una carga orgánica diez veces más concentrada que las aguas residuales de origen doméstico (Longhurst *et al.*, 2000). Estos aportes, que generan importantes problemas ambientales, son originados por el ingreso de alimentos para animales, el exceso en el uso de fertilizantes y la generación de una gran cantidad de excrementos que son depositados en el campo y en el lugar de ordeño. Asimismo, la intensidad de esta modalidad productiva, genera importantes impactos ambientales proporcionalmente mayores al de otras actividades como la producción de granos o la forestación por unidad de área (Monaghan *et al.*, 2007). La actividad lechera en Uruguay se ha intensificado en las últimas tres décadas, aumentando asimismo el impacto potencial sobre los ecosistemas debido a las altas concentraciones y volúmenes de los residuos orgánicos de difícil manejo que esta actividad genera. El principal problema es el aporte de materia orgánica, nutrientes y organismos patógenos, potencialmente contaminantes de las aguas. Se estima que en Uruguay se generan cuatro litros de efluentes por cada litro de leche producida (Vasallo, 2008). Los efectos de estos contaminantes llevan a la pérdida de calidad de los sistemas acuáticos, lo cual afecta directamente a los usuarios directos e indirectos del mismo, desde productores agropecuarios a otros usuarios que la emplean con fines varios, incluyendo el consumo humano.

Por ello, es importante realizar estudios de la calidad del agua que permitan evaluar el estado de los ecosistemas acuáticos y

el impacto de las actividades productivas, junto con la adopción de medidas de mitigación que permitan conciliar los objetivos de conservación con el desarrollo económico.

El estudio de los efectos de los contaminantes sobre los sistemas acuáticos se ha basado tradicionalmente en análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Sin embargo, en los últimos años muchos países han sumado a las comunidades biológicas de manera de poder realizar una evaluación ecológica y de la calidad del agua de dichos sistemas. Los macroinvertebrados acuáticos son frecuentemente utilizados como indicadores biológicos de la calidad del agua debido a su distribución cosmopolita y a su íntima relación con el ambiente, comportamiento sedentario y ciclos de vida relativamente largos que nos permite inferir las características ambientales de las zonas donde habitan (Rosenberg & Resh, 1993).

En este sentido Chalar *et al.* (2011) han desarrollado un índice de estado trófico para arroyos de bajo orden en la cuenca de Santa Lucía, que estima el estado trófico del sistema mediante el análisis de la composición de macroinvertebrados presentes en el sistema acuático. A diferencia de un análisis químico del agua, la evaluación del estado trófico utilizando este índice tiene la ventaja de integrar temporalmente el estado trófico mediante la utilización de macroinvertebrados que responden a las características habituales del sistema (ej. niveles de nutrientes, producción, etc.). Los análisis químicos dependen en cambio de una mayor frecuencia de muestreo para evitar variaciones importantes en las variables ambientales químicas.

La cuenca del embalse de Paso Severino, en la zona centro-sur del país, departamento de Florida se encuentra en la zona de mayor desarrollo de la lechería en las últimas décadas. Esto puede llevar a importantes impactos que afecten múltiples servicios ecosistémicos, como el aprovisionamiento de agua potable. Esto es de fundamental importancia considerando que el embalse de Paso Severino es una importante reserva de

agua potable para la zona más densamente poblada del país que incluye a la capital Montevideo. El objetivo del presente estudio es evaluar el estado trófico de los arroyos de la cuenca de Paso Severino a través de la comunidad de macroinvertebrados mediante la aplicación del índice TSI-BI (Trophic State Index for Benthic Invertebrates) (Chalar *et al.*, 2011).

METODOLOGÍA

El proyecto se llevó a cabo en la cuenca lechera de Florida - Uruguay, que drena hacia el embalse Paso Severino, incluida en la cuenca del Río Santa Lucía. Inicialmente se realizó la selección precisa de las unidades muestrales mediante la Carta Uruguay 1:50000 del Servicio Geográfico Militar Uruguayo y de la información física y económica de la zona (Bartesaghi & Achkar, 2008). Así

se determinaron las 10 microcuencas a estudiar, considerándose el orden de los cursos y la superficie de las mismas, la modalidad productiva dominante y la accesibilidad a los establecimientos y a los cursos de agua. Cada microcuenca fue muestreada en un tramo de arroyo de aproximadamente 50 m de largo, donde se tomaron tres puntos de muestreo equidistantes. La cuenca número 10, correspondiente a un afluente del arroyo "Horqueta" fue seleccionada como cuenca control por no presentar actividad lechera en su cuenca (Figura 1).

En cada predio se recabó información a modo de estimar la intensidad de producción lechera: cantidad de ganado total y en ordeño, litros de leche producidos por día, superficie de los tambos, cantidad de litros de agua utilizada por día, etc. Además se registró el tipo de tratamiento de los efluentes y su destino (cómo se evacuaban a los arroyos- canal directo al

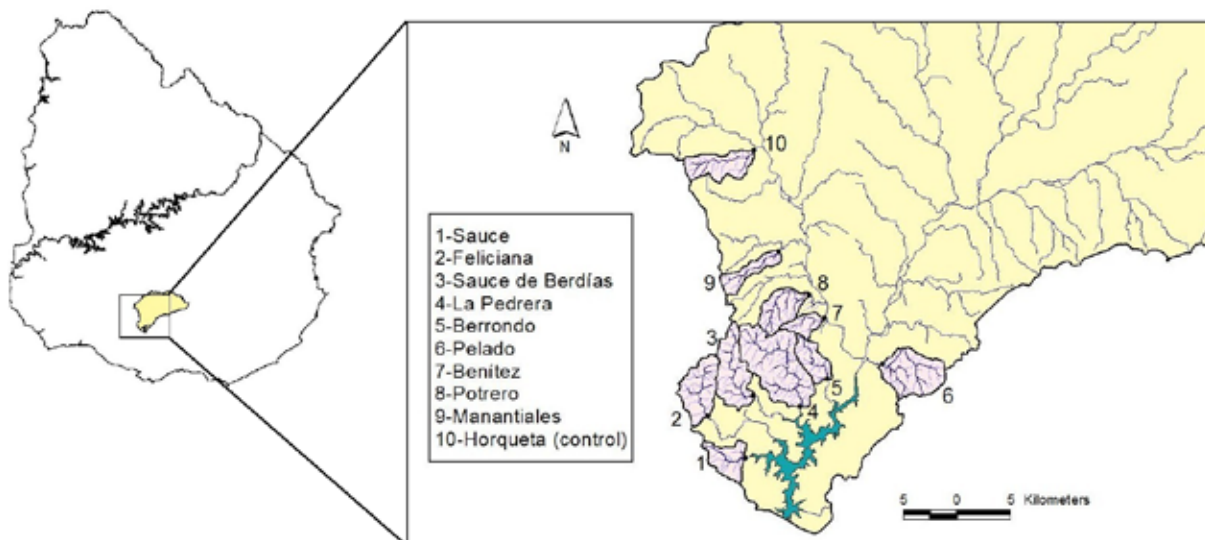


Figura 1. Ubicación de la cuenca del embalse de Paso Severino y de las diez subcuencas de estudio: 1-Sauce, 2-Feliciana, 3-Sauce de Berdías, 4-La Pedrera, 5-Berrondo, 6- Cerro Pelado, 7-Benítez, 8-Potrero, 9-Manantiales, 10-Horqueta (control).

Figure 1. Location of the Paso Severino reservoir basin and ten studied sub-basins: 1-Sauce, 2-Feliciana, 3-Sauce de Berdías, 4-La Pedrera, 5-Berrondo, 6- Cerro Pelado, 7-Benítez, 8-Potrero, 9-Manantiales, 10-Horqueta (control)

cuerpo receptor o escurrimiento difuso).

En cada punto de muestreo se midieron mensualmente in situ: caudal (mediante correntómetro de mano Turbo-prop open canal), pH (mediante ph-metro Horiba), conductividad (mediante conductímetro Horiba), temperatura y oxígeno disuelto (mediante oxímetro Oxiguard) y se tomaron muestras de agua conservadas en frío a partir de las cuales se determinó en laboratorio: sólidos suspendidos totales y materia orgánica suspendida, fósforo total, fósforo reactivo soluble, nitrógeno total, nitrato y amonio según técnicas de APHA (2005).

Los macroinvertebrados acuáticos fueron colectados en tres campañas de muestreo durante primavera, verano e invierno del 2009-2010. Se tomaron tres muestras de macroinvertebrados por arroyo, una por cada punto de muestreo, sumando un total de 90 muestras. La colecta se realizó mediante arrastres con red de mano de 500 micrómetros de malla durante un tiempo predeterminado de tres minutos en la zona litoral y el centro del curso, integrando los diferentes microhábitats proporcionalmente a su extensión (Arocena, 1999). Las muestras fueron fijadas en alcohol 70% y transportadas al laboratorio donde se identificaron los organismos hasta género y se calculó el índice TSI-BI según la metodología descrita en Chalar et al. (2011).

Se realizó una descripción de los datos físico-químicos mediante un análisis de componentes principales a modo de describir las principales características ambientales de los sitios de muestreo. Para este análisis se promediaron los datos de todos los muestreos y se eliminaron las variables que presentaron un gradiente muy bajo o que presentaron colinealidad. Se analizó comparativamente la composición relativa de grupos de macroinvertebrados para los arroyos clasificados en diferente nivel trófico según el TSI-BI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los caudales presentaron una amplia variación de entre 0 (agua estancada) y $0.47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, con un valor extremo durante una crecida del arroyo Sauce donde alcanzó los $1.35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Las diferencias de caudal en el periodo de estudio podrían haber generado variaciones en las características físico-químicas de los sistemas, como se constató con la conductividad o concentraciones de algunos nutrientes. El oxígeno disuelto presentó valores variables entre 2.1 y $12.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. La cuarta parte de estos valores estuvieron por debajo del estándar de $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para aguas no urbanas. El arroyo Potrero presentó valores menores a $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. El pH presentó valores entre 6.7 y 8.4, dentro de los estándares nacionales de 6.5 - 8.5 para agua posible de potabilizar. La conductividad varió entre 70 y $930 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ y al igual que el pH los valores más bajos se registraron durante las crecidas, presentando ambos un patrón inverso al caudal debido a la dilución por la lluvia. Con excepción de la cuenca control, los arroyos presentaron altos niveles de nutrientes (Tabla 1) y conductividad, en especial aquellos con mayor actividad lechera en su cuenca (Figura 2).

El análisis de componentes principales (Figura 3) mostró que las cuencas se agruparon en tres grupos en relación a las variables físico-químicas. Por un lado el grupo A, correspondiente a las cuencas altamente impactadas: Potrero, Sauce, Cerro Pelado y Berrondo. Este grupo presentó correlación positiva con la conductividad y el amonio, y negativa con el oxígeno disuelto en agua. El grupo M, correspondiente a cuencas con un grado moderado de impacto: La Feliciano, La Pedrera y Sauce de Berdías, que presentaron correlación positiva con el fósforo total, nitrógeno total y con el oxígeno disuelto. Por último el grupo B, correspondiente a cuencas con niveles de

	pH	OD mg.L ⁻¹	STS mg.L ⁻¹	MO mg.L ⁻¹	%MO	PRS µg.L ⁻¹	PT µg.L ⁻¹	NT µg.L ⁻¹	NH ₄ µg.L ⁻¹	NO ₃ µg.L ⁻¹
Prom.	7.6	6.1	35.05	22.85	56	371	528	70108	80	302
Máx.	8.4	2.1	161.33	112	92	857	1315	117498	970	700
Mín.	6.7	12.5	2.43	1	21	14	17	7057	1	4

Tabla 1. Valores promedio, máximos y mínimos de: pH, Oxígeno disuelto (OD), sólidos totales en suspensión (STS), materia orgánica (MO), porcentaje de materia orgánica (%MO), fósforo reactivo soluble (PRS), fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), amonio (NH₄), nitrato (NO₃) de los arroyos estudiados.

Table 1. Mean, maximum and minimum values for: pH, dissolved oxygen (OD), total suspended solids (STS), organic matter (MO), organic matter percentage (%MO), reactive soluble phosphorous (PRS), total phosphorous (PT), total nitrogen (NT), ammonia (NH₄), nitrate (NO₃) in studied streams

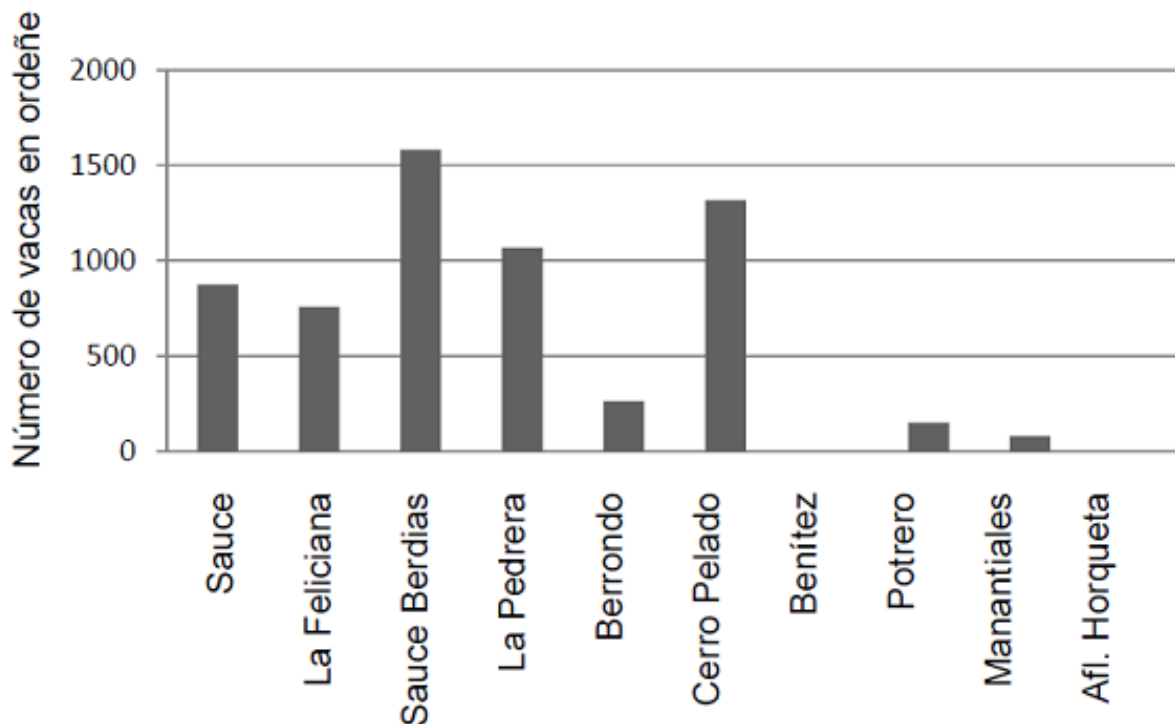


Figura 2. Intensidad de uso lechero en las cuencas de los arroyos estudiados expresada en número de vacas en ordeño.

Figure 2. Intensity of dairy use in studied streams basins expressed as number of milky cows

impacto bajos, presentaron correlación negativa con la conductividad y todos los nutrientes y positiva con el oxígeno disuelto (Benítez, Manantiales y control). Dentro de estos grupos, las cuencas de Potrero y control se presentaron en los extremos de mayor y menor impacto ambiental respectivamente. Potrero mostró correlación positiva con todos los nutrientes incluidos en el análisis, así como con la conductividad y negativa con el oxígeno disuelto.

resultado que todos los arroyos estudiados se presentaron niveles altos a muy altos de contaminación orgánica situándose en los rangos eutrófico - hipereutrófico (Figura 4). Inclusive el arroyo afluente de la Horqueta, considerado *a priori* como el de mejor calidad por no presentar actividad lechera en su cuenca y utilizado como control en este estudio, fue clasificado como eutrófico según el TSI-BI.

La clasificación trófica de los arroyos realizada mediante el índice TSI-BI dio como

En cuanto a la composición de macro-invertebrados según el nivel trófico de los arroyos, se observó que aquellos de mayor

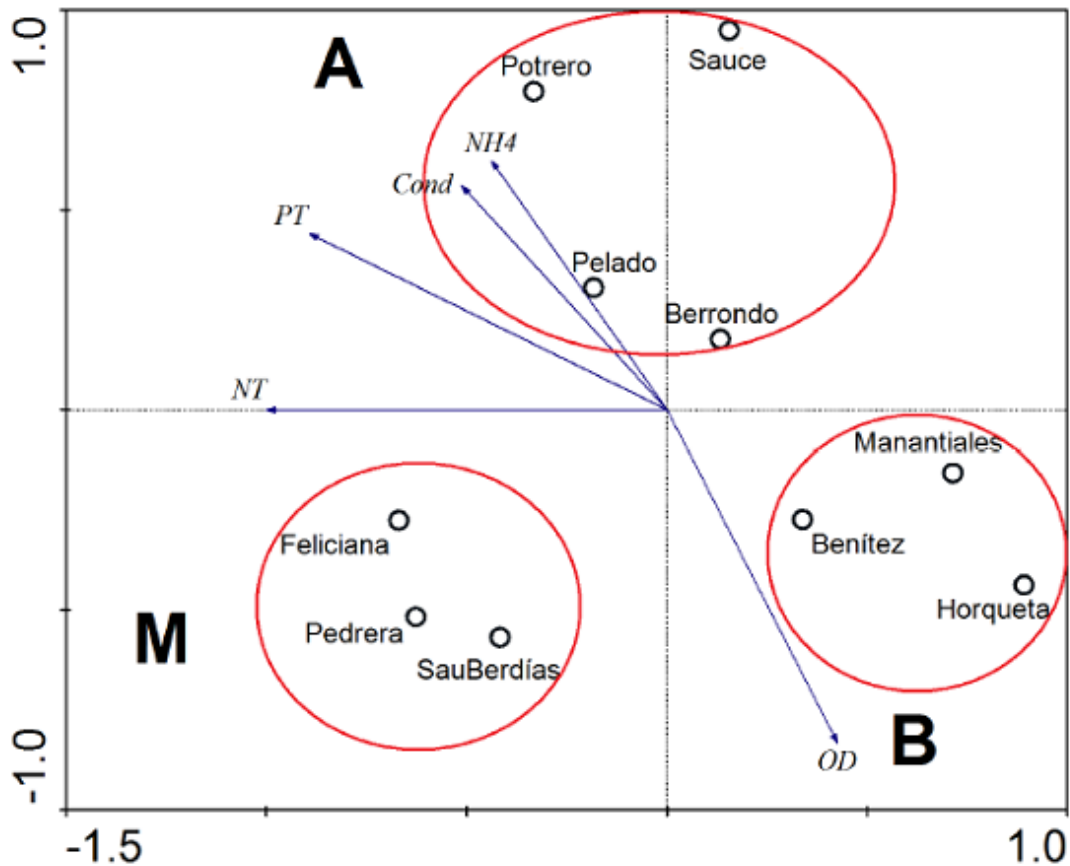


Figura 3. Análisis de Componentes Principales de las variables físico-químicas para los diez arroyos estudiados.

Figure 3. Principal Component Analysis of the physico-chemical variables for the ten studied streams

estado trófico (hipereutróficos) presentaron una comunidad mayormente representada por Hirudinea y Crustacea, mientras que en los de menor nivel trófico se observó una mayor abundancia de Ephemeroptera y presencia de Trichoptera. Si bien Hirudinea y Crustacea se encontraron ampliamente representados en ambos niveles tróficos, tanto eutrófico como hipereutrófico, fue en los de mayor nivel trófico donde se observó una mayor representación. Hirudinea estuvo representada exclusivamente por la familia

Glossiphoniidae, la cual se describe como un grupo facultativo resistente a sitios altamente enriquecidos en materia orgánica (Miserendino 1995). A su vez, Crustacea estuvo casi exclusivamente representado por el género *Hyaella*, descrito como tolerantes a la contaminación orgánica (Rodríguez-Capítulo *et al.*, 2003) y buenos indicadores de sitios afectados con aportes orgánicos y nutrientes (Boccardi, 2001; Arocena *et al.*, 2008) (Figura 5).

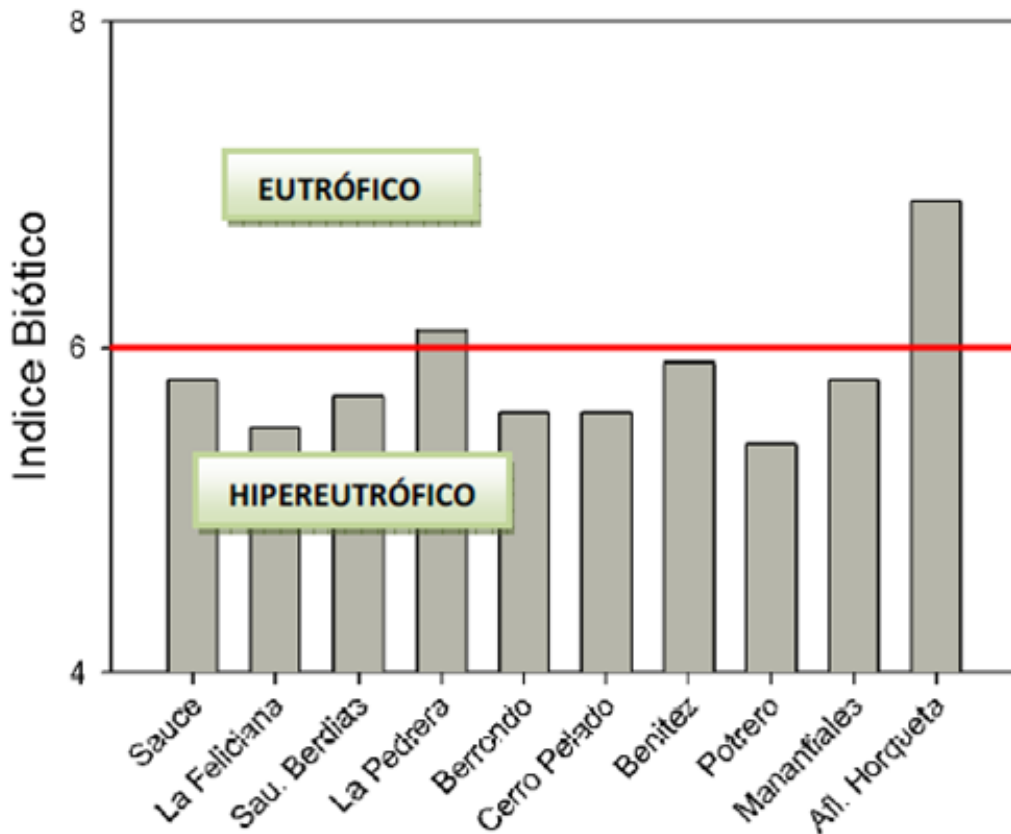


Figura 4. Clasificación de estado trófico de los arroyos estudiados según el índice TSI-BI.

Figure 4. Trophic state classification of studied streams based on the TSI-BI index.

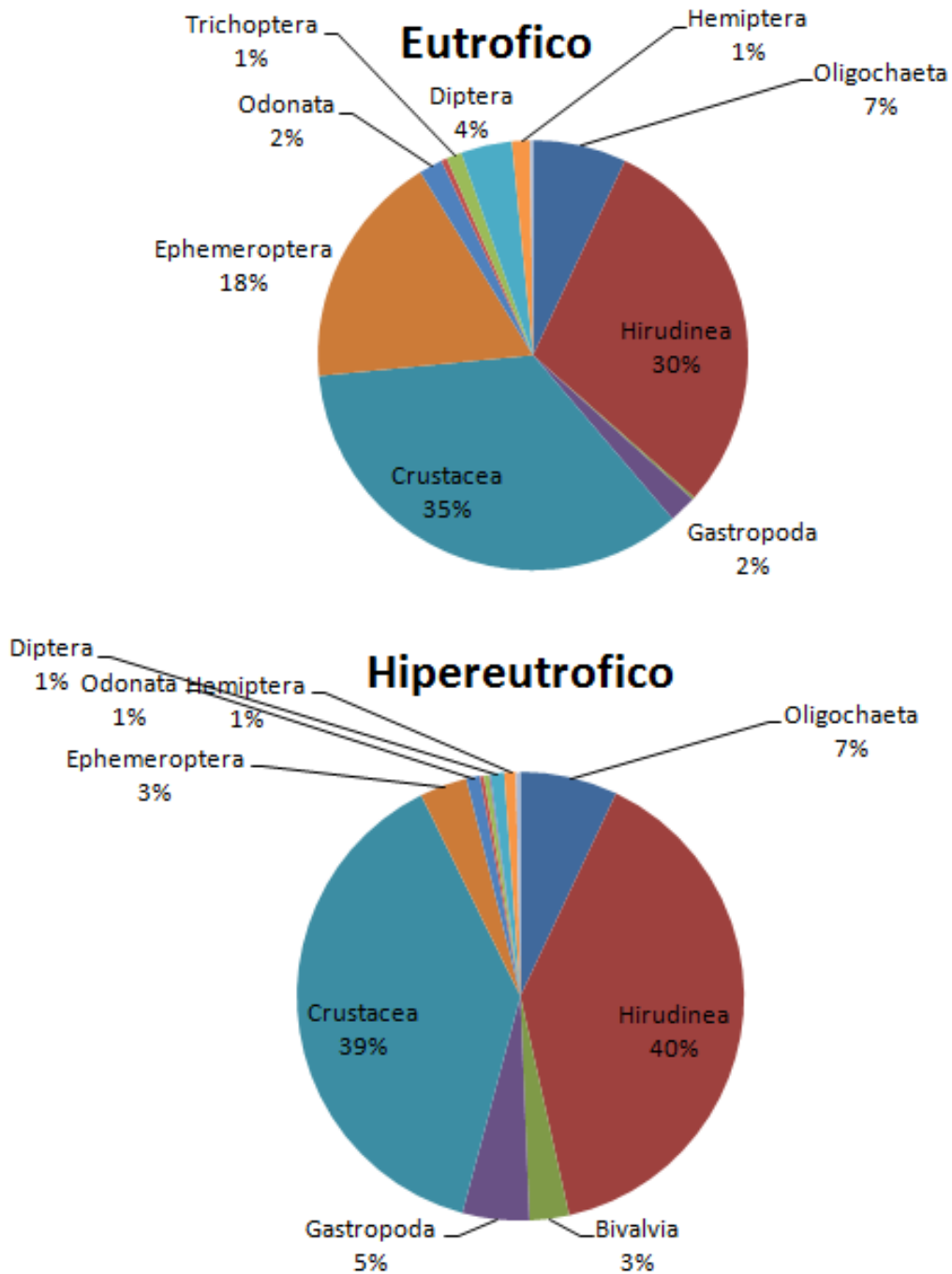


Figura 5. Composición relativa de grandes grupos de macroinvertebrados para arroyos estudiados agrupados por estado trófico en hipereutrófico y eutrófico.

Figure 5. Relative composition of major groups of macroinvertebrates for studied streams grouped according to their trophic state as hypertrophic and eutrophic

Estos grupos son frecuentemente descritos como grupos tolerantes a la contaminación orgánica siendo esperable su mayor representación en sistemas de muy alto nivel trófico (Rosenberg & Resh, 1993; Chalar, 1994; Bolívar *et al.*, 2004). En los cursos de agua eutróficos (menor nivel trófico) la proporción de grupos menos tolerantes a la contaminación como los Ephemeroptera estuvieron más representados, y se hallaron Trichoptera, grupo asociado con bajos niveles de contaminación orgánica. Si bien Ephemeroptera es descrito por varios autores como un grupo no tolerante al enriquecimiento orgánico (eg: Roldán, 2003; Bolívar *et al.*, 2004; Domínguez *et al.*, 2009) algunos géneros como *Caenis*, ampliamente representados en las comunidades analizadas, son descritos como medianamente tolerantes a la contaminación orgánica (Bolívar *et al.*, 2004). Esto explicaría su presencia en arroyos eutróficos pero no así en los hipereutróficos. Además de Ephemeroptera, en los arroyos de menor estado trófico de este estudio (eutróficos) fueron registrados Trichoptera, que es un grupo descrito como muy sensible a la contaminación orgánica (Miserendino, 1995).

Si bien los valores de nutrientes, conductividad y oxígeno, reflejan que todos los arroyos presentaron algún grado de impacto y que el estado trófico estimado mediante el TSI-BI fue en general alto, la composición de macroinvertebrados presentó marcadas diferentes clases de arroyos separando los sistemas según las clases tróficas (eutrófico-hipereutrófico) generadas mediante el TSI-BI.

CONCLUSIONES

Los altos niveles tróficos de los arroyos indicarían la existencia de un impacto

por nutrientes, posiblemente atribuible a la actividad lechera en la cuenca, pero no exclusivamente ocasionado por esta actividad. Se debe explorar otros posibles aportes de materia orgánica y nutrientes a los cursos de agua vinculados con la liberación desde sedimentos y realizar estudios comparativos con arroyos con usos similares situados en cuencas edafológicamente diferentes para analizar si los altos niveles de nutrientes se deben a la liberación de los sustratos en la cuenca. Los aportes de materia orgánica y nutrientes por la actividad lechera, estarían incrementando el grado de trófico y acentuando los efectos de la eutrofización sobre los cursos de agua.

Los altos niveles de nutrientes se reflejaron en una comunidad de macroinvertebrados dominada por organismos tolerantes a la contaminación. En contraposición en aquellos sistemas menos impactados, se observó aún la presencia de grupos poco tolerantes a la contaminación orgánica. El índice de estado trófico basado en macroinvertebrados TSI-BI, resultó un descriptor muy apropiado y coherente para estimar el estado trófico de los arroyos estudiados. Dado los altos niveles de contaminación orgánica de estos arroyos y considerando que son afluentes del embalse de Paso Severino, fuente de agua potable para la zona más densamente poblada del país, es importante generar medidas de manejo de efluentes y formas de producción que tiendan a minimizar el impacto sobre los ecosistemas acuáticos en esta zona. Este estudio constituye una base teórica de fundamental importancia en la determinación de la calidad de agua de los sistemas estudiados, validando la utilización del índice TSI-BI para análisis de calidad ambiental. Además, provee de información básica aplicable para planes de manejo de sistemas agrícolas-ganaderos a desarrollarse por gestores o instituciones responsables como la Dirección Nacional de Medio Ambiente o el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo contó con el financiamiento del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, mediante el Fondo de Promoción de las Tecnologías Agropecuarias N° 179. A todos los productores, técnicos, agrónomos y personal de los establecimientos agropecuarios que permitieron este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA & WEF. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewaters* 21ed. American Public Health Association. Washington DC, USA: 1200 p
- Arocena R. 1999. Zoobentos. P 182-193 En: Arocena R & Conde D (eds) *Métodos en Ecología de Aguas Continentales*. Facultad de Ciencias UDELAR, Montevideo, Uruguay
- Arocena R, Chalar G, Fabián D, De León L, Brugnoli E, Silva M, Rodó E, Machado I, Pacheco JP, Castiglioni R & Gabito L. 2008. Índices físico- químicos y biológicos de calidad de agua para arroyos vadeables de la cuenca del río Santa Lucía en Evaluación en cursos de agua y biomonitorio. Informe final, Limnología - Facultad de Ciencias UDELAR, Montevideo Uruguay: 13 p
- Bartesaghi L & Achkar M. 2008. *Interpretación de usos de suelo del Uruguay mediante imágenes CBERS 2*. Proyecto PDT 32 - 26. Facultad de Ciencias UDELAR, Montevideo, Uruguay: 5 p
- Boccardi L. 2001. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la Cañada del Dragón (Melilla, Montevideo). Informe Pasantía Limnología, Facultad de Ciencias. UDELAR, Montevideo, Uruguay: 36 p
- Bolívar W, Echeverri J, Reyes M, Gómez N, Salazar M, Muñoz L, Velasco E, Castillo L, Quiceno M, García R, Pfaiffer A, Giraldo A & Ruiz S. 2004. *Plan de acción en biodiversidad del Valle del Cauca: Propuesta técnica*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia: 165 p
- Chalar G. 1994. Composición y abundancia del zoobentos del Arroyo Toledo (Uruguay) y su relación con la calidad del agua. *Revista Chilena de Historia Natural*, 67: 129-141
- Chalar G, Arocena R, Pacheco JP & Fabián D. 2011. Trophic assesment of streams in Uruguay: A Trophic State Index for Benthic Invertebrates (TSI-BI). *Ecological Indicators*, 11: 362-369
- Domínguez E & Fernández H. 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina: 656 p
- Gillingham AG & Thorrold BS. 2000. A Review of New Zealand Research Measuring Phosphorus in Runoff from Pasture. *Journal of Environmental Quality*, 29: 88-96

- Longhurst RD, Roberts AHC & O'Connor MB. 2000. Farm dairy effluent: A review of published data on chemical and physical characteristics in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43: 7-14
- Miserendino M. 1995. Composición y distribución del macrozoobentos de un sistema lótico andino- patagónico. *Ecología Austral*, 5: 133-142
- Monaghan RM & Smith LC. 2004. Minimizing surface water pollution resulting from farm-dairy effluent application to mole-pipe drained soil. II. The contribution of preferential flow of effluent to whole-farm pollutant losses in subsurface drainage from a West Otago dairy farm. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 47: 417- 428
- Monaghan RM, Wilcock RJ & Smith LC. 2007. Linkages between land management activities and water quality in an intensively farmed catchment in southern New Zealand Agriculture. *Ecosystems and Environment*, 118: 211-222
- Rodríguez Capítulo A, Ocon C & Tangora M. 2004. Una visión bentónica de arroyos y ríos pampeanos. *Biología Acuática (Argentina)*, 21: 1-18
- Roldán G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia; uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia: 170 p
- Rosenberg DM & Resh VH. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall. New York, USA: 499 p
- Vasallo C. 2008. *Manual para el manejo de los efluentes de tambo*. Proyecto de Producción Responsable - MGAP. Montevideo, Uruguay: 121 p