

## Macrofauna del curso inferior y estuario del río Biobío (Chile): cambios asociados a variabilidad estacional del caudal hídrico

Macrofauna of the lower reach and estuary of Biobío river (Chile): changes associated to seasonal changes of the river flow

CARLOS BERTRÁN<sup>1</sup>, JOSÉ ARENAS<sup>1</sup> & OSCAR PARRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Zoología, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile, e-mail: cbertran@uach.cl

<sup>2</sup>Centro Universitario Internacional Europa-Latinoamérica de Investigación y Formación de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Casilla 156-C, Concepción, Chile

### RESUMEN

Uno de los sistemas lóticos chilenos de mayor importancia de acuerdo a su caudal es el río Biobío (ca. 37° S). Su estuario es reducido, especialmente en las épocas de máximo caudal. Con el objetivo de poner a prueba la hipótesis de que en verano la disminución del caudal del río Biobío, determina una mayor depositación del material particulado fino y que el aumento del caudal en invierno resulta en el lavado y transporte del material depositado hacia el mar, y consecuentemente en una disminución de la macrofauna bentónica, se recolectaron muestras para análisis sedimentológicos y faunísticos en el curso inferior y estuario del río Biobío, durante agosto de 1993 y marzo de 1994. Los análisis sedimentológicos indican que el tamaño medio del sedimento correspondió a arenas gruesas. La depositación del material fino suspendido, que ocurre durante el verano se manifiesta en el mayor porcentaje de finos y materia orgánica durante este período. La macrofauna bentónica estuvo compuesta por 16 taxa en el muestreo de invierno y 42 taxa en el de verano. Durante el invierno, la mayoría de ellas estuvo representada por muy pocos individuos. Durante el verano aumentó la riqueza específica y abundancias totales de la macrofauna. Los taxa más abundantes fueron un Archiannelida indeterminado y el poliqueto *Perinereis gualpensis*. El aumento del caudal en la época invernal, determina el transporte del material depositado hacia el mar y consecuentemente el arrastre de organismos bentónicos. Aún cuando los valores de abundancia y biomasa de macrofauna durante el verano fueron de un orden de magnitud mayor que en la fase invernal, fueron menores que los citados para otros estuarios del centro-sur de Chile (ca. 39° S). Eso contribuye a confirmar el carácter atípico del estuario del río Biobío, el que debido a sus cambios estacionales de caudal genera cambios significativos en la estructura comunitaria de la macrofauna bentónica.

**Palabras clave:** macrofauna, estuario del río Biobío, cambios de caudal.

### ABSTRACT

The Biobío river (ca. 37° S) is one of the most important Chilean lotic systems with regard to their water flow. Its estuary is reduced, especially during maximum flow. With the purpose of testing the hypothesis that during summer, the decrease of river flow results in a higher deposition of fine particles, and that the increase in river flow during winter results in the washing and transport of deposited particles, and consequently in a decrease of the benthic macrofauna. Sediment samples were collected for sedimentological and faunistical analysis during August 1993 and March 1994. The sedimentological analyses indicate that mean size of sediment corresponded to coarse sands. During summer, the deposition of suspended particles is facilitated by the decrease in the river flow and results in higher percentage of fine particles and organic matter in the sediment. The benthic macrofauna was composed by 16 taxa during winter and 42 taxa during summer. During winter, that macrofauna was represented by just a few individuals. During summer, the species richness and macrofaunal abundances increased. The most abundant taxa were an archiannelid species and the polychaete *Perinereis gualpensis*. The increase of river flow during winter determines the transport of the deposited material toward the sea and consequently, the washing of benthic organisms. Even though, values of macrofaunal abundance and biomass during summer were about one order of magnitude higher than during winter, they are still lower than those mentioned for other estuaries of south-central Chile (ca. 39° S). That confirms the atypical character of the Biobío river estuary, which due to its seasonal changes, significantly affects the community structure of the benthic macrofauna.

**Key words:** macrofauna, Biobío river estuary, changes of river flow.

## INTRODUCCIÓN

El ecosistema estuarial se caracteriza por presentar gran productividad biológica (Costanza et al. 1993) y ser un eficiente convertidor de la materia orgánica a biomasa animal (Raffaelli 1992). Debido a lo anterior, existiría una relación entre las comunidades bentónicas y la concentración de materia orgánica depositada en el sustrato (Heip & Herman 1995). Ésta puede provenir de toda la cuenca de un río o ser consecuencia directa o indirecta de las actividades antropogénicas (e.g., Glenn 1991)<sup>1</sup>. La materia orgánica es fuente potencial de alimento y puede ingresar a las tramas tróficas estuariales de diversas maneras (Lamberson & Swartz 1988), siendo el destino final su transformación en biomasa animal.

El río Biobío (ca. 37° S) es uno de los cuerpos lóticos chilenos de mayor importancia de acuerdo a su caudal (Parra 1992). En su desembocadura no forma el típico estuario parcialmente estratificado, ya que la penetración del agua marina al interior del río es de poca magnitud. Stuardo (1988), Stuardo & Valdovinos (1989) y Stuardo et al. (1993) han propuesto que la condición estuarial existiría fuera de la desembocadura, es decir, en el Golfo de Arauco. El tipo de sedimento de este estuario está compuesto principalmente por arenas (i.e., partículas inferiores a 63  $\mu\text{m}$ , Cisternas 1993), a diferencia de otros estuarios, donde se presentan facies texturales mixtas entre arena y fango con abundante materia orgánica (e.g., estuario del río Queule, Rojas 1986). Característicamente, el caudal del río muestra fuertes variaciones estacionales, con mayores caudales durante invierno y menores durante verano (Cisternas 1993).

La particularidad faunística de los ambientes estuariales es la de poseer un reducido número de especies, pero representadas por una gran cantidad de individuos (Wolf 1983, Costanza et al. 1993). La macrofauna estuarial del río Biobío presenta una densidad y biomasa muy reducida (Stuardo et al. 1991), lo que puede estar relacionado con esos cambios estacionales de caudal.

En este estudio se hipotetiza que la disminución del caudal del río Biobío durante el verano, resulta en una mayor depositación del material particulado fino; por el contrario, el aumento del caudal en invierno provoca un lavado y transporte del material depositado hacia el mar. Estos proce-

dos generarían una variabilidad estacional en la calidad del sedimento, lo que resultaría en variabilidad estacional de la macrofauna bentónica. A fin de evaluar esta hipótesis, se comparan las características sedimentológicas y estructura comunitaria de la macrofauna del curso inferior y estuario del río Biobío en dos situaciones extremas de caudal (máximo y mínimo).

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Área de estudio*

La cuenca del río Biobío se encuentra en la región fluvio-glacio-volcánica de Chile (Borgel 1983, Mardones et al. 1992) y tiene una superficie de 24.360 km<sup>2</sup> (36° 43' - 38° 55' S). El río tiene una longitud cercana a 380 km, presentando un régimen pluvio-nival, con caudales promedios mensuales que fluctúan entre 2.004 y 257 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (promedio serie de 21 años: 1970-1990. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, resultados no publicados) (Fig. 1).

El sedimento del curso inferior y estuario del río Biobío está compuesto por detritos de lavas basálticas de los volcanes cordilleranos (Biro 1979). Las arenas transportadas por el río se depositaron en un delta, situación facilitada por la fisiografía del área, la que contribuyó a disminuir la energía del mar (Ilabaca 1979). Fuera de la barra, se ubica un cañón submarino que penetra mar adentro alcanzando una profundidad aproximada de 900 m (Biro 1979).

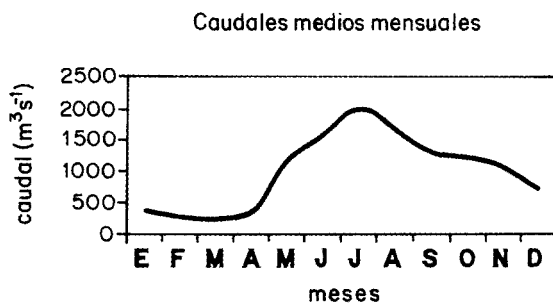


Fig. 1: Caudales medios mensuales obtenidos en la zona de la desembocadura del río Biobío. Medias basadas en serie de 21 años (1970-1990). Resultados no publicados: Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

Monthly means of river flow at the outlet of Biobío river. Means based upon a series of 21 years (1970-1990). Unpublished results: Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

<sup>1</sup>GLENN JL (1991) Transport and deposition of sediments and sediment-borne contaminants in the tidal rivers and estuaries. Fedrip Data Base, National Technical Information Service (NTIS). U.S. Department of Interior, Geological Survey.

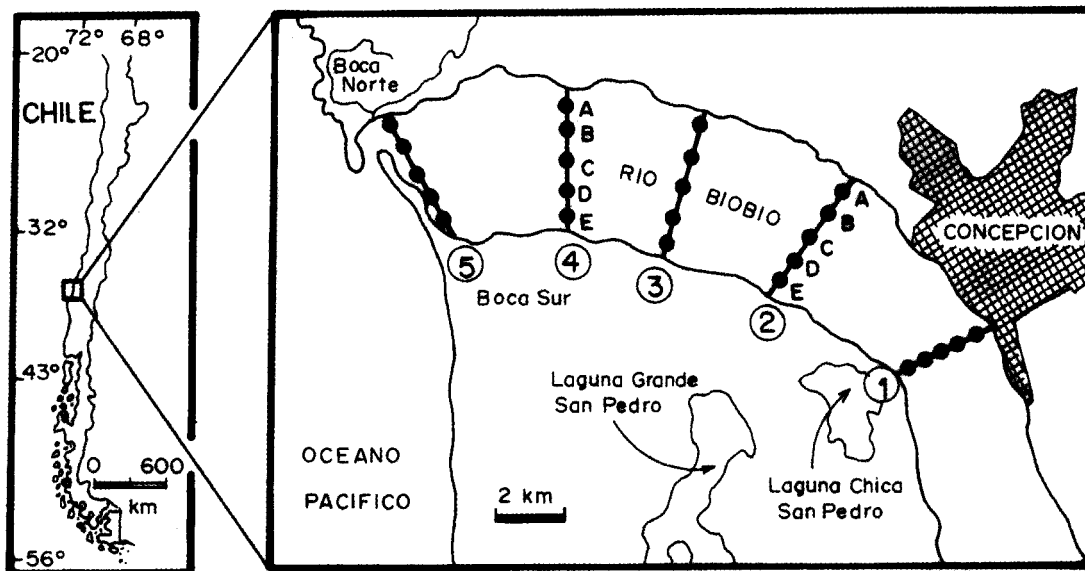


Fig. 2: Ubicación de la zona de muestreo (transectos 1 a 5) en el curso inferior y estuario del río Biobío. Las estaciones se indican por letras; desde A en la ribera norte, hasta E en la ribera sur. Dibujado sobre carta base IGM (Instituto Geográfico Militar, Chile) 1:50.000.

Location of the sampling area (transects 1 to 5) at the lower reach and estuary of the Biobío river. The stations are indicated by letters, from A at the north riverfront to E at the south riverfront. Based upon IGM (Instituto Geográfico Militar, Chile) chart 1:50.000.

El área considerada es un delta estuarial y corresponde a la fase de transición entre el estuario y el delta propiamente tal (Davies 1977, Day et al. 1989). El área de estudio (Fig. 2) corresponde a la parte media y distal del delta estuarial del río Biobío (Araya-Vergara 1981), delimitada por bancos de arena formados por depositación del río y acción de olas y corrientes. En su interior se forma la laguna estuarial, visible especialmente durante los meses estivales, ya que la flecha (Codignotto 1987) es cortada en los momentos de alta energía fluvial, quedando como isla la parte central, que es mas estable y que contiene dunas (Araya-Vergara 1981).

#### *Muestreo y procedimiento analítico*

El estudio se realizó en el curso inferior y estuario del río Biobío, en un segmento de aproximadamente 8 km. Se efectuaron dos muestreos (agosto de 1993 y marzo de 1994), representativos de las condiciones extremas del caudal del río (Fig. 1). Las muestras se recolectaron en cinco transectos perpendiculares al eje del río (Fig. 2). El primer transecto se ubicó a 8.200 m del mar, el segundo a 5.800 m, el tercero a 3.800 m, el cuarto a 2.000 m y el quinto antes de la barra de arena terminal del estuario. En cada transecto, se muestreó en cinco estaciones (A, B, C, D y E) ubicadas

equidistantes entre sí (incluyendo ambas riveras y el centro) (Fig. 2).

En cada estación se recolectaron muestras ( $n = 3$ ) para determinar las características texturales del sedimento (Folk 1980) y los contenidos de materia orgánica (Mills 1978). Se realizó un tamizaje vía húmeda, utilizando tamices de  $- 1,0 \phi$  para separar la grava y de  $4 \phi$  para separar la arena de la fracción limo-arcilla. La granulometría de la fracción arena se analizó en un tubo de decantación digitalizado, calculándose las frecuencias porcentuales de los diámetros hidráulicos equivalentes a intervalos de  $0,25 \phi$  (Emery 1938, Gibbs et al. 1971, Rigler et al. 1981, Komar & Clemen 1986, Bryant et al. 1987). Las diferentes frecuencias porcentuales de tamaño, se determinaron por acumulación de pesada en el platillo de la balanza receptora. El cálculo de la media se realizó en base al Sistema de Análisis Granulométrico PANCOM (1991).

En cada estación, se utilizó una draga Petit Ponar ( $232 \text{ cm}^2$ ) (Klemm et al. 1990) para recolectar muestras ( $n = 8$ ) para análisis de macrofauna. Las muestras se fijaron con formalina 6 %. Debido al tamaño del sedimento, se debió revisar toda la muestra bajo lupa binocular para recolectar los organismos presentes. Los animales se preservaron en alcohol  $60^\circ$ . Luego del sorteo y clasificación de la macrofauna, los organismos se coloca-

ron en estufa (60 °C, 72 h) para obtención de peso seco. La biomasa se expresa en g peso seco m<sup>-2</sup>.

Para evaluar eventuales diferencias en las características físicas y biológicas de las estaciones, se utilizó un análisis de varianza anidado con el siguiente orden jerárquico: períodos (invierno - verano), transectos (dentro de períodos), estaciones (dentro de transectos) y réplicas (dentro de estaciones) (Sokal & Rohlf 1995). Se utilizó un nivel de probabilidad al 0,05 para definir valores de significancia.

## RESULTADOS

### *Características sedimentológicas*

El tamaño medio de la partícula muestra que en general, el sedimento de todos los transectos correspondió a arenas gruesas (0.0 - 1.0  $\phi$ , Folk 1980) (Fig. 3). El promedio general de la fracción psamítica (i.e., todas las estaciones) fue de 0,50  $\phi \pm 0,29 \phi$  para el invierno y de 0,58  $\phi \pm 0,27 \phi$  para el verano. Los resultados del ANOVA anidado

para el tamaño del grano muestran que no se detectaron diferencias ( $P = 0,190$ ) en la comparación estacional (invierno vs. verano), pero si entre transectos y estaciones ( $P = 0,004$  y  $0,000$ , respectivamente) (Tabla 1). Es decir, la variabilidad granulométrica a lo largo y ancho del río fue mayor que la variabilidad temporal.

La representación porcentual de material fino (i.e., limo-arcilla) fue durante el muestreo de invierno inferior al 1 % en peso para todas las estaciones de muestreo. Durante el verano, los valores de esta fracción alcanzaron valores relativamente altos en el transecto localizado en la boca del río (transecto 5). Los valores fueron 24,0 % para la estación 5A, 4,2 % para la 5B, 20,9 % para la 5C y 7,0 % para la estación 5E. No se registró material fino en la estación 5D.

Durante el período de máximo caudal, el contenido de la materia orgánica contenida en el sedimento, fue inferior a 1 % en la mayoría de las estaciones; sin embargo, durante la época de mínimo caudal ese contenido aumentó (hasta aproximadamente 5 - 7 %), especialmente en el transecto 5 (Fig. 3). Similarmente a lo observado con el

TABLA 1

Resultado de los análisis de varianza anidados basados en los porcentajes de materia orgánica total y tamaño medio de la partícula (fracción psamítica) del sedimento de cada estación de muestreo en el curso inferior y estuario del río Biobío

Nested analysis of variance on organic matter percentage and mean particle size (sand fraction) of sediments of each sampling stations at the lower reach and estuary of Biobío river

Fuente de variación del tamaño medio de la partícula	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Entre grupos (invierno - verano)	1	22,83	22,83	2,05	0,190
Entre subgrupos dentro de grupos (entre transectos 1 al 5)	8	89,0	11,12	3,441	0,004
Entre subgrupos dentro de grupos (entre estaciones de transectos)	40	129,271	3,2318	47,72	0,000
Dentro de subgrupos (entre réplicas de cada estación)	100	6,8	0,0677		
Total	150	247,8			
Fuente de variación de la materia orgánica total	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Entre grupos (invierno - verano)	1	0,30	0,30	0,81	0,396
Entre subgrupos dentro de grupos (entre transectos 1 al 5)	8	3,0	0,3725		1,848
Entre subgrupos dentro de grupos (entre estaciones de transectos)	40	8,06288	0,2016	24,80	0,000
Dentro de subgrupos (entre réplicas de cada estación)	100	0,8	0,0081		
Total	150	11,8			

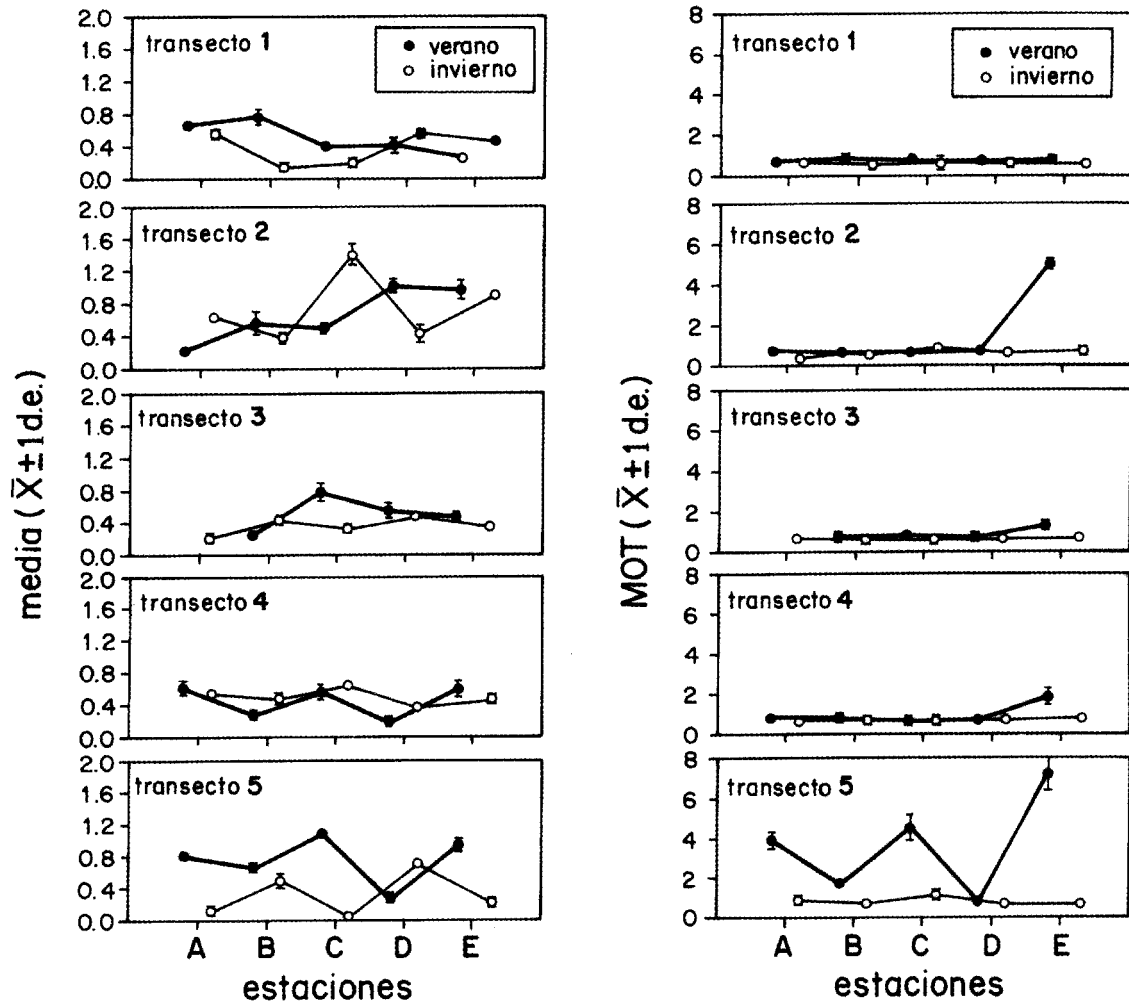


Fig. 3: Tamaño medio de la fracción psamítica (unidades Phi = Ø) y contenido de materia orgánica (%) del sedimento en el curso inferior y estuario del río Biobío. Las letras indican las estaciones en cada transecto (desde A = ribera norte hasta E = ribera sur).

Mean size of the psamitic fraction (Phi units = Ø) and organic matter content (%) of the sediment at the lower reach and estuary of Biobío river. Letters indicate the stations in each transect (from A at the north riverfront to E at the south riverfront).

tamaño de la partícula, los resultados del ANOVA anidado muestran que en la comparación estacional no se detectaron diferencias significativas ( $P = 0,396$ ). Tampoco se detectaron diferencias entre transectos ( $P = 0,096$ ), pero sí entre las estaciones de cada transecto ( $P = 0,000$ ) (Tabla 1). En general, los valores de materia orgánica aumentaron hacia el costado sur del río (estaciones E, Fig. 3).

#### Composición de taxa

El número de taxa varió entre muestreos estacionales y transectos (Fig. 4). Durante la con-

dición de máximo caudal las especies presentes fueron 16, repartidas en los Phyla Platyhelminthes (1), Aschelminthes (1), Annelida (5) y Arthropoda (9). Durante la condición de mínimo caudal, el cauce del río presentó extensas zonas emergidas, con formación de muchos canales. Las especies presentes en este período fueron 42, repartidas en los Phyla Coelenterata (1), Platyhelminthes (1), Aschelminthes (1), Annelida (7), Mollusca (2) y Arthropoda (30). Este último grupo estuvo primariamente representado por insectos. Los resultados del ANOVA anidado tendiente a comparar el número de taxa presentes en cada período estacional, indican que existieron diferencias significativas entre períodos ( $P = 0,002$ ) y estacio-

nes dentro de transectos ( $P = 0,000$ ), pero no entre transectos ( $P = 0,483$ ) (Tabla 2).

Tanto en invierno como en verano, la especie dominante en los transectos 1 a 4 fue un Archiannelida indeterminado (Polychaeta). En el transecto 1, esta especie presentó su mayor densidad en la estación 1E (657 ind  $m^{-2}$ ) durante invierno y en las estaciones 1A y 1D durante el verano (44.178 y 44467 ind  $m^{-2}$  respectivamente). En el transecto 2, fue la especie más abundante en la estación 2B (1708 ind  $m^{-2}$ ) y 1A (68.411 ind  $m^{-2}$ ) (invierno y verano, respectivamente). En el transecto 3 (invierno) presentó la mayor densidad (304 ind  $m^{-2}$ ) en la estación 3C y en verano en la estación 3D (28.853 ind  $m^{-2}$ ). En el transecto 4 (invierno), este poliqueto presentó

la mayor densidad en la estación 4E (297 ind  $m^{-2}$ ) y en verano 16.439 ind  $m^{-2}$ , en la estación 4C. La especie dominante de la macrofauna bentónica sólo cambió en el transecto 5 donde *Perinereis gualpensis* Jeldes presentó la mayor densidad, tanto en invierno como en verano, con 453 (5A) y 5.027 (5C) ind  $m^{-2}$ , respectivamente. Otras especies dominantes fueron *Cryptochironomus* sp. (Chironomidae) con 275 ind  $m^{-2}$  en el transecto 1, estación C. En el transecto 2, estación C, dominaron los cladóceros *Alona affinis* (Leydig) y *Ilyocryptus spinifer* Herrick con 11.988 y 9.397 ind  $m^{-2}$ , respectivamente. En el transecto 3, estación B, dominaron los oligoquetos *Nais pardalis* Pigué y *Dero furcatus* Müller con 2.826 y 2.613 ind  $m^{-2}$  respectivamente. En el transecto 4 ambos

TABLA 2

Resultado de los análisis de varianza anidados basados en el número de taxa, abundancias y biomasa de la macrofauna en cada estación de muestreo del curso inferior y estuario del río Bio-bío

Nested analysis of variance on number of taxa in the lower reach and estuary of the Bio-bío river. Letters indicate the stations across the river

Fuente de variación del número de taxa	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Entre grupos (invierno - verano)	1	957,9	957,9	20,0	0,002
Entre subgrupos dentro de grupos (entre transectos 1 al 5)	8	384,1	48,0	1,0	0,483
Entre subgrupos dentro de grupos (entre estaciones de transectos)	40	2007,5	50,2	82,5	0,000
Dentro de subgrupos (entre réplicas de cada estación)	350	212,9	0,6		
Total	400	3562,4			
Fuente de variación de la abundancia	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Entre grupos (invierno - verano)	1	428,0	428,0	40,8	0,000
Entre subgrupos dentro de grupos (entre transectos 1 al 5)	8	84,0	10,5	1,1	0,416
Entre subgrupos dentro de grupos (entre estaciones de transectos)	40	399,5	10,0	43,1	0,000
Dentro de subgrupos (entre réplicas de cada estación)	350	81,1	0,2		
Total	400	992,5			
Fuente de variación de la biomasa	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Entre grupos (invierno - verano)	1	0,523	0,523	15,3	0,004
Entre subgrupos dentro de grupos (entre transectos 1 al 5)	8	0,272	0,034	2,5	0,025
Entre subgrupos dentro de grupos (entre estaciones de transectos)	40	0,537	0,013	13,8	0,000
Dentro de subgrupos (entre réplicas de cada estación)	350	0,340	0,001		
Total	400	1,672			

oligoquetos dominaron en la estación E, con 6.363 y 3308 ind m<sup>-2</sup>, respectivamente, además de *Tubifex* sp. (especialmente abundante en la estación 4A con 4.741 ind m<sup>-2</sup>). En el transecto 5, otras especies abundantes fueron *Dugesia anceps* (Turbellaria) con 1.109 ind m<sup>-2</sup> (5D) y el anfípodo *Cheus annae* Thurston con 2.382 ind m<sup>-2</sup> (5D).

#### Abundancia de la macrofauna

Similar a lo observado con la riqueza de taxa, la abundancia de la macrofauna mostró diferencias estacionales (Fig. 4). Las mayores densidades ocurrieron durante el verano, especialmente en las estaciones 1 A y 2 A, en las que se recolectaron 45.277 y 68.483 ind m<sup>-2</sup>, respectivamente. Durante ese período, las menores densidades se registraron en la estación 4 D (222 ind m<sup>-2</sup>) y la 5 E (laguna estuarial) donde no se recolectó macrofauna bentónica. Durante el invierno se obtuvo la mayor densidad de macrofauna en la estación 2 B con 1.752 ind m<sup>-2</sup> y en estaciones de la desembocadura, especialmente la 5 B con 1.580 ind m<sup>-2</sup> (Fig. 4). Los resultados del ANOVA anidado para comparar la abundancia de

macrofauna muestran diferencias significativas entre períodos ( $P = 0,000$ ) y entre estaciones ( $P = 0,000$ ), pero no entre transectos ( $P = 0,416$ ) (Tabla 2).

#### Biomasa de la macrofauna

Los valores de biomasa bentónica fueron mayores en el transecto 5, ubicado en la boca del estuario, durante ambas condiciones de caudal: hasta 5,84 g  $\pm$  3,85 g de peso seco m<sup>-2</sup> en verano y 1,06 g  $\pm$  0,95 g m<sup>-2</sup> en invierno (Fig. 4). Se observaron valores bajos de biomasa en invierno, aún cuando mayores en el transecto 5, especialmente en las estaciones A (2,10 g m<sup>-2</sup>), B (1,71 g m<sup>-2</sup>) y C (1,35 g m<sup>-2</sup>) (Fig. 4). En verano, los valores de biomasa fueron altos, especialmente en las estaciones 2 C (6,12 g m<sup>-2</sup>), 4 A (7,62 g m<sup>-2</sup>), 5 A (7,24 g m<sup>-2</sup>), 5 B (10,62 g m<sup>-2</sup>) y 5 D (6,11 g m<sup>-2</sup>) (Fig. 4). Los resultados del ANOVA anidado para comparar los valores de biomasa de la macrofauna muestran diferencias significativas entre ambos muestreos estacionales ( $P = 0,004$ ), entre transectos ( $P = 0,025$ ) y entre las estaciones de cada uno ( $P = 0,000$ ) (Tabla 2).

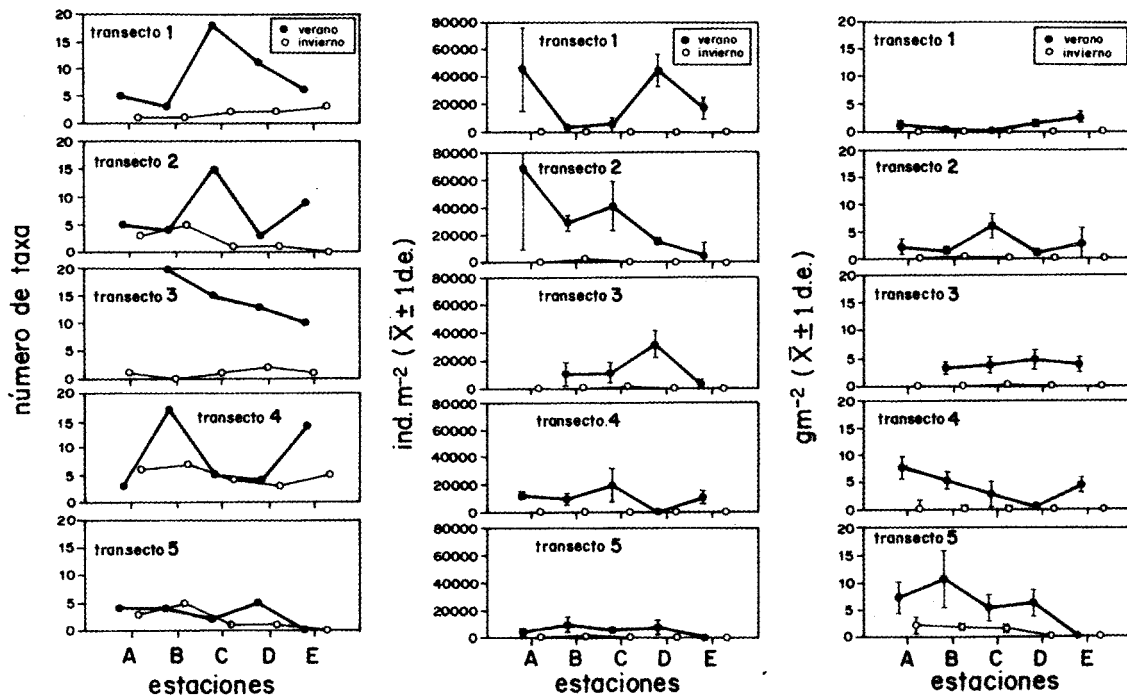


Fig. 4: Número de especies, densidad y biomasa total de la macrofauna bentónica (ind m<sup>-2</sup>) I = invierno, caudal máximo del río (agosto 1993); V = verano, caudal mínimo del río (marzo 1994). Las letras indican las estaciones a lo ancho del río (desde A = ribera norte hasta E = ribera sur) (n = 8)\*.

Number of species, density and total biomass of the benthic macrofauna (ind m<sup>-2</sup>) I = winter, maximum river flow (August 1993); V = summer, minimum river flow (March 1994). Letters indicate the stations across the river (from A at the north riverfront to E at the south riverfront) (n = 8)\*.

## DISCUSIÓN

En el río Biobío se han realizado estudios que han caracterizado granulométricamente los fondos de su curso inferior y desembocadura (Stuardo 1992, Cisternas 1993), además de otros trabajos relacionados a ingeniería hidráulica (Neyra & Tramón 1987, Santana 1990). Estos últimos constituyen modelos teóricos cualitativos y cuantitativos, basados en un reducido número de muestras, con resultados diversos. Aún así, los resultados de esos estudios muestran la gran movilidad de los depósitos del fondo, lo que genera un importante transporte de material.

El origen y el transporte de los sedimentos más finos del curso inferior del río Biobío se demuestra por el tamaño relativamente uniforme de las partículas (sólo arenas gruesas y muy gruesas). Los análisis estadísticos realizados indican que no se detectaron diferencias significativas en la comparación estacional, pero sí entre transectos y estaciones. En las estaciones cercanas a la desembocadura, y debido a la presencia de la laguna estuarial, se posibilitó la decantación de partículas finas y materia orgánica durante el período estival. De esta manera, la constitución del sedimento cambió al existir la fracción fango, conformada por partículas menores a 63 mm. Esta diferencia en la depositación indica un comportamiento desigual del río, debido principalmente al mayor arrastre de sedimento durante el invierno.

La hidrodinámica del río BioBío, conforma un sustrato móvil de arenas gruesas y arenas muy gruesas, mostrando un depósito muy particular lo cual impide el asentamiento permanente de la macrofauna en el curso inferior. Se debe tener presente que aunque los máximos caudales medios mensuales indican valores cercanos a los  $2.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , se presentan eventualmente caudales máximos diarios aún mayores (e.g.,  $9.503 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , el 31 de agosto de 1979), los que contribuyen al acarreo violento del sedimento y probablemente también de la macrofauna. Durante este estudio, se observó un rápido desarrollo de clorófitas filamentosas y diatomeas (R. Urrutia comunicación personal) lo que permite suponer el asentamiento exitoso de la macrofauna. Esta situación ocurrió principalmente en los transectos del interior del área de estudio (i.e., transectos 1, 2 y 3) (ver Fig. 4). Estos altos valores de densidad ocurrieron fundamentalmente en los transectos ubicados en la parte media del área de estudio, ahí donde en general también se recolectó el mayor número de taxa. Este aumento en la riqueza de taxa fue un reflejo en el número de insectos, lo que demuestra que es básicamente ese componente el responsable de la variación numérica de la macrofauna bentónica.

El ingreso de agua marina hacia el interior del Biobío alcanza aproximadamente 2 km, situación muy diferente a lo que acontece en otros ríos. Por ejemplo, la penetración de aguas de mayor salinidad al interior del estuario Queule (IX Región) alcanza 18 km río arriba de la desembocadura (Bravo 1984), en el río Vadivia (X Región) a más de 19 km (Arenas 1971) y en el río Maullín (X Región) hasta 25 km (C. Bertrán observaciones personales). Aparte de lo anterior, es posible observar diferencias sedimentológicas y macrofaunísticas, al realizar comparaciones con otros estuarios ubicados en la IX y X Regiones de Chile. Todos ellos forman típicos estuarios de planicies costeras con varios kilómetros de extensión, son influenciados por cambios mareales y de salinidad, y muestran una gran depositación de material particulado. A diferencia de lo que acontece en el río Bio-bío, en esos estuarios se generan sustratos apropiados para un abundante desarrollo de fauna bentónica, la que se caracteriza por presentar densidades y biomasa promedio superiores a las registradas en este estudio. Por ejemplo, para el estuario Queule (IX Región) se citan para muestras submareales valores de abundancia de  $7.472 \pm 2.115 \text{ ind m}^{-2}$  en invierno y  $16.628 \pm 4.711 \text{ ind m}^{-2}$  en verano. Los valores de biomasa en el mismo estuario alcanzan hasta  $2,59 \pm 1,06 \text{ g m}^{-2}$  en invierno y  $8,34 \pm 7,1 \text{ g m}^{-2}$  en verano (Jaramillo et al. 1985). Para el intermareal del estuario Lingue (X Región), se registran  $1.647 \pm 1.395 \text{ ind m}^{-2}$  con  $2,64 \pm 2,8 \text{ g m}^{-2}$  de biomasa (Bertrán 1984). Incluso se han mencionado mayores valores de biomasa para la zona límite rítrón-potamón del río Bio-bío (hasta  $20,0 \text{ g m}^{-2}$ , Valdovinos et al. 1993) aunque esto corresponde a biomasa en peso húmedo.

Sin embargo, y como se mencionó anteriormente, la mayor parte de la desembocadura y curso inferior del estuario del río Bio-bío esta constituida por sedimentos cuyo tamaño es mayor al de los estuarios de los ríos Queule (Pino & Mulsow 1983, Jaramillo et al. 1984) y Lingue (Richter 1985, Bertrán 1989). Eso no permite el asentamiento de una típica macrofauna bentónica, por el contrario, el sustrato parece ser más adecuado para organismos cuya fase temprana de sus ciclos de vida ocurra en sustratos de arena gruesa o muy gruesa; i.e., el caso de los insectos acuáticos. Son estos grupos los que reflejan entonces los cambios ocurrientes en la estructura de la fauna, acorde a los cambios sedimentológicos que experimenta el río en relación a los cambios estacionales de caudal.

Esto confirma entonces, que la variación del caudal del río es factor controlador de la abundancia y biomasa de la macrofauna, producto de



sus variaciones temporales (ver también conclusiones de Petersen & Sangfors 1991) para el mismo río). Por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada, ya que solamente durante la época de menor caudal se posibilita la depositación del material particulado fino y un desarrollo abundante de la macrofauna. Durante los aumentos de caudal, el río efectúa una acción de lavado y transporte de todo el material depositado hacia el mar, distinguible esto por la extensión de la pluma mas allá de la zona de rompiente de las olas.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Centro EULA-Chile y la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción (Proyecto 94.310.03-61) que financiaron parcialmente este trabajo. Al Dr. Eduardo Jaramillo y al biólogo marino Heraldo Contreras, por su contribución en los análisis y corrección final del manuscrito.

#### LITERATURA CITADA

- ARAYA-VERGARA JF (1981) El concepto de «Delta en Ría» y su significado en la evolución litoral (ejemplo en Chile Central). *Informaciones Geográficas Chile* 28: 71-102.
- ARENAS J (1971) Distribución de *Elminius kingii* Gray (Cirr.) en el estuario del río Valdivia. *Beiträge zur Neotropical Fauna* 3: 199-206.
- BERTRÁN C (1984) Macroinfauna intermareal en el estuario del río Lingue, Chile. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 19: 33-46.
- BERTRÁN C (1989) Zonación y dinámica temporal de la macroinfauna intermareal en el estuario del río Lingue (Valdivia, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural* 62: 19-32.
- BIRO L (1979) Ecología de la franja costera entre Cocholgué y Coronel, Provincia de Concepción, Chile. En: Gallardo VA (ed) *Desarrollo e investigación de los recursos marinos de la VIII Región*: 20-55. Ediciones Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- BORGEL R (1983) Geomorfología. Tomo II. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile. 182 pp.
- BRAVO A (1984) Distribución de la macroinfauna submareal en los fondos blandos de la bahía Queule y estuario del río Queule. *Medio Ambiente (Chile)* 7: 37-46.
- BRYANT E, ED LEE, D JOHNSON & N MOCKETT (1987) Calibration of settling tubes for collective particle settling. *Journal of Sedimentary Petrology* 57: 784-785.
- CISTERNAS MA (1993) Descripción sedimentológica (granulometría) en sedimentos del curso superior e inferior del río Biobío. *Serie Monografías Científicas Centro EULA - Chile* 12: 293 - 311.
- CODIGNOTTO JO (1987) Glosario geomorfológico marino. Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires, Argentina. 70 pp.
- COSTANZA R, WM KEMP & WR BOYNTON (1993) Predictability, scale, and biodiversity in coastal and estuarine ecosystems: implications for management. *AMBIO* 22: 88 - 96.
- DAVIES JL (1977) *Geographical variation in coastal development*. Longman, London, United Kingdom. 204 pp.
- DAY JW, CA HALL, WM KEMP & A YÁÑEZ-ARANCIBIA (1989) *Estuarine ecology*. John Wiley & Sons, Inc., New York, New York. 558 pp.
- EMERY KO (1938) Rapid method of mechanical analysis of Sand. *Journal of Sedimentary Petrology* 8: 105-111.
- FOLK RL (1980) *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas. 184 pp.
- GIBBS R, M MATTEWS & D LINK (1971) The relationship between sphere size and settling velocity. *Journal of Sedimentary Petrology* 41: 7-18.
- HEIP CH & PMJ HERMAN (1995) Major biological processes in european tidal estuaries: a synthesis of the JEEP-92 Project. *Hydrobiologia* 311: 1-7.
- ILABACA P (1979) Transgresión marina reciente en el litoral de Concepción: antecedentes morfológicos. En: Gallardo VA (ed) *Desarrollo e investigación de los recursos marinos de la VIII Región, Chile*: 31-40. Ediciones Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- JARAMILLO E, S MULSOW, M PINO & H FIGUEROA (1984) Subtidal benthic macroinfauna in an estuary of south of Chile: distribution pattern in relation to sediment types. *Marine Ecology PSZN* 5: 119-133.
- JARAMILLO E, C BERTRAN, G AGUILAR, A TURNER & M PINO (1985) Annual fluctuations of the subtidal macroinfauna in an estuary of south of Chile. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 20: 33-44.
- KLEMM DJ, PA LEWIS, F FILK & JM LAZORCHAK (1990) Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. *Environmental Monitoring Systems Laboratory, Cincinnati, Ohio*. 255 pp.
- KOMAR PD & KE CLEMENS (1986) The relationship between a grain's settling velocity and threshold of motion under unidirectional currents. *Journal of Sedimentary Petrology* 56: 258-266.
- LAMBERSON J & R SWARTZ (1988) Use of bioassays in determining the toxicity of sediment to benthic organisms. En: Evans M (ed) *Toxic contaminants and ecosystem health: a great lakes focus*: 257-279. John Wiley & Sons, Inc., New York, New York.
- MARDONES M, E JAQUE & D ZAILO (1992) Geomorfología de la hoya hidrográfica del río Biobío. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile. 631 pp.
- MILLS A (1978) A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments with suggestions for a standar method. *Hidrobiologia* 57: 45-52.

- NEYRA T & R TRAMON (1987) Actualización del estudio de canalización del río Bio-bío bajo. Informe Habilitación Profesional, Ingeniero Civil, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 473 pp.
- PANCOM (1991) Sistema de análise granulométrica. Toldo EE Jr, CE Doenelles & J Abreu Castilhos (eds) Instituto de Geociencias, Universidad Federal Río Grande do Sud/Universidad Federal Santa Catalina, Brasil.
- PARRA O (1992) Descripción de la contaminación de tramos en el río Biobío: localización de los agentes y de los grados de contaminación y uso del territorio adyacente a los tramos contaminados. En: Faranda F & O Parra (eds) Seminario internacional de planificación territorial Centro EULA-Chile: 18-39. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- PETERSEN RC & O SANGFORS (1991) An extreme example of the role of fluvial hydraulics and structure of large river ecosystems: the Río Bio-bío, Chile. *Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnology* 24 : 2086 – 2090.
- PINO M & S MULSOW (1983) Distribución de facies granulométricas en el estuario del río Queule, IX Región: un análisis de componentes principales. *Revista Geológica de Chile (Chile)* 18: 77-85.
- RAFFAELLI D (1992) Conservation of Scottish estuaries. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 100B: 55 – 76.
- RICHTER W (1985) Distribution of the soft-bottom macroinfauna in an estuary of southern Chile. *Marine Biology* 86: 93-100.
- RIGLER JK, M COLLINS & S WILLIAMS (1981) A high precision, digital-recording sedimentation tower for sands. *Journal of Sedimentary Petrology* 51: 642-644.
- ROJAS C (1986) El estuario de río Queule: un ambiente sedimentario en el sur de Chile. *Anales del Intituto de Ciencias del Mar y Limnología (México)* 13: 231-240.
- ROJAS C (1989) Variabilidad mensual de las características texturales en sedimentos submareales de un estuario del sur de Chile. *Estudios Oceanológicos (Chile)* 8: 9-20.
- SANTANA LA (1990) Métodos determinísticos y estocásticos en la estimación del gasto sólido en canalizaciones abiertas: aplicación al río Bio-bío. Tesis de ingeniería civil, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 272 pp.
- STUARDO J (1988) Caracteres faunísticos generales del río Bio-bío y su relación con la transecta costera adyacente. En: Murcia C (ed) *Origen, uso y perspectivas del río Biobío*, Tomo I: 39-50. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- STUARDO J & C VALDOVINOS (1989) Estuarios y lagunas costeras: ecosistemas importantes del Chile Central. *Ambiente y Desarrollo (Chile)* 5: 107-115.
- STUARDO J, C VALDOVINOS, R FIGUEROA & A OCHIPINTI (1993) Los ambientes costeros del Golfo de Arauco y área adyacente. *Serie Monografías Científicas, Centro EULA (Chile)* 9: 157.
- STUARDO J, L CHUECAS, C VALDOVINOS, A GLASINIVIC & V AROS (1991) Evaluación del impacto Ambiental del efluente de la Industria Petrox S.A. en el río Bio-bío. Universidad de Concepción, División Asistencia Técnica 89/11, Concepción, Chile. 136 pp.
- SOKAL RR & JF ROHLF (1995) *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman, New York, New York. 887 pp.
- VALDOVINOS C, J STUARDO & J ARENAS (1993) Estructura comunitaria de la zona de transición ritrón-potamón del río Biobío (VIII Región, Chile). *Serie Monografías Científicas, Centro EULA (Chile)* 12: 217-248.
- WOLF WJ (1983) Estuarine benthos. En: Ketchum BH (ed) *Estuaries and enclosed seas*: 151-182. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, New York.

*Editor Asociado: P. Camus*

*Recibido el 28 de mayo de 1999; aceptado el 23 de junio de 2000*