

## Efectos provocados por la Central Nuclear Atucha I sobre las larvas de peces del Río Paraná de las Palmas (Argentina)

Liliana MERCADO<sup>1</sup> y Sergio E. GÓMEZ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Limnología «Dr. Raúl A. Ringuelet» (UNLP-CONICET), Casilla de Correo 712, 1900 La Plata, Argentina. <sup>2</sup>Museo Argentino de Ciencias Naturales «Bernardino Rivadavia», Av. Angel Gallardo 470, 1405 Buenos Aires, Argentina.

**Abstract:** Effects caused by the Nuclear Power Plant Atucha I on the fish larvae of the Parana de las Palmas River (Argentina). Certain effects caused by the Nuclear Power Plant Atucha I (33° 58' S - 59° 12' W) on the fish larvae of the Paraná de las Palmas River (lower Paraná) were identified. Surveys were carried out every 45 days from March 1995 to August 1996. Larvae were sampled in five stations: upstream and downstream the plant, at the entrance and exit of the refrigerating circuit and at the exit of the central derivation channel. Physical and chemical variables were measured except for the last station. Larvae of the families Curimatidae, Characidae, Sciaenidae and Pimelodidae were identified. Total larval average length was measured, as well as the average length for each particular taxon. Percentage of larvae impacted by thermal and mechanical effects was calculated through subsampling. Simulation bioassays were performed in order to assess the thermal impact caused by the nuclear plant. It was observed that the main factor which accounts for the larval mortality would not be the thermal impact but the mechanical impact produced upon larvae when passing through the plant refrigerating circuit. This impact consisted in rapid pressure changes, retention by the metal strainers which are used to filter water before entering the circuit, and the intense turbulence produced in it.

**Key words:** fish larvae, nuclear plant, Paraná River, environmental impact.

La cuenca del Río Paraná es el quinto sistema fluvial en importancia a nivel mundial y el segundo en América del Sur, después del Amazonas. Posee un área de 3 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> compartida por cuatro países: Brasil, Paraguay, Bolivia y Argentina; un caudal de entre 18000 y 25000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en su desembocadura y una longitud de aproximadamente 4000 km. El tramo inferior del Río Paraná comienza aguas abajo de la ciudad de Diamante (32° 05' S - 60° 58' O), a partir de allí se registra una ampliación notable del valle aluvial. El área está constituida por una innumerable red de brazos secundarios, ríos, arroyos y canales artificiales, con una superficie aproximada de 15000 km<sup>2</sup>. En la zona de estudio el Paraná inferior está dividido en dos brazos principales: el Paraná Guazú y el Paraná de las Palmas, delimitando un vasto delta habitado por numerosas especies de peces que constituye un recurso de gran importancia a través de la pesca comercial y deportiva o como ambiente único por su biodiversidad (Bonetto & Hurtado, 1998).

Se han realizado estudios de distribución y abundancia de larvas y juveniles de peces en el tramo superior del Río Paraná (Sato & Godinho, 1988; Agostinho *et al.*, 1993; Nakatani *et al.*, 1997; Tenório-Baumgartner, 1995), pero se cuenta con escasa información acerca de otros secto-

res, habiéndose realizado descripciones acerca del desarrollo larval de especies de la sección media (Oldani, 1977; 1979 a y b; 1983; Rossi, 1994). Acerca del bajo Paraná, se cuenta con trabajos realizados por Fuentes & Espinach Ros (1998) quienes analizan variaciones espaciales y temporales en un punto del río Paraná de las Palmas y Mercado *et al.* (1998) en el cual se describe la ictiofauna de este río (larvas, juveniles y adultos) en la zona de influencia de la Central Nuclear Atucha I (CNA-I).

La calidad de las aguas del Río Paraná y su hidrología en general es importante para las larvas de peces, ya que es en este ambiente fluvial donde ocurre el desove de muchas especies que completan en él las primeras etapas de su desarrollo (Rossi, 1994). La mortalidad es alta en los estadios iniciales de vida; entre los muchos factores asociados a ésta se encuentran los relacionados a la ecología trófica del ictioplancton, como el momento del inicio de la alimentación externa, los efectos de la inanición y el tamaño y la densidad de las especies presa.

Si bien la literatura internacional cuenta con numerosas referencias acerca del impacto químico, mecánico y/o térmico ocasionado por centrales nucleares sobre el ictioplancton (Marcy, 1971; Jude *et al.*, 1982; Gregoire *et al.*, 1993), en

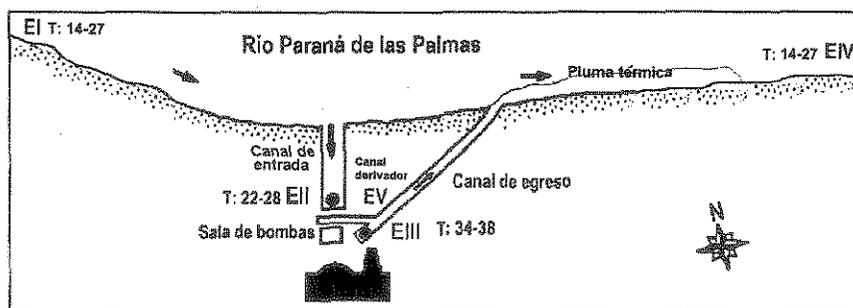


Fig. 1. Diagrama de la Central Nuclear Atucha I con la ubicación de las estaciones de muestreo (EI a EV) con indicación del rango de temperaturas (T) en EI a EIV.

la Argentina prácticamente no existen antecedentes sobre este tema.

La CNA-I, la más austral del mundo, se encuentra sobre la margen derecha del Río Paraná de las Palmas, cerca de la ciudad de Lima (Zárate, Pcia. de Buenos Aires) (Fig. 1). Posee un sistema de refrigeración por el que circulan  $69600 \text{ m}^3$  de agua por hora, que son devueltos al río a mayor temperatura produciendo una pluma térmica aguas abajo de la desembocadura. El agua utilizada por la CNA-I equivale al 0,36 % del caudal del río en el sector (Mercado & Gómez, 1998). El caudal medio anual del Río Paraná de las Palmas es de  $5400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Urien, 1972), tiene 425 metros de ancho en la zona de muestreo y una profundidad máxima de 30 metros. El tiempo de residencia del agua dentro de la central es de 6 minutos. En la CNA-I no se utilizan sustancias nocivas u otra clase de desincrustantes químicos, sino que consta de un sistema autolimpiante integrado por esferas de caucho. Esto resulta de importancia ya que el efecto tóxico de algunas sustancias químicas puede actuar en forma sinérgica con el incremento de la temperatura (por ejemplo, adiciones de  $\text{HClO}$ ) (Khalanski & Lutz, 1987; Gregoire *et al.*, 1993).

El canal de entrada al circuito es perpendicular a la línea de la costa del río y sus dimensiones son de aproximadamente unos 140 m de largo y 40 m de ancho (Fig. 1). Al final del canal se encuentra una sala de bombeo. El ingreso a las bombas está protegido por una reja de 10 cm de espacio entre barras paralelas, que retiene objetos de gran dimensión (árboles, ramas etc.), luego un dispositivo de forma de «rastrillo», autolimpiante, cuya malla posee orificios de 3 x 3 cm y posteriormente un dispositivo compuesto por tamices de 1 mm de diámetro de poro donde se retienen peces juveniles, larvas de peces y material particulado. Dichos tamices se colmatan con el tiempo y son limpiados cada 2 horas. Los

peces (principalmente adultos y juveniles, como también larvas) que son retenidos por los tamices son arrojados a un canal derivador que comunica la sala de bombeo con el canal de salida, sin pasar por el circuito de refrigeración. Dicho canal, de hormigón armado, es pequeño, de aproximadamente 50 cm de ancho y 50 cm de profundidad. Después de su paso por el sistema de intercambio de calor, el agua es devuelta al río junto con el agua remanente por un canal de salida de aproximadamente 400 m de largo y 17 m de ancho (Fig. 1).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los daños sufridos por el ictioplancton del Río Paraná de las Palmas debidos a su paso por el sistema de refrigeración y canal derivador de la CNA-I mediante técnicas de campo y laboratorio y estimar los efectos que esto provocaría sobre la comunidad ictioplanctónica.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron once muestreos cada aproximadamente 45 días desde marzo de 1995 hasta agosto de 1996. Las muestras de larvas de peces se obtuvieron en aguas superficiales (0,5 a 1 m de profundidad) sobre la margen derecha del Río Paraná de las Palmas, en cinco estaciones de muestreo (E): aguas arriba y abajo de la CNA-I (I y IV), a la entrada y salida del circuito de enfriamiento (II y III, respectivamente) y en el canal derivador de la central (V) (Fig. 1). En las EI a EIV se midieron parámetros físicos y químicos: pH (sensor de pH ORION), temperatura y oxígeno disuelto (oxímetro YSI 51 B) y transparencia (disco de Secchi). En cada fecha se calculó la diferencia térmica ( $\Delta T$ ) entre las temperaturas de las EI y EIII.

Para la recolección de larvas en las EI y EIV se utilizó una embarcación y en las EII y EIII las

muestras se tomaron desde el borde de ambos canales. Se utilizó una red de ictioplancton cónica, de 400  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro, 95 cm de longitud y de 30 cm de diámetro de boca, con frasco colector y con un lastre que la mantuvo a la profundidad deseada. En las EI y EIV esta red se mantuvo fija a la parte lateral de la embarcación, manteniendo una velocidad constante. En cada estación y fecha de muestreo se realizó un lance cuya duración promedio fue de 12 minutos. El volumen filtrado por lance fue estimado entre 60 y 63  $\text{m}^3$ . En la estación V no se efectuaron registros físicos y químicos y sólo se extrajeron larvas de peces mediante un copo de mano (diámetro de poro = 1mm).

En las EI a EIV se tomaron submuestras en las cuales se observó la proporción de larvas impactadas utilizando una lupa de mano. Se consideraron como impactadas a las larvas muertas o visiblemente deterioradas: pérdida de la capacidad de natación coordinada, presencia de derrames o laceraciones, etc.

El material colectado en las EI a EV fue fijado *in situ* con formol al 10%. Las larvas fueron separadas del zooplancton, crustáceos y de la materia orgánica, utilizando lupa binocular y micropipeta. Se midió la longitud total (LT en mm) de cada individuo tomando un número de larvas que varió entre 10 y 30 según la cantidad de larvas colectadas en cada estación. Se calculó la longitud total promedio (LTP) y la desviación estandar (DE) para cada taxon en particular. En las EI a EIV se calculó la densidad de larvas cada 100  $\text{m}^3$ .

En la definición de las etapas de desarrollo larval se siguió el criterio citado por Kendall *et al.* (1983) considerándose tres etapas en relación al estado de flexión de la notocorda: preflexión, flexión y postflexión. Para la identificación de las larvas se aplicó la técnica de Dingerkus & Uhler (1977) con modificaciones. Los ejemplares de la etapa postflexión fueron determinados según Ringuélet *et al.* (1967).

El 19/4/96, con una temperatura del agua del Río Paraná de las Palmas de 20°C, se capturaron 60 ejemplares que fueron trasladados vivos al laboratorio para realizar bioensayos de simulación, con el objetivo de someter a los ejemplares a los mismos cambios térmicos que sufren en el circuito de la central, pero sin el efecto mecánico producido durante la circulación por las cañerías. Estas larvas fueron aclimatadas en condiciones de laboratorio durante cuatro días a 20°C. La LT de los ejemplares empleados varió entre los 6 y 7 mm. En el experimento se utilizó agua del río, una resistencia de intensidad variable y aireación moderada. Las temperaturas

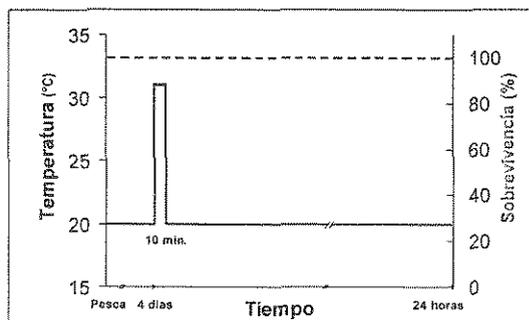


Fig. 2. Variación de la temperatura y porcentaje de sobrevivencia (línea punteada) en el bioensayo de simulación realizado con larvas de peces del Río Paraná de las Palmas.

se registraron a la décima de grado con una lectura por minuto manteniendo la temperatura constante en  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Se utilizaron 40 larvas en total, se empleó un grupo testigo y 3 réplicas (total = 4 grupos). Las larvas fueron trasladadas abruptamente desde 20°C a 31°C, que corresponden a las temperaturas medidas aguas arriba y a la salida de la central en el momento del muestreo, sin pasar por temperaturas intermedias (Fig. 2), mediante un recipiente de plástico con ventanas. Las larvas se mantuvieron a 31°C durante 10 minutos, que corresponde aproximadamente al tiempo de pasaje de los individuos por los circuitos refrigerantes de la central y su posterior tránsito a través de la pluma térmica producida aguas abajo de la confluencia del canal de salida con el río. Luego fueron trasladadas abruptamente a 20°C simulando la posterior salida de la pluma térmica y se registró el porcentaje de sobrevivientes a cada hora, durante las 24 horas posteriores al bioensayo.

Para el análisis estadístico se utilizó el test *t*-de Student (Sokal & Rohlf, 1979) para verificar si existían diferencias de temperatura o de densidad larval entre las estaciones de muestreo (EI a EIV).

## RESULTADOS

### Parámetros físicos y químicos. Características de la pluma térmica

La temperatura del agua en el Río Paraná de las Palmas y en el canal de captación del circuito de refrigeración (EI, EII, EIV) varió entre 14 (invierno) y 28°C (verano), mientras que a la salida del circuito de enfriamiento (EIII) se registró un rango de variación comprendido entre 22 y 38°C (Tabla 1). Solamente se encontraron diferencias significativas entre las temperatu-

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos medidos en aguas superficiales del Río Paraná de las Palmas en las estaciones I a IV, densidad de larvas de peces cada 100 m<sup>3</sup>, porcentaje de larvas impactadas (% imp.), longitud total promedio (LTP) y número de larvas (N) empleadas para las mediciones.

Fecha	E	T (°C)	O <sub>2</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	Transp. (cm)	pH	Dens. cada 100 m <sup>3</sup>	% Imp.	LTP (mm)	N
21/3/95	EI	26,0	5,0	28	7,3	-	-	-	-
	EII	26,0	5,1	33	7,3	-	-	-	-
	EIII	37,0	5,2	21	7,2	12	100	4,3 ± 0,9	8
	EIV	26,0	5,2	24	7,3	-	-	-	-
3/5	EI	20,0	6,1	19	6,2	-	-	-	-
	EII	20,0	6,4	19	6,4	-	-	-	-
	EIII	31,0	6,3	-	6,5	-	-	-	-
	EIV	20,0	6,2	18	6,6	-	-	-	-
13/6	EI	17,0	8,2	21	6,5	-	-	-	-
	EII	16,0	8,2	21	6,9	-	-	-	-
	EIII	28,0	7,8	22	6,9	-	-	-	-
	EIV	17,0	8,0	19	7,0	-	-	-	-
8/8	EI	14,0	9,4	23	-	-	-	-	-
	EII	14,0	10,0	23	-	-	-	-	-
	EIII	22,0	9,0	-	-	-	-	-	-
	EIV	14,0	10,0	23	-	-	-	-	-
21/9	EI	18,0	7,8	-	7,4	-	-	-	-
	EII	18,0	8,2	-	7,4	-	-	-	-
	EIII	29,0	7,2	-	7,4	-	-	-	-
	EIV	18,0	8,6	-	7,5	-	-	-	-
14/11	EI	23,0	5,8	14	7,3	716	5	5,1 ± 0,9	30
	EII	23,0	4,8	18	7,1	330	10	5,5 ± 1,1	30
	EIII	35,0	5,2	-	7,1	403	75	5,3 ± 1,8	30
	EIV	24,0	4,8	16	7,1	2655	10	5,1 ± 1,1	30
19/12	EI	27,0	6,8	15	7,3	5	10	4,3 ± 1,2	20
	EII	28,0	6,8	18	7,4	125	10	4,1 ± 1,3	20
	EIII	36,0	6,8	-	7,4	43	70	4,1 ± 1,3	20
	EIV	27,0	6,8	19	7,4	33	15	5,5 ± 1,3	20
27/2/96	EI	27,0	9,0	10	7,1	800	10	5,0 ± 1,2	30
	EII	26,0	8,8	10	7,2	500	10	4,2 ± 1,1	30
	EIII	38,0	13,0	-	7,2	1100	80	4,0 ± 1,3	30
	EIV	26,0	8,8	9	7,0	1000	5	4,8 ± 1,0	30
23/4	EI	21,0	7,6	13	7,1	489	10	5,2 ± 1,3	30
	EII	23,0	7,2	17	7,1	250	5	4,5 ± 1,1	30
	EIII	34,0	7,3	-	7,1	200	60	3,9 ± 1,2	30
	EIV	22,0	7,4	17	7,1	150	15	4,3 ± 1,1	30
25/6	EI	14,0	8,4	21	7,0	-	-	-	-
	EII	14,0	8,8	24	7,0	-	-	-	-
	EIII	25,0	9,1	-	7,1	-	-	-	-
	EIV	14,0	7,6	23	7,2	-	-	-	-
21/8	EI	17,0	9,0	33	7,3	-	-	-	-
	EII	18,0	8,8	38	7,3	-	-	-	-
	EIII	19,0	10,0	31	7,3	-	-	-	-
	EIV	18,0	9,6	35	7,4	-	-	-	-

ras de las EII y EIII ( $p < 0,05$ ). El  $\delta T$  en cada fecha de muestreo osciló entre los 8 y 12°C siendo la más comunmente observada de 11°C durante 6 de los 11 muestreos realizados. El menor  $\delta T$  (8°C) se observó en coincidencia con las temperaturas mínimas y máximas en el río (14 y 28°C, respectivamente). La pluma térmica tuvo una extensión aproximada de 1000 m, un ancho promedio de 60 m y una profundidad de 3 m.

El pH varió entre 7,0 y 7,4. El oxígeno disuelto (EI, II y IV) varió estacionalmente entre 4,8 mg l<sup>-1</sup> y 9,0 mg l<sup>-1</sup>; en la EIII se registraron valores de entre 5,2 mg l<sup>-1</sup> y 13,0 mg l<sup>-1</sup> (Tabla 1). La concentración de oxígeno disuelto no disminuyó en la EIII. Los valores de transparencia variaron entre 9 y 33 cm (Tabla 1). En la EIII no pudo medirse, debido a la turbulencia presente a la salida del circuito.

#### Variaciones temporales de la abundancia y características de las larvas de peces

En las 20 muestras recogidas (EI a EIV) se contabilizaron un total de 2032 larvas de peces, además mediante un copo de mano se colectaron 340 larvas en la EV (Tabla 1 y 2).

Del total de los 11 muestreos realizados en las EI a EIV sólo se capturaron larvas en 5 muestreos, cuando la temperatura del agua fue igual o mayor a 21°C. En la Tabla 1 y Figura 3 se observa que se recogieron larvas de peces en los meses de marzo, noviembre y diciembre de 1995 y febrero y abril de 1996. La densidad media registrada durante este período fue de 518 larvas cada 100 m<sup>3</sup>. La máxima densidad larval en el Río Paraná (2655 larvas cada 100 m<sup>3</sup>) se registró en el mes de noviembre de 1995 en la EIV, habiéndose presentado densidades elevadas hasta fines de abril de 1996. En esta misma

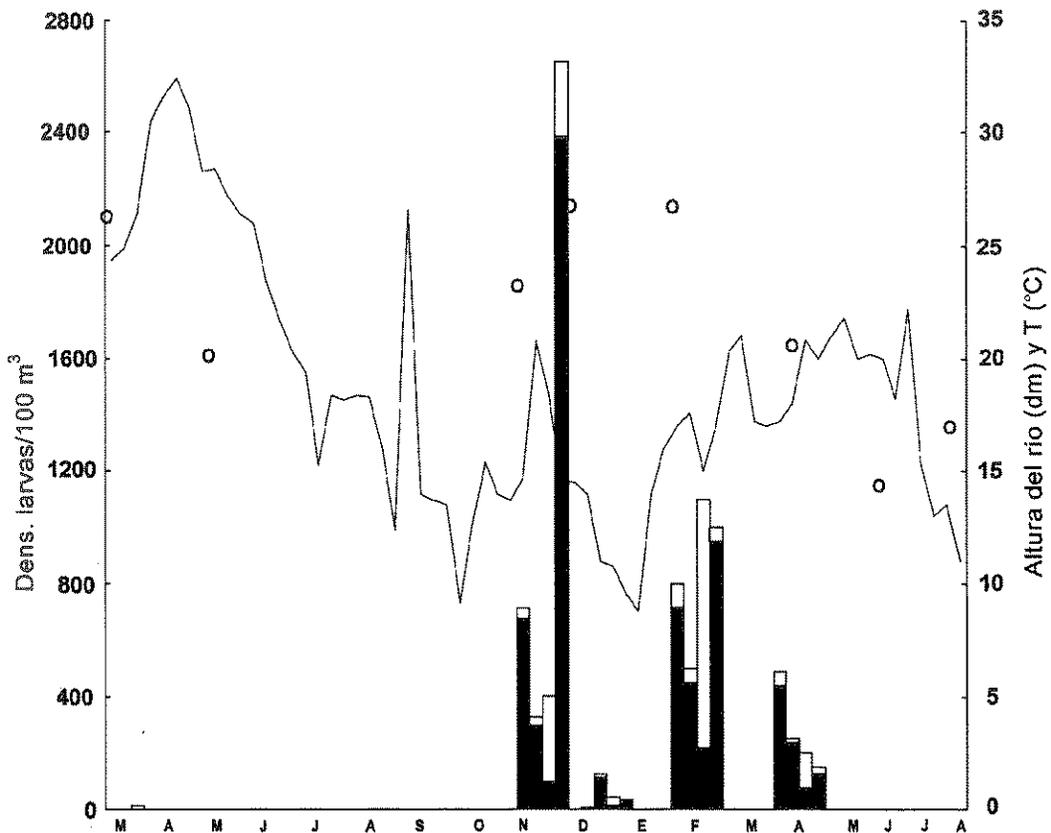


Fig. 3. Variación hidrométrica (línea), temperatura (círculos) del Río Paraná de las Palmas y densidades de larvas de ictioplancton impactadas (blanco) y larvas no impactadas (negro) en las estaciones I a IV desde marzo de 1995 hasta agosto de 1996.

fecha, cuando la densidad larval en la EIII fue de 200 larvas cada 100 m<sup>3</sup>, se presentó el  $\delta T$  máximo (Fig. 4a). Las densidades de larvas en las EI y EIV no mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Se observó en cada fecha de muestreo un porcentaje variable de entre 60 y 100% de larvas impactadas en EIII (Tabla 1 y Fig. 3). En la Fig. 4b se observa que el porcentaje de larvas impactadas fue mayor en el mes de marzo de 1995, cuando el  $\delta T$  fue de 11°C y cuando se presentó la densidad larval mínima en la EIII (Fig. 4a, 12 larvas cada 100 m<sup>3</sup>). En EI, EII y EIV se observó que este porcentaje varió entre 5 y 15 %.

En la estación V se registró un elevado porcentaje (50-60 %) de larvas impactadas.

De las 2372 larvas encontradas en las EI a EV, sólo 72 fueron identificadas. La mayor dificultad consistió en que presentaban un temprano desarrollo (etapa preflexión). La LT promedio de las larvas recogidas con red de ictioplancton fue de  $4,5 \pm 0,5$  mm (N=275) mientras que la LT promedio de las capturadas con el copo de mano fue de  $4,3 \pm 2,5$  mm (N=300). En la Tabla 2 se consignan las especies o familias de larvas identificadas: *Sorubim lima*, *Raphiodon vulpinus*, Flías. Curimatidae, Characidae, Pimelodidae y Scianidae y el número de individuos hallados en las cinco estaciones de muestreo.

En todos los puntos de muestreo se recogieron larvas de cucharón, *Sorubim lima* (N=21), cuya longitud total promedio fue de  $13,2 \pm 4,1$  mm (N=11) (red de ictioplancton) y de  $10,2 \pm 2,2$  mm (N=10) (copo de mano). De acuerdo con el desarrollo larval, las larvas encontradas pertenecían a la etapa de flexión.

Se identificaron larvas de la Flía. Pimelodidae (N=40) cuya LT promedio fue de  $10 \pm 1,7$  mm (N=20) (red de ictioplancton) y  $25 \pm 8,2$  mm; N=20 (copo de mano), las que pertenecían a la etapa de flexión, como también una única larva de la Flía. Scianidae, la que pertenecía a la misma etapa (LT=11 mm) (red de ictioplancton) (Tabla 2).

En la EV se capturaron larvas de chafalote, *Raphiodon vulpinus* (LT promedio  $26,5 \pm 4,9$  mm; N=10) que presentaban características del individuo adulto (etapa postflexión).

Como resultado del experimento de simulación se observó que no hubo mortalidad de larvas ni en el control ni en las tres réplicas, habiéndose realizado las últimas observaciones en las 24 hs. posteriores al bioensayo (Fig. 2). Se observó que cuando las larvas fueron expuestas abruptamente a 31°C por 10 minutos, éstas realizaban movimientos de natación no coordinada,

dirigiéndose hacia arriba y hacia abajo del recipiente. Al ser devueltas al recipiente con 20 °C recuperaban la natación coordinada al cabo de 2 a 3 minutos.

## DISCUSIÓN

Los parámetros físicos y químicos medidos en el presente estudio fueron similares a los reportados en el bajo Paraná por Bonetto *et al.* (1994) y Villar *et al.* (1998 b). El  $\delta T$  entre la temperatura de las EI y EIII fue similar al observado en otras centrales nucleares (Khalansky & Lutz, 1987; Gregoire *et al.*, 1993). Respecto del pH, los valores más bajos se registraron durante los muestreos de mayo y junio de 1995, cuando se marcaban las alturas máximas del nivel del agua. Durante el período de aguas altas provocado por las lluvias en la alta cuenca, la interacción entre el río y su valle aluvial es mayor, provocando la disminución del pH del agua del río. El pH del agua del río no sufrió alteraciones en la EIII en relación a la EI, demostrando que dentro de las tuberías del circuito no se vuelcan sustancias que afecten el pH del río. Las concentraciones de oxígeno no disminuyeron en la EIII. El máximo valor registrado en esta estación ( $13 \text{ mg l}^{-1}$ ) indica que en algunos casos la turbulencia presente en las cañerías de la CNA-I provoca la sobresaturación de oxígeno en el agua. Los valores de disco de Secchi indican que la transparencia en general es menor durante el período de aguas bajas, en donde el Paraná recibe importantes cantidades de sedimentos proveniente del Río Bermejo, lo que muestra la influencia de los intensos procesos de erosión que ocurren en las montañas de Los Andes (Pedrozo *et al.*, 1988).

La captura de larvas de peces en los muestreos realizados entre noviembre de 1995 y abril de 1996, coincide con el período estival en el que se reproducen la mayoría de las especies, para las que el aumento de la temperatura y del nivel hidrométrico serían los estímulos más importantes (Gosso & Iwaszkiw, 1990). La sincronización entre el desove en ambientes lóticos y el ciclo hidrológico ha sido interpretada como una estrategia adaptativa desarrollada por numerosas especies de peces que utilizan la fase de inundación como forma de acceso a las lagunas de la llanura aluvial, donde son mayores las posibilidades de refugio y alimento para las larvas y juveniles (Godoy, 1972; Bonetto, 1976). La densidad máxima (2655 larvas cada 100 m<sup>3</sup>) fue mayor a la observada aguas abajo, en la zona de Zárate (Fuentes & Espinach Ros, 1998) y a las registradas en el alto Paraná (Nakatani *et al.*,

1997; Gil Morlis *et al.*, 1999) y en el Paraná medio (Rossi, 1994).

En todos los puntos de muestreo se recogieron larvas de cucharón, *Sorubim lima*. A pesar de la simultaneidad en el período de desove de esta especie con otros pimelódidos presentes en el Río Paraná, la identificación de estas larvas se vio altamente favorecida por su particular pigmentación y morfología bien descrita por Rossi (1994).

Dada las características morfológicas de las larvas no identificadas (EI a EV), muy semejantes a las de las larvas presentadas en los gráficos del trabajo de Sverlij *et al.* (1993), la mayoría de estas larvas pertenecerían a la especie *Prochilodus lineatus*. Fuentes & Espinach Ros (1998) citan a dicha especie como la más abundante en el ictioplancton del Río Paraná de las Palmas, a la altura de Zárate (44,3 % del total).

El porcentaje de larvas impactadas en la EIII varió entre 60 y 100 % (promedio=77 % DE 14,83) demostrando un notable efecto perjudicial por parte de la CNA-I. El mayor porcentaje de larvas impactadas (100 %) no coincidió con el período de mayor densidad larval ni con el de mayor  $\delta T$ , aunque el número de larvas muestreadas fue muy pequeño. Este hecho podría llegar a considerarse como un atenuante de los efectos que causa la central sobre las larvas de peces.

En las estaciones I, II y IV el porcentaje de larvas impactadas varió entre 5 y 15 %. Los porcentajes en EI y EII no son atribuibles al impacto térmico de la CNA-I, sino que se deberían a la mortalidad natural de las larvas y a los efectos ocasionados por el método de muestreo.

El elevado deterioro de las larvas de peces en la EV indica que sufren un notable impacto mecánico al ser retenidas contra las mallas de los

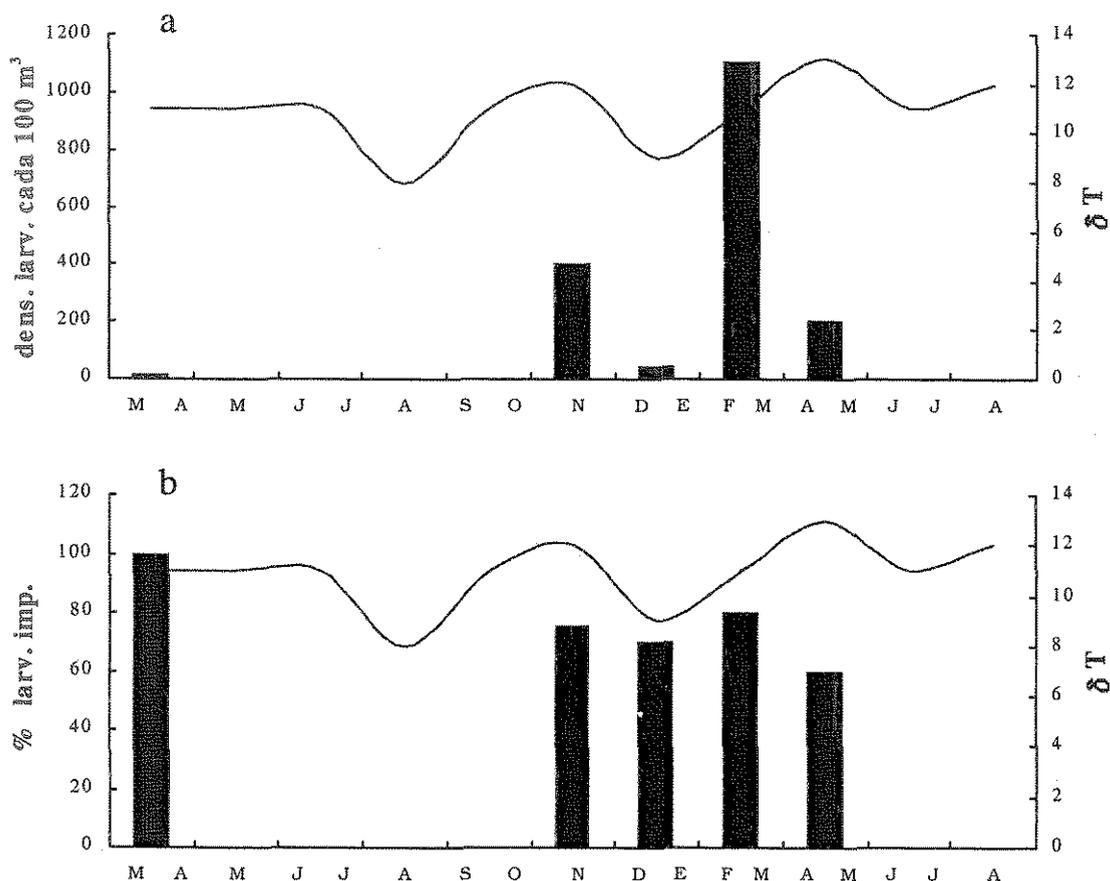


Fig. 4. a. Densidades larvales en la EIII (barras) y variación del  $\delta T$  ( $T^{\circ}$  EIII -  $T^{\circ}$  EI) desde marzo de 1995 hasta agosto de 1996. b. Porcentaje de larvas impactadas en la EIII (barras) y variación del  $\delta T$  desde marzo de 1995 hasta agosto de 1996.

Tabla 2. Número y longitud total promedio (LTP) de los ejemplares capturados en las estaciones I a V.

Estaciones	Determinación	Arte de pesca	LTP (mm)	N° total
EI a EIV	Sorubin lima	red ictiopl.	13,2 ± 4,1	11
"	Flia. Pimelodidae	"	10,0 ± 1,7	20
"	Flia. Scianidae	"	11	1
"	Larvas no ident.	"	4,5 ± 0,5	2000
EV	R. vulpinus	copo de mano	26,5 ± 4,9	10
"	Sorubin lima	"	10,2 ± 2,2	10
"	Flia Pimelodidae	"	25,0 ± 8,2	20
"	Larvas no ident.	"	4,3 ± 2,5	300

tamices hasta que son lavados con agua a presión y al ser arrastradas posteriormente a través del canal de cemento.

Mediante el bioensayo se determinó que el aumento de temperatura al que se somete el agua en la central no sería determinante de la muerte de las larvas, ya que los ejemplares fueron sometidos a los mismos saltos térmicos que ocurren en la central y sobrevivieron la totalidad de los individuos. El impacto mecánico que experimentan las larvas al pasar por el circuito sería el responsable de su deterioro físico y por ende de la elevada proporción de larvas impactadas registrada en la EIII. El aumento y posterior descenso de temperatura, sin embargo, tendría un efecto desfavorable sobre las larvas ya que el estrés térmico podría disminuir sus probabilidades de sobrevivencia cuando son devueltas al cauce del río.

También es importante considerar que dentro de las cañerías de refrigeración existen bruscos cambios de presión debido a la turbulencia, lo que sería un factor condicionante para la sobrevivencia de larvas de peces (Hoss & Blaxter, 1979; Blaxter & Hoss, 1979).

Respecto del impacto térmico de centrales nucleares, el tiempo en que el plancton está expuesto a altas temperaturas depende en gran parte de la longitud del canal de descarga. La CNA - I posee un canal de salida relativamente corto (400 m) y el tiempo de residencia es comparativamente breve (6 minutos). Otras centrales nucleares causan efectos mucho más severos sobre el plancton entrante debido al elevado tiempo requerido por el agua para pasar desde el canal de entrada hasta el punto de descarga. La relación entre los requerimientos de agua de la central respecto al caudal del río determina que

circule a través del circuito de enfriamiento, en términos de promedio, el 0,36 % del caudal del Río Paraná de las Palmas.

Es de destacar el escaso tamaño de la pluma térmica, esto se debe al relativamente bajo caudal utilizado por la CNA-I y la fuerte corriente del Río Paraná que favorece la mezcla. Sin embargo, la distribución espacial de las larvas de peces no es homogénea en toda la sección del río (Fuentes & Espinach Ros, 1998) tendiendo a segregarse alcanzando mayores concentraciones en ambas márgenes donde encuentran refugio, alimento y donde es menor la velocidad de la corriente. Si la distribución de las larvas fuese homogénea en todo el perfil transversal del río, sólo se verían impactadas el 0,36 % de las larvas que derivan por el río. Considerando una distribución de tipo homogénea y la densidad larval promedio observada en el período de presencia de larvas (518 larvas cada 100 m<sup>3</sup>), se puede estimar que entre 1 y 2 larvas (1,86) cada 100 m<sup>3</sup> se verían afectadas por la actividad de la central.

La ausencia de huevos y embriones en las muestras analizadas, en coincidencia con trabajos de marcación de peces en el sistema formado por el bajo Paraná, el Río de la Plata y el tramo inferior del Río Uruguay (Bonetto *et al.*, 1981; Sverlij & Espinach Ros, 1986; Espinach Ros *et al.*, 1990; Sverlij *et al.*, 1993) y trabajos realizados dentro de la misma área de estudio (Fuentes & Espinach Ros, 1998) sugieren que los desoves no ocurren en el área de estudio, sino aguas arriba del Paraná medio. Los huevos, larvas y juveniles se desplazan aguas abajo concentrándose en las márgenes para ingresar a los ambientes leníticos del valle aluvial de esta sección del río, donde se desarrollan en un ambiente de mayor refugio y disponibilidad alimentaria (Bonetto,

1963, 1986; Bonetto *et al.*, 1981). En la zona de estudio no se encuentran ambientes óptimos como para ser una zona de desove.

Por lo tanto y en coincidencia con Villar *et al.* (1998 a) se concluye que la CNA-I no impacta sobre las zonas de reproducción, desove o cría ya que éstas se encuentran aguas arriba. En particular, el afluente más austral del Paraná que registra movimientos migratorios de importancia es el Río Carcarañá (Gómez & Toresani, 1998), cuya desembocadura en el Paraná se sitúa aproximadamente 200 km aguas arriba de la central.

Se concluye que el principal factor de impacto sobre el ictioplancton es la acción mecánica producida en el circuito de refrigeración y canal derivador de la CNA-I, aunque se desconoce la proporción respecto del total que es afectado. Se estima que dicha proporción es muy pequeña dado que el porcentaje de larvas impactadas no difiere significativamente ( $p < 0,05$ ) entre las estaciones de muestreo ubicadas aguas arriba y abajo de la misma.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al laboratorio de Sistemática del Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" (ILPLA), en especial a Amalia Miquelarena y a Lucila Protogino la colaboración y el asesoramiento brindado acerca de las determinaciones de las larvas estudiadas. Este estudio fue parcialmente financiado por el PIP N° 4738 del CONICET.

#### BIBLIOGRAFIA

- Agostinho, A. A.; Vazzoler, A. E. A. De M; Gomes, L. C. & E. K. Okada. 1993. Estratificación espacial y comportamiento de *Prochilodus scrofa* en distintas fases del ciclo de vida, en la planicie de inundación del alto Río Paraná y embalse de Itaipú, Paraná, Brasil. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 26 (1): 79-90.
- Blaaxter, J. H. S. & D. E. Hoss. 1979. The effect of rapid changes of hydrostatic pressure on the atlantic herring *Clupea harengus* L. II. The response of the auditory bulla system in larvae and juveniles. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 41: 87-100.
- Bonetto, A. 1963. Investigaciones sobre migraciones de peces en los ríos de la cuenca del Plata. *Ciencia e Investigación* 19: 12-27.
- 1976. *Calidad de Aguas del Río Paraná. Introducción a su estudio ecológico*. Santa Fe, INCYTH-PNUD-ONU, 204 pp.
- 1986. Fish of the Paraná system. En B.R. Davies y K.F. Walker (Eds.). *The ecology of river systems*, Cap. 11 B: 573-588. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Bonetto, A.A. & S. Hurtado. 1998. Cuenca del Plata. En: (Ed. Canevari P. *et al.*) *Evaluación de los Humedales de la Argentina*. Wetlands International Publ. No 46: 31-72.
- Bonetto, A.A., M. Cannon Veron & D. Roldan. 1981. Nuevos aportes al conocimiento de las migraciones de peces en el Río Paraná. *Ecosur*, 8: 29-40.
- Bonetto, C., De Cabo, L., Gabbellone, N., Vinocur, A., Donadelli, J. & F. Unrein. 1994. Nutrient dynamics in the deltaic floodplain of the Lower Paraná River. *Arch. Hydrobiol.* 131 (3): 277-295.
- Dingerkus, G. & L.D. Uhler. 1977. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. *Stain Technol.*, New York, 52: 229-232.
- Espinach Ros, A., S. Sverlij, J.P. Mestre, G. Fabiano & F. Amestoy. 1990. Desplazamientos migratorios de peces marcados en el tramo inferior del Río Uruguay. En: *Resúmenes de comunicaciones, 2do Seminario 'El Río Uruguay. Sus recursos pesqueros'*, Comisión Administradora del río Uruguay (CARU), Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.
- Fuentes, C. & A. Espinach Ros. 1998. Distribución espacial y temporal del ictioplancton en un punto del bajo Delta del Río Paraná. *Hidrobiología VIII* (6): 51-61.
- Gil Morlis, W.A., J.L. Hermosa & E.D. Chavez. 1999. Ictioplancton en los ríos Itasbó sur, Carapá y Azul (embalse Itaipú). *Biota* 11: 34 pp.
- Godoy, M. P. 1972. Brazilian tagging experiments, fishes migration and upper Paraná River basin ecosystem. *Rev. Brasil Biol.* 32 (4): 473-484.
- Gomez, S.E. & N.I. Toresani. 1998. Las pampas. En: (Ed. Canevari P. *et al.*) *Evaluación de los Humedales de la Argentina*. Wetlands International Publ N° 46: 97-113.
- Gosso, M. C. & J. M. Iwaskiw. 1990. Estudio de la reproducción de peces en el Río Paraná, E. Ríos, Argentina: 1. sábalo, *Prochilodus lineatus*. *Resum. 3º Congr. Limnol. Porto Alegre*.
- Gregoire, A., R. Gras & M. Khalanski. 1993. Surveillance hydrobiologique de las centrales nucleaires implantees sur le littoral francais. *Hydroecol. Appl.* 5(1): 29-43.
- Hoss, D. E. & J. H. S. Blaaxter. 1979. The effect of rapid changes of hydrostatic pressure on the atlantic herring *Clupea harengus* L. Y. larval survivor and behaviour. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 41: 75-85.
- Jude, D. J., C. P. Madenjian, P. J. Schneeberger, H. T. Tin, A. J. Mansfield, T. L. Rutecki, G. E. Noguchi & G. R. Henfelder. 1982. Adult, juvenile and larval fish populations in the vicinity of the J.H. Campbell power Plant, 1981, with special reference to the effectiveness of wedge-wire screens in decreasing entrainment and impingement. *Spec. Rep. No 96, Great lakes. Res. Div.*; Univ. Mich., Ann Arbor, Mich, 519 pp.
- Kendall, A. W., E. H. Ahlstrom & H. G. Moser. 1983. Early life history stages of fishes and their characters. En: *Ontogeny and systematics of fishes*. Special publication Number 1. American Society of Ichthyologists and Herpetologists, p. 11-22.
- Khalansky, M. & P. Lutz. 1987. La chloration de l'eau de refrigeration. *Departement Environnement*

- Aquatique et Atmospherique.*, 1: 52-58.
- Marcy, C. B. Jr. 1971. Survival of young fish in the discharge canal of a nuclear power plant. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 28: 1057-1060.
- Mercado, L., A. Miquelarena & L. Protogino. 1998. Ictiofauna del Río Paraná de las Palmas en la zona de influencia de la Central Nuclear Atucha. *Aquatec* 5: 37-45.
- Mercado, L. & N. Gomez. 1998. Fitoplancton del Río Paraná de las Palmas y efectos ocasionados por la central nuclear Atucha (Bs. As., Argentina). *Aquatec* 5: 21-33.
- Nakatani, K., G. Baumgartner & M. Cavicchioli. 1997. Ecología de ovos e larvas de peixes. En: A.E. A. de M. Vazzoler, A.A. Agostinho e N. Segatti Hahn (eds.), *A planticie de inundação do alto Rio Paraná. Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*, pp. 281-306. Universidade Estadual de Maringá.
- Oldani, N. O. 1977. Identificación y morfología de larvas de *Apariodon affinis* (Steindachner) (Pisces, Parodontidae). *Physis* 37 (93) Secc B: 133-140.
- 1979 a. Identificación y morfología de larvas y juveniles de *Triportheus paranensis* (Günther, 1874) (Pisces, Characidae). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. litoral* 10: 61-71.
- 1979 b. Identificación y morfología de larvas y juveniles de *Thoracocharax stellatus* (Kner, 1860) (Pisces, Gasteropelecidae). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 10: 49-60.
- 1983. Identificación y morfología de larvas, juveniles y adultos de *Mylossoma paraguayensis* Norman, 1929 (Pisces, Characidae). *Studies on neotropical fauna and environment* 18: 89-100.
- Pedrozo, F., Bonetto, C. & Y. Zalocar. 1988. A comparative study on phosphorus and nitrogen transport in the Paraná, Paraguay and Bermejo rivers. *Limnología e manejo de represas*. Vol. 1, Tom 1. Serie: Monografía em Limnología. Ed. E.G. Tundisi.
- Ringuelet, R. A., R. H. Aramburu & A. Alonso De Aramburu. 1967. Los peces de agua dulce de la República Argentina. *Com. Inv. Cient. Prov. Bs. As. La Plata*, 602 pp.
- Rossi, L. 1994. Desarrollo larval y dieta del manduvé cucharón (*Sorubim lima* Schneider, 1801) en el área del Paraná Medio. *Tesis de Maestría*. 109 pp.
- Sato, Y. & H. P. Godinho. 1988. Adesividade de ovos e tipo de desova dos peixes de Três Marias-MG. En: *Associação Mineira de Aquicultura-Ama, 1982-1987. Coletânea de resumos dos encontros Brasília: CODEVASF*, pp. 102-103.
- Sokal, R. R. & F.J. Rohlf. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. -Ed. Blume, Madrid, 832 pp.
- Sverlij, S. & A. Espinach Ros. 1986. El dorado (*Salminus maxillosus*) (Pisces, Characiformes), en el Río de la Plata y río Uruguay inferior. *Rev. Invest. y desarrollo pesquero*, 6: 57-65.
- Sverlij, S. B., A. Espinach Ros & G. Orti. 1993. Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del sábalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847). *FAO Sinopsis sobre la Pesca*. Nº 154 Roma, 64 pp.
- Tenorio-Baumgartner, M. S. 1995. Utilização de ambientes da planície de inundação do Alto Rio Paraná para desenvolvimento de larvas de curvina, *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Perciformes, Scianidae). *Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)*, Universidade Estadual de Maringá, 28 pp.
- Urien, C.M. 1972. Río de la Plata estuary environments. En B.W. Nelson (ed.), *Environmental framework of a coastal plain estuaries*. Geol. Soc. Am. pp. 213-234.
- Villar, C.A. & C.A. Bonetto. 1998. Caracterización física y química del bajo Paraná. Efecto de la Central Nuclear Atucha. *Aquatec* (5): 1-13.
- Villar, C.A., S.E. Gomez & C.A. Bonetto. 1998 a. Impacto de la central nuclear Atucha sobre el Paraná de las Palmas: Síntesis y conclusiones. *Aquatec* (5): 58-60.
- Villar, C.A., L. De Cabo, P. Vaithyanathan & C. Bonetto. 1998 b. River-floodplain interactions: nutrient concentrations in the Lower Paraná River. *Arch. Hydrobiol.* 142 (4): 433-450.

Recibido: 30-IV-1999

Aceptado: 1-VII-1999