
SUCESIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL PLANCTON Y BENTOS EN PERIODOS POSTERIORES AL LLENADO DEL EMBALSE YACYRETÁ (RÍO PARANÁ, ARGENTINA-PARAGUAY)

NORMA MEICHTRY DE ZABURLÍN, JUANA G. PESO, GLADYS G. GARRIDO Y ROBERTO E. VOGLER

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la composición de especies del fitoplancton, zooplancton y bentos del embalse de Yacyretá en relación con algunas variables ambientales durante el período febrero 1996-enero 1998, correspondientes al segundo y tercer año posteriores al llenado del vaso a cota 76msnm. Diez estaciones de muestreo fueron seleccionadas siguiendo un criterio de zonación longitudinal. Las comunidades fueron caracterizadas por algunas propiedades emergentes tales como densidad, riqueza y diversidad específica, uniformidad, frecuencias

relativas y grupos taxonómicos dominantes. El fitoplancton estuvo representado por 419 taxones, el zooplancton por 66 y la comunidad bentónica por 56, siendo Bacillariophyceae y Cryptophyceae los grupos dominantes en el fitoplancton, Rotifera en el zooplancton, y Oligochaeta en el bentos durante casi todo el período de estudio. Se encontraron diferencias en composición y densidad de las comunidades entre las distintas zonas del embalse, y en relación a los estudios previos efectuados en la represa durante el primer año después del llenado del lago.

En la actualidad, los represamientos son la principal fuente de interferencia humana en los sistemas hidrológicos de aguas continentales. El represamiento de un río determina una serie de transformaciones en las características físicas, químicas y biológicas, influyendo en los patrones de circulación, la sedimentación, el comportamiento térmico de la columna de agua, la dinámica de los gases, el ciclo de los nutrientes, la composición y abundancia de las comunidades acuáticas, pérdidas en la diversidad local y alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (Tundisi, 1990; Rice *et al.*, 2001; Agostinho *et al.*,

2007). Estas modificaciones persisten desde el llenado hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio siendo este período muy variable, pudiendo durar hasta 20 años o más en algunos embalses tropicales (Agostinho *et al.*, 2007).

Entre los principales ríos de Sud América, el Paraná es uno de los más intensamente represados. Su cuenca, además de concentrar la mayor densidad poblacional del subcontinente, soporta los mayores parques industriales y una intensa actividad agrícola y pecuaria. Responsable de más del 70% de la producción hidroeléctrica de Brasil, este río tiene su fisiografía profundamente alterada por la construcción de embalses (Paiva, 1982;

COMIP, 1994; Júlio Jr. *et al.*, 2005). Cerca de 23 embalses situados en cascada ocupan el canal principal del río Paraná Superior en Brasil. La construcción de la represa binacional Yacyretá (Argentina-Paraguay) en el Alto Paraná, es uno de los mayores represamientos construidos en Argentina (Zalocar de Domitrovic *et al.*, 2007). En abril 1990, la continuidad del flujo del río Paraná sufrió una nueva alteración debido al cierre de la represa Yacyretá y en agosto 1994 se completó el llenado del embalse a cota 76msnm. Esto produjo un importante impacto en las comunidades acuáticas allí existentes (ubicadas aguas arriba) ya que el control del flujo del agua impuesto por la presa comen-

PALABRAS CLAVE / Bentos / Plancton / Variación Espacial y Temporal / Yacyretá /

Recibido: 18/02/2010. Modificado: 10/11/2010. Aceptado: 15/11/2010.

Norma Meichtry de Zaburlín. Profesora en Biología y Magister en Ecología Acuática Continental, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Argentina. Profesora, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Argentina. Dirección: Cátedra de Ecología General, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, UNaM. Rivadavia 2370, Posadas, Misiones, Argentina. N3300LDX. e-mail: meichtry@fceqyn.unam.edu.ar

Juana G. Peso. Profesora en Biología y Licenciada en Genética, UNaM, Argentina. Doctora en Biología, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. Jefe de Trabajos, UNaM, Argentina.

Gladys G. Garrido. Profesora en Biología y Licenciada en Genética, UNaM, Argentina. Magister en Ecología Acuática Continental, UNL, Argentina. Profesora, UNaM, Argentina.

Roberto E. Vogler. Licenciado en Genética, UNaM, Argentina. Becario doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. Estudiante de Doctorado en Ciencias Naturales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

zó a modificar las condiciones normales de escurrimiento (Roa *et al.*, 1995; Garrido, 1999; Meichtry de Zaburlin, 1999; Peso y Bechara, 1999; Neiff *et al.*, 2000).

El objetivo del presente trabajo fue describir los cambios de la composición y densidad del fitoplancton, zooplancton y bentos en relación con factores ambientales durante el segundo y tercer año después del llenado del embalse Yacyretá con el fin de proporcionar información de las primeras etapas de la sucesión espacial y temporal de estas comunidades.

La hipótesis planteada fue: como consecuencia del represamiento del río, las características físicas y químicas del agua se modifican afectando la estructura y dinámica de las comunidades.

Área de Estudio

La represa de Yacyretá está localizada al norte de la Provincia de Corrientes (27°28'S y 56°44'W) sobre el río Paraná, en el inicio de su tramo potámico, a unos 80km aguas abajo de la ciudad de Posadas, Misiones, Argentina. Es una represa caracterizada por un corto tiempo de residencia del agua (<15 días) con una superficie de 1140km², un volumen de 7000hm³ y profundidades medias de 6-7m y máxima de 23m, a cota 76msnm.

Diez estaciones de muestreo fueron seleccionadas siguiendo el criterio de zonación longitudinal propuesto por Thornton *et al.* (1990) y Kalff (2002). Para facilitar la comprensión y análisis de los datos, el área de estudio se dividió en zonas (Figura 1): I) zona de entrada, fluvial o lótica (E1 y E2); II) zona de transición, intermedia o río-embalse (E3); III) zona del embalse o lacustre (E4-MI, E4-C, E4-MD, E5-MI y E5-MD); y brazos laterales o subembalses (arroyo Yacarey y arroyo Aguapey).

Materiales y Métodos

Los estudios se realizaron sobre material recolectado en las diez estaciones citadas, con frecuencia men-

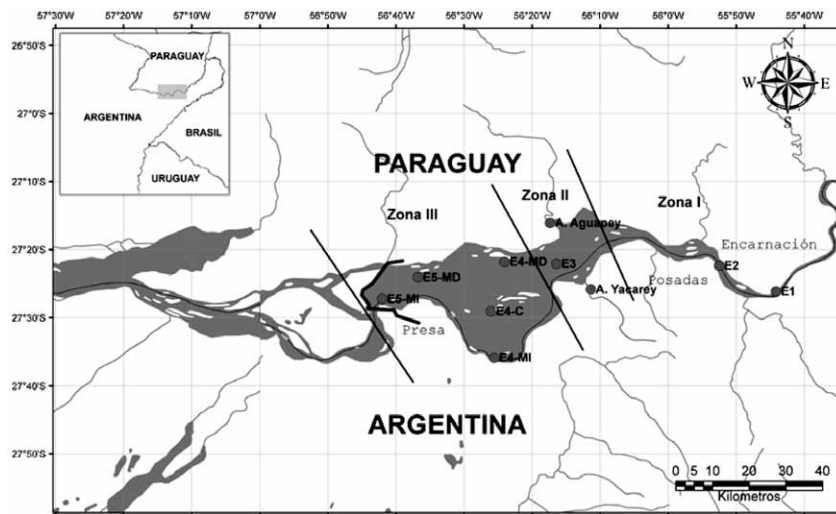


Figura 1. Zonación longitudinal y ubicación de las estaciones de muestreo. Zona I: de entrada, fluvial o lótica; Zona II: de transición, intermedia o río-embalse; Zona III: de embalse o lacustre.

sual en las estaciones E3, E4-C, E5-MI, arroyo Yacarey, arroyo Aguapey; y bimensual en las estaciones E1, E2, E4-MI, E4-MD, E5-MD, durante el período comprendido entre los meses de febrero 1996 y enero 1998.

Fitoplancton

El material fitoplanctónico para el estudio sistemático fue extraído filtrando agua a través de una red de plancton de 20µm de abertura de malla y fijado con formol 5%. Las muestras cuantitativas fueron obtenidas subsuperficialmente mediante un muestreador de tipo Van Dorn o recolectadas manualmente en frascos de 250ml de capacidad y fijadas *in situ* con solución de Lugol y ácido acético. El análisis cuantitativo se realizó siguiendo la técnica de Utermöhl (1958) con un microscopio invertido (400×). El volumen de agua sedimentado varió entre 10 y 20ml de acuerdo a la concentración de seston. Los resultados se refirieron a individuos (células, cenobios, colonias o filamentos) por mililitro (ind/ml). Se contó un mínimo de 100 individuos de la especie más frecuente, para que el error de recuento fuese <20%, con un nivel de significación del 95% (Lund *et al.*, 1958).

Zooplancton

Las muestras cuali-cuantitativas fueron extraídas subsuperficialmente filtrando 200 litros de agua a través de una red de 50µm de abertura de malla, concentradas a 50ml, fijadas *in situ* con una solución de formol 5% y posteriormente teñidas con Eritrosina. El recuento de organismos se realizó bajo microscopio

binocular, en cámaras de recuento tipo Sedgwick-Rafter, de 1ml de capacidad y contadas en su totalidad. Los resultados fueron referidos a organismos por metro cúbico (org/m³).

Zoobentos

Cada muestra fue obtenida por duplicado con una draga tipo Tamura con superficie de extracción de 564cm² y fijadas *in situ* con formol 10%. En laboratorio las muestras cuantitativas fueron filtradas con una red de abertura de malla de 200µm, fijadas con formol 5% y coloreadas con Rosa de Bengala. Los organismos fueron separados del sedimento bajo lupa (5×) e identificados con microscopio óptico o estereoscópico. Cada una de las muestras fue analizada en su totalidad y la densidad se expresó en ind/m².

readas con Rosa de Bengala. Los organismos fueron separados del sedimento bajo lupa (5×) e identificados con microscopio óptico o estereoscópico. Cada una de las muestras fue analizada en su totalidad y la densidad se expresó en ind/m².

Factores ambientales

En cada sitio de muestreo fueron medidos *in situ* la transparencia del agua (disco de Secchi de 25cm), temperatura, pH, conductividad eléctrica, O₂ disuelto (analyzer digital Cole-Palmer 5566-15). Los análisis de sólidos totales, color, turbidez, clorofila a y nutrientes (nitrito, nitrato, ortofosfato) fueron realizados de acuerdo a APHA (1992). En la zona de embalse, se realizaron perfiles verticales de temperatura y O₂ disuelto. Los datos ambientales fueron proporcionados por la Entidad Binacional Yacyretá (EBY) en el marco del Programa Calidad de Agua del Embalse Yacyretá (Convenio EBY-Universidad Nacional de Misiones). Los datos del nivel hidrométrico en Puerto Posadas fueron facilitados por la Prefectura Naval Argentina y del caudal por la EBY.

Análisis de los datos

En cada una de las comunidades se analizó riqueza de especies, densidad, diversidad específica (Shannon y Weaver, 1963) y uniformidad (Lloyd y Ghelardi, 1964). Se aplicó la matriz de correlación de Pearson (STATISTICA ed. '98, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, EEUU) para analizar las relaciones entre los atributos de las comunidades y los factores ambientales.

Resultados

Características ambientales

Durante el año 1996 se observó una creciente mayor en primavera y un pulso menos intenso en el verano y otoño, y los mínimos en el estiaje de invierno. El último ciclo anual (1997-1998) coincidió con el fenómeno climático El Niño-Oscilación Sur (ENOS) que modificó el régimen pluviométrico de la cuenca y el caudal del río Paraná, con valores por encima de los normales. Se registraron dos pulsos de mayor intensidad en verano y primavera, y otro menor en el invierno, separados por estiajes de corta duración (Figura 2).

La altura del río y el caudal se correlacionaron significativamente ($r=0,933$; $p<0,001$). Entre las variables más influenciadas por el pulso hidrológico se destacaron la transparencia del agua, la concentración de sólidos, el color, la turbidez, y la concentración de fósforo total y nitratos.

En el primer año se observaron valores más altos de la transparencia del agua en las distintas zonas del embalse; en cambio, en el segundo año estos fueron más bajos y estuvieron relacionados con las variaciones del ciclo hidrológico y magnitud de los pulsos de creciente (Figura 2; Tabla I). La transparencia se correlacionó de forma negativa y significativa con el nivel del río ($r=-0,788$; $p<0,01$) y con el color del agua ($r=-0,812$; $p<0,001$).

Durante el periodo analizado, el embalse Yacyretá en su cuerpo principal no presentó estratificación térmica. En todas las estaciones se observó una tendencia a la isoterminia y las concentraciones de O_2 disuuelto fueron altas en toda la columna de agua. En los subembalses se observó una distribución menos homogénea de la temperatura y un descenso de las concentraciones de O_2 disuuelto en las capas más profundas al final de la primavera y durante los meses de verano,

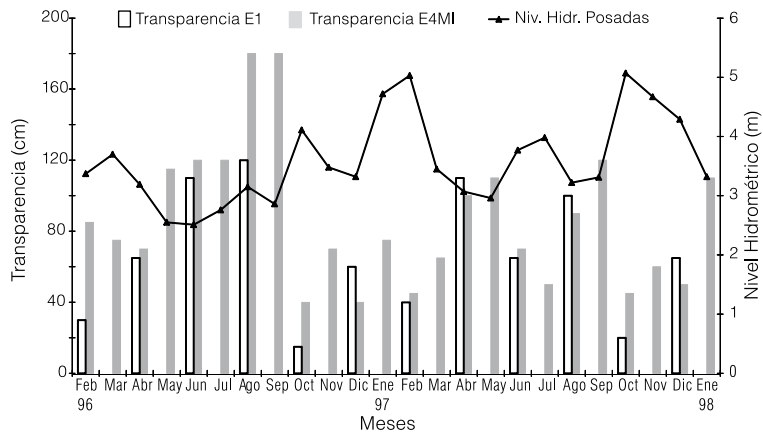


Figura 2. Variación de la transparencia del agua (cm), en la zona de entrada (E1) y en el lago (E4-MI), y del nivel hidrométrico del río Paraná en Puerto Posadas (m) durante febrero 1996 a enero 1998.

de noviembre a marzo (Guillermo Gavilán, comunicación personal).

Fitoplancton

La lista completa de especies de fitoplancton se halla disponible en la Tabla 2 en www.fceqyn.unam.edu.ar/icades/index.php?option=com_content&task=view&id=497&Itemid=63. Se identificaron 419 especies distribuidas en nueve clases, pertenecientes 29 a Cyanobacteria, 120 a Chlorophyceae, 91 a Zygothryx, 14 a Chrysophyceae, 1 a Xanthophyceae,

75 a Bacillariophyceae, 11 a Cryptophyceae, 2 a Dynophyceae y 76 a Euglenophyceae.

En el embalse, las clases Chlorophyceae y Bacillariophyceae fueron las mejor representadas en cuanto al número de especies. En cambio, en los subembalses se registró una mayor riqueza de especies pertenecientes a las clases Zygothryx y Euglenophyceae. Del total de taxones hallados, 280 fueron comunes a ambos ambientes, 36 fueron exclusivas del río, y 103 se encontraron únicamente en los subembalses.

El número de especies por muestra varió entre 28 y 66 en el embalse y entre 35 y 105 en los subembalses, con valores medios más elevados durante el primer ciclo anual. En los subembalses laterales se registraron muchas especies ticolpánctónicas provenientes de áreas marginales periódicamente inundadas.

De las especies identificadas, *Aulacoseira granulata* y *Chroomonas acuta* estuvieron siempre presentes, mientras que *Cryptomonas caudata*, *C. erosa*, *Chroomonas* sp., *Sphaerocystis schroeteri*, *Chlorella* sp., *Monoraphidium tortile*, *Scenedesmus quadricauda*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *A.*

TABLA I
VALORES DE LAS VARIABLES ANALIZADAS EN CADA UNA DE LAS ZONAS DEL EMBALSE DURANTE FEBRERO 1996 A ENERO 1998

		Fluvial		Transición	Embalse	Subembalses	
		E1	E3	E4C	Aguapey	Yacarey	
Temperatura (°C)	Media (DS)	23,56 (3,39)	23,60 (3,91)	23,52 (4,05)	22,99 (5,08)	23 (5,4)	
	Mín-Máx	19,1-27,9	17-29,3	16,3-29,4	14,4-31,7	14,8-32,2	
Transparencia (cm)	Media (DS)	66,67 (36,51)	87,61 (44,97)	86,67 (42,78)	86,25 (16,96)	0,45 (0,09)	
	Mín-Máx	15-120	15-200	30-200	50-110	0,30-0,70	
pH	Media (DS)	7,34 (0,24)	7,33 (0,22)	7,32 (0,18)	7,12 (0,28)	7,36 (0,18)	
	Mín-Máx	6,84-7,61	7-7,8	7-7,6	6,64-7,76	7,03-7,61	
OD (mg l ⁻¹)	Media (DS)		8,68-0,75	8,50 (0,67)	7,34 (0,99)	8 (1,04)	
	Mín-Máx		7,2-10,7	7,5-9,9	5,6-9,1	5,9-9,5	
Conductividad (µS·cm ⁻¹)	Media (DS)	42,42 (4,66)	41,48 (4,07)	41,13 (5,07)	20,54 (8,36)	40,6 (6,29)	
	Mín-Máx	37-51	35-52	30-54	9-41	26-53	
Ortofosfato (mg·l ⁻¹)	Media (DS)		0,03 (0,02)	0,03 (0,01)	0,04 (0,045)	0,056 (0,051)	
	Mín-Máx		0,0039-0,092	0,011-0,05	0,005-0,2	0,007-0,27	
Fosforo Total (mg·l ⁻¹)	Media (DS)	0,08 (0,04)	0,08 (0,05)	0,08 (0,04)	0,08 (0,03)	0,043 (0,017)	
	Mín-Máx	0,027-0,175	0,019-0,181	0,028-0,157	0,035-0,124	0,043-0,127	
Nitrato (mg·l ⁻¹)	Media (DS)	0,40 (0,15)	0,39 (0,12)	0,38 (0,11)			
	Mín-Máx	0,184-0,654	0,22-0,695	0,196-0,691			
Nitrito (mg·l ⁻¹)	Media (DS)	0,01 (0,002)	0,01 (0,003)	0,01 (0,004)			
	Mín-Máx	0,005-0,012	0,005-0,015	0,002-0,02			
Color	Media (DS)	60,8 (43,4)	53,9 (32)	53,5 (27,2)	71,7 (16,4)		
	Mín-Máx	15-175	15-150	15-125	40-100		
Sólidos Totales (mg·l ⁻¹)	Media (DS)	80,2 (54,3)	67,5 (19,9)	63,2 (22,8)	55,7 (12,3)	74,6 (15,1)	
	Mín-Máx	42-356	38-98	42-132	42-80	50-102	
Turbidez (UTN)	Media (DS)		19 (6)	18 (5)			
	Mín-Máx		11-34	3-26			
Clorofila a (mg·m ⁻³)	Media (DS)	0,48 (0,32)	0,26 (0,28)	0,72 (1,13)	0,79 (0,52)		
	Mín-Máx	0,16-0,95	0,08-1	0,06-4,1	0,02-1,9		

TABLA II
 PROFUNDIDAD, COMPOSICIÓN DE LOS SEDIMENTOS, DENSIDADES PROMEDIOS,
 NÚMERO DE ESPECIES Y ESPECIES DOMINANTES DEL BENTOS EN
 LAS DISTINTAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estaciones de muestreo	Profundidad (m)	Sustrato	Densidad (ind/m ²)	Nº taxones totales	Especies dominantes
E2	5,40	MOPF-arena-limo	1101	30	<i>Aulodrilus pigueti</i> , <i>Bothrioneurum americanus</i> , <i>Pristina americana</i>
E3	9	MOPF-canto rodado	409	23	<i>B. americanus</i> , <i>P. americana</i> , <i>A. pigueti</i>
E4 (MI)	10	MOPF-canto rodado	1035	18	<i>P. americana</i>
E4 (C)	10	MOPF-gravas	1320	10	<i>Corbicula fluminea</i>
E4 (MD)	9	Arena predom. y MOPF, limo y arcilla	901	17	<i>C. fluminea</i>
E5	9	MOPF	127	6	<i>P. americana</i>
Arroyo Yacarey	5	MOPF y gruesa	548	22	<i>B. americanus</i> , <i>P. americana</i> .
Arroyo Aguapey	7,50	Arena predom. y MOPF	830	28	<i>B. americanus</i> , <i>P. americana</i>

MOPF: materia orgánica particulada fina.

distans, *Cyclotella meneghiniana*, y *Cyclotella* sp. se encontraron con una frecuencia de 80-98%.

La densidad del fitoplancton del embalse varió en general entre 118 y 4690ind/ml, con un valor excepcional de 15708ind/ml detectado en abril de 1997 en la margen izquierda de la estación E4. En ambos ciclos anuales las concentraciones más bajas fueron observadas en la zona de transición (E3, \bar{x} = 389ind/ml) y las más elevadas en la zona del embalse (\bar{x} = 564-2545ind/ml en las distintas estaciones; Figura 3a). Los valores más altos se detectaron en las áreas con menor velocidad de la corriente (E4-MI).

Las Bacillariophyceae fueron dominantes en la zona fluvial y de transición con proporciones medias anuales de 51% el primer año y 45% el segundo, y las especies dominantes fueron *Aulacoseira granulata* y *Cyclotella* spp. En la zona del embalse las Cryptophyceae (*Chroomonas acuta*, *Chroomonas* sp, *Cryptomonas caudata* y *C. erosa*) fueron numéricamente más importantes y se constituyeron en el grupo dominante en la mayoría de los muestreos con porcentajes medios de 34 y 51%, respectivamente.

El máximo de densidad algal para las estaciones

ubicadas sobre el cuerpo principal del embalse se dio en periodos de aguas bajas o de mayor estabilidad de las aguas, con alta transparencia, baja concentración de sólidos y bajo valor en el color

siendo las Cryptophyceae claramente dominantes (Figura 3a). En el segundo ciclo anual se registró un aumento de la diatomea céntrica *Urosolenia eriensis* en algunos muestreos en el subembalse Aguapey.

La subdominancia correspondió a diferentes grupos (Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Cyanobacteria), variando a través del ciclo anual.

En los brazos laterales se observaron pulsos de abundancia de Cyanobacteria en relación con un mayor tiempo de residencia y altas temperaturas, con floraciones de *Anabaena circinalis* y *Microcystis aeruginosa* al final del verano y principios del otoño. El grupo de las Euglenophyceae estuvo mejor representado en el arroyo Yacarey.

Los valores de biomasa del fitoplancton medida como concentración de clorofila a fueron en general bajos y oscilaron entre 0,08 y 4,1mg·m⁻³. Los valores medios mínimos fueron registrados en la zona de transición y los máximos en el subembalse Yacarey y en la estación E4-C y MI del embalse.

La diversidad específica presentó, en general, valores que variaron entre 2,47 y 4,97 bits, siendo un poco más altos en la zona de entrada y transición. Los valores más bajos fueron hallados en el

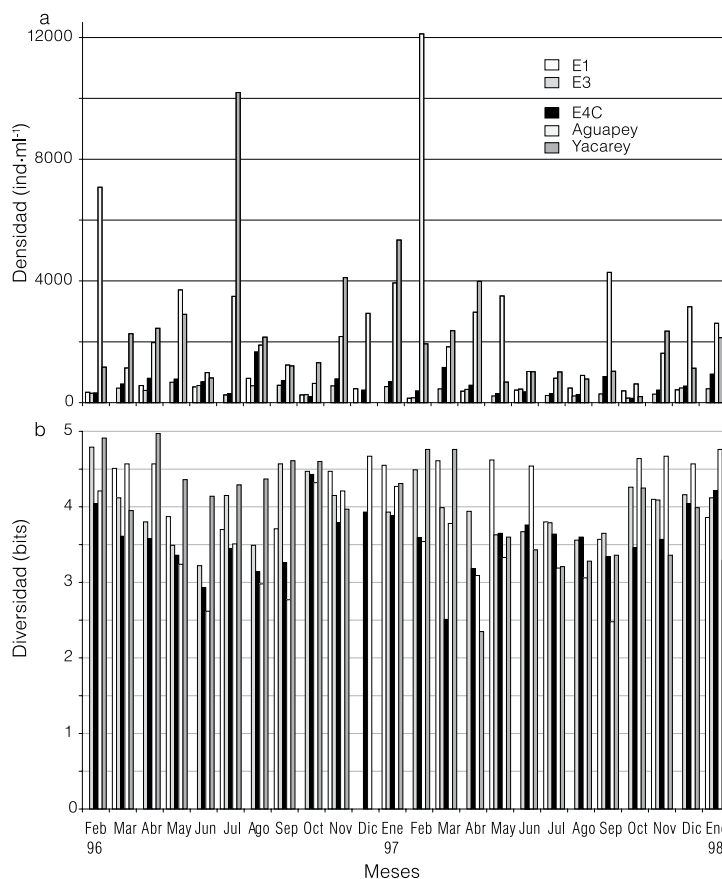


Figura 3. Variación de la densidad del fitoplancton (a; ind/ml) y de la diversidad específica del fitoplancton (b; bits) en las distintas zonas del embalse. E1: entrada, E3: transición, E4C: lacustre, y en los subembalses, arroyos Aguapey y Yacarey.

subembalse lateral Yacarey durante el segundo ciclo anual (Figura 3b). El componente de uniformidad mostró una fluctuación similar a la diversidad, en las estaciones del río presentó valores medios que oscilaron entre 0,41 y 0,74 y se correlacionaron de manera significativa con la diversidad específica ($r=0,763$; $p \leq 0,01$). En los subembalses se hallaron los valores más bajos ($\bar{x}=0,37-0,45$).

Zooplankton

El zooplankton estuvo representado por 66 entidades taxonómicas, de las cuales fueron 47 rotíferos, 12 cladóceros y 7 copépodos. La lista de especies está disponible en la tabla 3 en www.fceqyn.unam.edu.ar/icades/index.php?option=com_content&task=view&id=497&Itemid=63. Los rotíferos presentaron la mayor diversidad de especies y la familia Brachionidae fue la más representativa con 31 taxones. También se destacaron otras familias características de ambientes tropicales como Trichocercidae, Synchaetidae y Lecanidae. Las especies *Keratella americana* y *K. cochlearis* fueron las más constantes, presentes en todas las zonas del embalse. En las zonas más remansadas del lago también fueron frecuentes *Lecane* sp., *Polyarthra vulgaris*, *Polyarthra* sp. y *Ploesoma truncatum*.

Los crustáceos fueron menos diversos y abundantes; entre ellos los cladóceros *Bosmina hagmanni* y *Bosminopsis deitersi* fueron los más frecuentes en las estaciones del cuerpo principal del embalse. Los copépodos presentaron la menor variedad de especies y estuvieron representados principalmente por estadios larvales y juveniles, con escasos adultos.

La riqueza de especies por muestras varió entre 2 y 20, con un valor medio más elevado en las estaciones ubicadas en la ribera izquierda del lago ($\bar{x}=8,7$).

La densidad total del zooplankton varió entre 300 y 8640org/m³. La zona de entrada, transición y el centro del embalse presentaron las densidades medias más bajas con valores

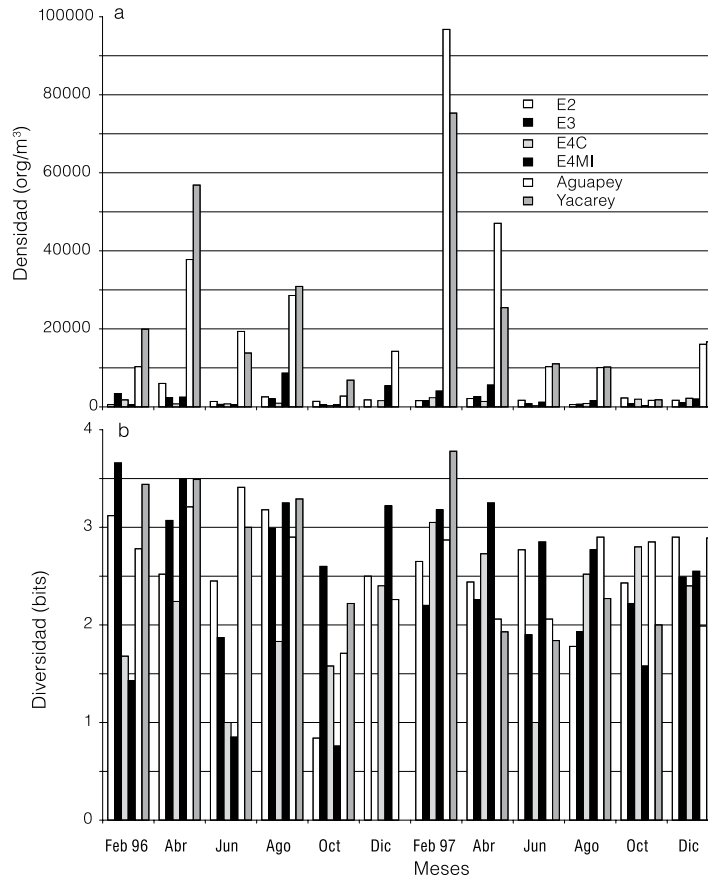


Figura 4. Variación de la densidad del zooplankton (a) y de la diversidad específica del zooplankton (b, bits) en las distintas zonas del embalse. E2: entrada; E3: transición; E4C, E4MI: lacustre; y en los subembalses, arroyos Aguapey y Yacarey.

<2000org/m³ (Figura 4a). Las variaciones en la abundancia estuvieron influenciadas por las fluctuaciones del nivel hidrométrico, correlacionándose de manera inversa. La concentración de organismos fue más elevada en la ribera izquierda de la zona del embalse con un valor medio máximo de 3230org/m³ detectado en la estación E5-MI. En los subembalses se registraron densidades medias anuales entre 23000 y 26000org/m³ en el arroyo Yacarey, y entre 19000 y 34000org/m³ en el arroyo Aguapey.

Los rotíferos fueron, en general, el grupo dominante en el cuerpo principal del embalse en la mayoría de los meses estudiados. Los copépodos fueron subdominantes y estuvieron representados por sus estadios larvales, ocupando los cladóceros el tercer lugar en importancia. En los subembalses fueron más abundantes los copépodos.

La diversidad específica en el cuerpo principal osciló entre 0,76 y 3,78 bits (Figura 4b). Los valores más elevados de ambas variables se hallaron en la zona lacustre y en los subembalses laterales.

Zoobentos

La comunidad bentónica estuvo representada por 56 especies a lo largo del período de estudio. Los grupos más numerosos estuvieron constituidos por Insecta con 24 especies y Annelida con 19. La lista de especies se halla disponible en la tabla 4 en www.fceqyn.unam.edu.ar/icades/index.php?option=com_content&task=view&id=497&Itemid=63.

La riqueza específica por muestra varió entre 1 y 14. En la zona de entrada se observó el máximo valor en el número de especies, con un total de 30 por muestra, seguida por la zona de transición con 23 especies y los valores más bajos se registraron en la zona lacustre. De los subembalses, el Aguapey presentó la mayor riqueza, con 28 especies.

En las diferentes zonas las especies más constantes fueron *Bothrioneurum americanus*, *Aulodrilus pigueti*, *Pristina americana* y *Corbicula fluminea*, esta última principalmente en la zona del lago.

En el último año se observó un incremento en el número de especies de insectos quironómidos, aunque la mayoría fueron de aparición esporádica adquiriendo mayor protagonismo en los subembalses, especialmente en el arroyo Aguapey.

En los dos años analizados se observó una alta variabilidad en la densidad total de organismos la cual osciló entre 18 y 2542ind/m² en las estaciones del cuerpo principal del embalse y entre 141 y 1825ind/m² en los subembalses. Las concentraciones medias más elevadas fueron registradas en la estación central del embalse (E4-C, $\bar{x}=1320ind/m^2$) y en la estación de entrada (E2, $\bar{x}=1101ind/m^2$; Tabla II). En la zona de transición las densidades variaron generalmente entre 100 y 450ind/m², con picos de abundancia aislados (agosto y octubre 1996, septiembre 1997).

En la zona de entrada y transición fue dominante la clase Oligochaeta, con porcentajes de composición entre 25 y 100%, siendo subdominantes los quironómidos con porcentajes entre 9 y 59%. En la zona lacustre la clase Oligochaeta fue dominante en la mayoría de las estaciones a excepción de la estación

del centro y margen derecha del embalse (E4-C y MD), en las que fue más importante el pelecípodo invasor *Corbicula fluminea*. Entre los oligoquetos, las especies *Aulodrilus pigueti*, *Bothrioneurum americanus* y *Pristina americana* fueron las más frecuentes y abundantes. En los subembalses también fueron dominantes los oligoquetos destacándose por su frecuencia y abundancia *Bothrioneurum americanus* y *Pristina americana* (Tabla II).

Los valores medios de diversidad específica en las estaciones del cauce principal oscilaron entre 1,10 y 2,39 bits, y en los subembalses fue de 2,12 bits en el arroyo Yacarey y 2,79 bits en el arroyo Aguapey.

Discusión

La represa Yacyretá tiene una combinación de características muy particulares que la convierten en un sistema con pocos análogos en el mundo. Esta combinación resulta de los siguientes rasgos (Peso y Bechara, 2007): embalse de llanura subtropical de gran superficie, escasa profundidad (media de 7m), bajo tiempo de residencia (<15 días), régimen de paso, basamento basáltico y bajo nivel trófico (oligotrófico). Los nuevos ambientes formados a partir del represamiento del río poseen características físicas y bióticas diferentes a las halladas en los tramos lóticos. Desde el llenado del embalse Yacyretá se observó una disminución del flujo hídrico y un aumento del tiempo de residencia, estableciéndose un gradiente longitudinal de condiciones (zonación) influenciado por el ciclo hidrológico y el manejo operativo de la represa (Meichtry de Zaburlín, 2002), situación que se mantuvo entre 1996 y 1998.

En el período de estudio se registró un incremento en la riqueza florística total del fitoplancton del 90% con respecto al primer año posterior al llenado del embalse Yacyretá (Meichtry de Zaburlín, 1999). Estos valores fueron ligeramente más elevados a los citados para el Paraná Superior en Brasil por Agostinho *et al.* (2007) y notablemente más bajos a los registrados para el embalse de Segredo, Brasil, durante el período posterior a su llenado (Júlio Jr. *et al.*, 1997). Comparativamente, la riqueza específica fue elevada respecto de la registrada en embalses argentinos más pequeños de la región noroeste (Tracanna *et al.*, 1996), así como en otros de la región central de tamaño similar a Yacyretá (Quirós y Luchini, 1982; Mariazzi *et al.*, 1991). El mismo incremento en la riqueza se observó en el zooplancton, el cual duplicó el número de entidades taxonómicas respecto al primer año después del llenado

del lago (Garrido, 1999). La tercera comunidad analizada correspondiente a los macroinvertebrados bentónicos, a diferencia de las anteriores, mantuvo bajos valores de riqueza, similares a los obtenidos en estudios previos (Peso y Bechara, 1999), ya que esta comunidad, a diferencia de las planctónicas, responde más lentamente a los cambios ambientales.

La densidad del fitoplancton en el cuerpo principal del embalse fue más elevada que la registrada el primer año después del llenado, con un valor medio máximo de 2545 ind/ml en la E4-MI (Meichtry de Zaburlín, 1999). De los dos ciclos anuales estudiados, la disminución evidenciada en el último año podría atribuirse a que el río Paraná permaneció con niveles hidrométricos elevados como consecuencia del fenómeno ENOS.

En la zona del embalse, con características lénticas, las mayores concentraciones de fitoplancton se debieron al aumento de Cryptophyceae durante el período de estudio, hallándose una correlación altamente significativa entre la abundancia total y la Clase. Este grupo, integrado por especies de pequeño tamaño, se vio favorecido por las nuevas condiciones generadas por el represamiento, principalmente por la reducción de la velocidad de la corriente, dominando en la mayoría de los muestreos. En la zona de entrada, con características lóxicas, fueron dominantes las Bacillariophyceae, principalmente *Aulacoseira granulata*, como es característico en el río Alto Paraná (Zalocar de Domitrovic y Vallejos, 1982; Bonetto *et al.*, 1983; García de Emiliani, 1990; Meichtry de Zaburlín, 2002). En la zona de transición, con características intermedias, entre lótico y léntico, dominaron alternativamente las Bacillariophyceae y Cryptophyceae. La dominancia de esta fracción del fitoplancton de pequeño tamaño también fue observada en el embalse de Segredo, Brasil en los primeros años después del llenado del vaso (Júlio Jr. *et al.*, 1997), así como en otras represas con alta tasa de renovación del agua (Tundisi, 1990, 1999). Por otra parte, las Cyanobacteria estuvieron escasamente representadas en el embalse. Coincidiendo con lo expresado por Reynolds y Walsby (1975) y Giani y Figueredo (1999), los sistemas con cortos tiempos de residencia no resultan favorables para el desarrollo de este grupo, pues son sensibles a cambios físicos de la columna de agua.

Cabe destacar que en las estaciones del lago donde se observaron condiciones más propicias para el desarrollo del plancton se registró un incremento de la densidad del zooplancton, asociado a una mayor abundancia del

fitoplancton, especialmente en la ribera izquierda donde se registró un mayor tiempo de residencia del agua. Las zonas de entrada y transición, en cambio, presentaron densidades más bajas y su variación estuvo fuertemente influenciada por las fluctuaciones del caudal y el nivel del río, presentando las mayores abundancias durante los estiajes.

En el zooplancton se registró una mayor riqueza de rotíferos en todas las secciones del embalse y en los arroyos tributarios, constituyéndose en el grupo dominante en la mayoría de los muestreos. La mayor riqueza y dominancia de este grupo fue observada en otras represas y se atribuye a la mayor capacidad de estos organismos para colonizar ambientes alterados e inestables proporcionado por sus estrategias reproductivas, como es típico de los estadios iniciales de los procesos de colonización de un embalse (Rzozka, 1966; Schmid-Araya y Zuñiga, 1992; Okano, 1995; Lopes *et al.*, 1997).

Observaciones similares, reflejando una etapa de colonización de nuevos hábitats, se registraron en la comunidad bentónica, donde se pudieron apreciar importantes modificaciones en la composición y porcentajes de participación de los principales grupos de la biota durante el período de estudio.

La composición cualitativa del bentos tuvo una marcada variación espacio temporal durante el período. Con respecto a estudios anteriores (Meichtry de Zaburlín *et al.*, 1995; Peso y Bechara, 1999) se observó una disminución en la abundancia total, pasando a dominar los oligoquetos. Los moluscos fueron abundantes en las estaciones del embalse, dominando en muchos casos la comunidad. Puntualmente para *Corbicula fluminea*, la capacidad de competir y desplazar a otras especies se debe en gran parte a su gran tolerancia a distintos tipos de sustratos (Peso y Bechara, 2007).

El predominio de oligoquetos, quironómidos y moluscos parece ser un rasgo característico de embalses tropicales y subtropicales, en tanto que los embalses más fríos muestran predominio de quironómidos y otros insectos, conjuntamente con oligoquetos, con una escasa contribución por parte de los moluscos (Peso y Bechara, 2007). No se observó una marcada estacionalidad en la diversidad, abundancia y composición en la mayoría de los sitios, al igual que lo sucedido en el primer año posterior al llenado (Peso y Bechara, 1999).

Los subembalses rurales presentaron características limnológicas distintas con respecto al cuerpo principal. Los mismos constituyen ambientes lentifi-

cados, con un mayor tiempo de residencia del agua y menor profundidad, permitiendo en consecuencia una mayor permanencia y reciclado de nutrientes. Estos fueron los principales factores responsables de la mayor ocurrencia de organismos, con pulsos de abundancia en diferentes épocas del año y con una composición específica distintiva, resultando en una variación lateral de la productividad que contribuye a la heterogeneidad espacial del embalse.

En el arroyo Yacarey, el grupo de las Euglenophyceae estuvo mejor representado, ya que estos organismos resultaron favorecidos con la presencia de materia orgánica en descomposición, asociada a un mayor tiempo de retención del agua. Coincidentemente, para el zooplancton la abundancia de organismos fue más elevada en los subembalses laterales, donde se registró una mayor diversidad de hábitats y oferta de alimento, debido a la presencia de vegetación inundada y de macrófitas. Respecto al bentos, adquirieron importancia los insectos en el arroyo Yacarey, y en el arroyo Aguapey fueron importantes tanto los insectos como los oligoquetos.

La edad del embalse definió por un lado que las comunidades acuáticas se encuentren en las primeras fases de la sucesión, y por ello sus poblaciones variaron detectándose muchas especies, en general, con baja abundancia. Por otro lado, en las estaciones del embalse tendieron a predominar especies de pequeño tamaño (r-estrategas) que caracterizan los estados iniciales de la sucesión y se ajustan mejor a este medio (Meichtry de Zaburlín, 2002).

En la zona del embalse las condiciones más propicias para el desarrollo del plancton se observaron en las estaciones de la ribera izquierda del lago, que corresponde a un área con mayor tiempo de residencia del agua, mayor temperatura y transparencia. Ello favorece altas tasas de reproducción de los organismos de ciclos de vida corto, respecto de otras secciones del embalse con mayor tasa de renovación del agua, como ocurre en las estaciones del centro y de la margen derecha.

La concentración de clorofila a fue baja en el cuerpo principal del embalse con valores un poco más elevados en los subembalses, con un máximo de $4,1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Los valores hallados ubican a este embalse en la categoría de oligotrófico la mayor parte del año y ocasionalmente como mesotrófico.

Los niveles de nutrientes encontrados no fueron limitantes para el desarrollo de las algas y los valores de ortofosfato y fósforo total fueron más elevados que los registrados en

estudios previos. La transparencia en la zona del embalse fue levemente superior con relación a las estaciones ubicadas aguas arriba. En la mayoría de las estaciones se halló una correlación positiva entre la abundancia algal y la transparencia del agua, e inversa con la altura del río, la concentración de sólidos totales y con el color; por lo que el efecto limitante de la penetración de la luz controlaría en parte las poblaciones del fitoplancton. En masas de aguas tropicales y subtropicales la limitación del crecimiento del fitoplancton por la luz se da probablemente en mayor grado que en las zonas templadas (Welcomme, 1979).

De la comparación con trabajos previos (Garrido, 1999; Meichtry de Zaburlín, 1999; Peso y Bechara, 1999) durante el período de estudio se pudo constatar que algunas variables tendieron a aumentar (fósforo total, ortofosfato) o a disminuir (nitrato, nitrito), mientras que otras (O_2 disuelto, conductividad, pH) se mantuvieron más o menos estables dentro de una escala de variación anual. La mayor densidad de las comunidades estudiadas en la zona del embalse estuvo asociada a las nuevas áreas más lénticas que propiciaron su aumento. No obstante, es necesario mencionar que el sistema se encontraba en un período inicial de ajuste a las nuevas condiciones impuestas por el represamiento, especialmente durante el último período, donde además comenzaron a manifestarse los efectos del fenómeno ENOS. Los indicadores de inestabilidad, tales como alteraciones en la abundancia o predominio de especies invasoras (*Cryptomonas* spp., *Chroomonas* spp., *Corbicula fluminea*), peculiares de las fases iniciales del represamiento, persistieron aún en el tercer año posterior al llenado.

Actualmente, y siguiendo el cronograma de llenado del embalse hasta alcanzar su cota máxima de 83msnm, se continúan observando cambios estructurales en las distintas comunidades, no sólo debido a las modificaciones en el tiempo de residencia del agua, sino también como consecuencia de la construcción de nuevas presas “aguas arriba” en territorio brasileño.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Nelson Pividori por las labores de monitoreo, a Martin Lefebvre (Canadá) por la revisión del texto en inglés, y a la Entidad Binacional Yacretá por el aporte financiero para la realización del presente trabajo y por proporcionar los datos ambientales.

REFERENCIAS

- Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM (2007) *Ecología e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. EDUEM. Maringá, PR, Brasil. 501 pp.
- APHA (1992) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18ª ed. American Public Health Association, Washington DC, EEUU. 710 pp.
- Bonetto CA, Zalocar de Domitrovic Y, Vallejos ER (1983) Fitoplancton y producción primaria del Alto Paraná. *Physys Secc. B* 41(101): 81-93.
- COMIP (1994) *La Fauna Ictica del Río Paraná*. Comisión Mixta Paraguayo-Argentina del Río Paraná. Argentina. 255 pp.
- García de Emiliani MO (1990) Phytoplankton ecology of the middle Paraná River. *Acta Limnol. Bras.* 3: 391-417.
- Garrido GG (1999) Composición y abundancia del zooplancton en dos estaciones de muestreo del embalse de Yacretá, Argentina, en las primeras etapas después del llenado a cota 76 m s.n.m. *Rev. Ictiol.* 7: 27-35.
- Giani A, Figueredo CC (1999) Recorrença de padrões sazonais do fitoplancton num reservatório eutrófico. En Henry R. (Ed.) *Ecología de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. FAPESP-FUNDIBIO. Botucatu, Brasil. pp. 531-550.
- Júlio Junior HF, Bonecker CC, Agostinho AA (1997) Reservorio de Segredo e sua inserção na bacia do rio Iguaçú. En Agostinho AA, Gomes LC (Eds.) *Reservatorio de Segredo: Bases Ecológicas para su Manejo*. EDUEM. Maringá, Brasil. pp. 1-17.
- Júlio Júnior HF, Thomaz SM, Agostinho AA, Latini JD (2005) Distribuição e caracterização dos Reservatórios. En Rodrigues L, Thomaz SM, Agostinho AA, Gomes LC (Eds.) *Biocenoses em Reservatórios - Padrões Espaciais e Temporais*. RiMa. São Carlos, Brasil. pp. 1-16.
- Kalff J (2002) *Limnology: Inland Water Ecosystems*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, EEUU. 592 pp.
- Lloyd M, Ghelardi RJ (1964) A table for calculating the “equitability” component of species diversity. *J. Anim. Ecol.* 33: 217-225.
- Lopes R, Lansac-Toha, F, do Vale R, Serafim Jr M (1997) Comunidade zooplancónica do reservatório de Segredo. En Agostinho AA, Gomes LC (Eds.) *Reservatorio de Segredo: Bases Ecológicas para su Manejo*. EDUEM. Maringá, Brasil. pp. 39-60.
- Lund JWG, Kipling C, Le Cren ED (1958) The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- Mariuzzi A, Conzonno V, Echenique R, Labollita H (1991) Physical and chemical characters, phytoplankton and primary production of Ezequiel Ramos Mexía Reservoir (Argentina). *Hydrobiologia* 209: 107-116.
- Meichtry de Zaburlín N (1999) La comunidad fitoplanctónica durante las primeras etapas de llenado del embalse de Yacretá, Argentina. *Rev. Ictiol.* 7: 15-26.
- Meichtry de Zaburlín N (2002) *Estructura de la Comunidad Fitoplanctónica en el Embalse Yacretá (Argentina-Paraguay)*. Tesis. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina. 128 pp.

- Meichtry de Zaburlín N, Garrido G, Permingeat E (1995) *Evaluación de los Parámetros Biológicos*. Estaciones Índices. Inf. Final. Convenio EBY-UNaM. 65 pp.
- Neiff JJ, Poi de Neiff ASG, Patiño CAE, Bastera de Chiozzi I (2000) Prediction of colonization by macrophytes in the Yacyretá reservoir of the Paraná river (Argentina and Paraguay). *Rev. Brasil. Biol.* 60: 615-626.
- Okano W (1995) *Structure and Dynamics of Zooplankton Community in Mojolinho Reservoir, São Carlos, SP*. Tesis. Universidade Federal de São Carlos. Brasil. 128 pp.
- Paiva MP (1982) *Grandes Represas do Brasil*. Editerra. Brasília, Brasil. 292 pp.
- Peso JG, Bechara JA (1999) Estructura del zoobentos del embalse de Yacyretá, Argentina en dos estaciones de muestreo, antes y después del llenado a cota 76 m.s.n.m. *Rev. Ictiol.* 7: 37-47.
- Peso JG, Bechara JA (2007) *Distribución Espacio Temporal del Zoobentos en el Embalse Yacyretá durante las Primeras Etapas de la Colonización*. Tesis. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina. 167 pp.
- Quirós R, Luchini L (1982) Características limnológicas del embalse Salto Grande, III: fitoplancton y su relación con parámetros ambientales. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 13: 49-66.
- Reynolds CS, Walsby AE (1975) Water blooms. *Biol. Rev.* 50: 437-481.
- Rice SP, Greenwood MT, Joyce CB (2001) Tributaries, sediment sources, and the longitudinal organization of macroinvertebrates fauna along river systems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 824-840.
- Roa BH, Meichtry de Zaburlín N, Permingeat ER, Peso JG, Garrido GG, Araya P (1995) *Estudio de Asociaciones de Organismos en Comunidades Acuáticas en el Embalse Yacyretá*. Inf. Programa de Incentivos. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. 50 pp.
- Rozka (1966) The biology of reservoirs in the USSR. En Lowe-McConnell RH (Ed.) *Man-Made Lakes*. Symposia of the Institute of Biology 15. Academia Press. Londres, RU. pp. 149-154.
- Schmid-Araya J, Zuñiga L (1992) Zooplankton community structure in two Chilean reservoirs. *Arch. Hydrobiol.* 123: 206-214.
- Shannon CE, Weaver W (1963) *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois University Press. Urbana, IL, EEUU. 177 pp.
- Thornton K, Kimmel BL, Paine FE (1990) *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives*. Wiley. Nueva York, EEUU. 256 pp.
- Tracanna B, Seeligmann C, Mirande V (1996) Estudio comparativo de la comunidad fitoplanctónica de dos embalses del Noroeste Argentino. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 27: 13-22.
- Tundisi JG (1990) Perspectives for ecological modelling of tropical and subtropical reservoirs in South America. *Ecol. Modell.* 52: 7-20.
- Tundisi JG (1999) Reservatórios como Sistemas Complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. E: Henry R (Ed.) *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. FAPESP-FUNDIBIO. Botucatu, Brasil. pp. 21-38.
- Utermöhl H (1958) Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodik. *Mitt. Int. Verein Limnol.* 9: 1-38.
- Welcomme RL (1979) *Fisheries Ecology of Floodplain Rivers*. Longman. Londres, RU. 317 pp.
- Zalocar de Domitrovic Y, Vallejos ER (1982) Fitoplancton del río Paraná. Variación estacional y distribución en relación a factores ambientales. *Ecosur* 9 (17): 1-28.
- Zalocar de Domitrovic Y, Poi de Neiff ASG, Casco SL (2007) Abundance and diversity of phytoplankton in the Paraná River (Argentina) 220 km downstream of the Yacyretá reservoir. *Braz. J. Biol.* 67: 631-637.

SPATIAL AND TEMPORAL SUCCESSION OF PLANKTONIC AND BENTHIC COMMUNITIES IN PERIODS AFTER THE FILLING PHASE OF THE YACYRETÁ RESERVOIR (PARANÁ RIVER, ARGENTINA-PARAGUAY)

Norma Meichtry De Zaburlín, Juana G. Peso, Gladys G. Garrido and Roberto E. Vogler

SUMMARY

Species composition of phytoplankton, zooplankton and benthos in the Yacyretá reservoir and their relationships with environmental conditions in the second and third year (February 1996-January 1998) after the filling phase of the dam at 76masl was analyzed. Samplings were carried out at 10 stations distributed upstream of the dam following a longitudinal pattern criteria. The communities were characterized by some emergent properties such as density, species richness, diversity, equitability, relative frequencies and dominant taxa. A total of 419 phy-

toplankton, 66 zooplankton and 56 macroinvertebrate taxa were recorded, being Bacillariophyceae and Cryptophyceae in phytoplankton, Rotifera in zooplankton, and Oligochaeta in benthos, the dominant groups during almost the whole study period. Differences in density and composition of the communities were identified among reservoir zones, and also when results were compared with previous studies conducted in the reservoir during the first year after impoundment.

SUCESÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO PLÂNCTON E BENTOS EM PERÍODOS POSTERIORES AO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO YACYRETÁ (RÍO PARANÁ, ARGENTINA-PARAGUAI)

Norma Meichtry De Zaburlín, Juana G. Peso, Gladys G. Garrido e Roberto E. Vogler

RESUMO

No presente trabalho se estudou a composição de espécies do fitoplâncton, zooplâncton e bentos do embalse de Yacyretá em relação com algumas variáveis ambientais durante o período fevereiro1996-janeiro1998, correspondentes ao segundo e terceiro ano posteriores ao enchimento do vaso ao nível 76msnm. Dez estações de amostragem foram selecionadas seguindo um critério de zonação longitudinal. As comunidades foram caracterizadas por algumas propriedades emergentes tais como densidade, riqueza e diversidade específica, uniformidade, frequên-

cias relativas e grupos taxonômicos dominantes. O fitoplâncton esteve representado por 419 táxons, o zooplâncton por 66 e a comunidade bentônica por 56, sendo Bacillariophyceae e Cryptophyceae os grupos dominantes no fitoplâncton, Rotifera no zooplâncton, e Oligochaeta no bentos durante quase todo o período de estudo. Encontraram-se diferenças em composição e densidade das comunidades entre as distintas áreas do reservatório, e em relação aos estudos prévios efetuados na represa durante o primeiro ano após o enchimento do lago.