

# Influencia del tamaño y la concentración de alimento sobre las tasas de aclaramiento e ingestión de la almeja *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758)

A. Pérez Camacho, M. Delgado y M. Albentosa

Centro Oceanográfico de A Coruña. Instituto Español de Oceanografía. Muelle de Ánimas, s/n. E-15001 A Coruña, España.  
Correo electrónico: alejandro.perez@co.ieo.es

Recibido en julio de 2001. Aceptado en febrero de 2002.

## RESUMEN

Se estudia el efecto de la concentración de alimento (C) y el flujo sobre las tasas de aclaramiento (TA) e ingestión (TI) de *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) con ejemplares de diferentes tamaños. En esta especie no se observa relación entre C y TA, mientras que entre TI y C la relación es significativa:  $TI = 24,757 + 0,576 C$ . Igualmente es significativa la relación entre TA y el peso vivo (PV):  $TA = 4,292 PV^{0,683}$ . PV y TI guardan una estrecha relación sólo en caso de que el alimento disponible (AD), variable que engloba la concentración de alimento y el flujo, se mantenga constante. En caso contrario, se propone la utilización de la ecuación

$$TI = 64,089 + 0,015 PV + 0,546 AD$$

que explica el 96,1 % de la variabilidad de TI.

**Palabras clave:** Ingestión, aclaramiento, concentración de alimento, *Ruditapes decussatus*.

## ABSTRACT

**Impact of size and food concentration on clearance and ingestion rates in the clam *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758)**

The impact of food concentration (C) and water flow on the clearance (TA) and ingestion (TI) rates of the clam *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) was studied, using different-sized specimens. We found no relationship between C and TA, whereas there was a significant relationship between C and TI ( $TI = 24.757 + 0.576 C$ ). The relationship between TA and the clams' live weight (PV) was also significant ( $TA = 4.292 PV^{0.683}$ ). A close relationship between PV and TI was found only when food availability (AD), a parameter that includes food concentration and flow, was constant. When it was not, the equation

$$TI = 64.089 + 0.015 PV + 0.546 AD$$

appears to explain 96.1 % of TI variability.

**Keywords:** Ingestion, clearance, food concentration, *Ruditapes decussatus*.

## INTRODUCCIÓN

La almeja fina o sana *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) es una de las especies más apre-

ciadas en España entre los moluscos bivalvos y unas de las menos abundantes. Su producción está limitada por la escasez de semilla apta para el cultivo y, aunque los conocimientos biológicos y la tecnolo-

gía permiten hoy la producción de semilla en criadero, resulta imprescindible mejorar ciertos aspectos de esta tecnología para aumentar la producción y abaratar sus costes.

Dentro de los aspectos susceptibles de mejora, la optimización del consumo de alimento ocupa un lugar destacado, sobre todo en las fases de engorde de semilla y acondicionamiento de reproductores.

El crecimiento de los malucos bivalvos y el desarrollo gonadal guardan relación estrecha con la cantidad de alimento ingerido, que depende, a su vez, en gran medida, de la temperatura y de la concentración de partículas en suspensión (Bayne y Newell, 1983; Albentosa, Pérez Camacho y Beiras, 1996).

En general, se admite que, con ciertos límites, los bivalvos pueden regular su tasa de filtración en función de la concentración de alimento (Winter, 1973, 1978), igual que la producción de pseudoheces (Álvarez, 1995), lo que les permite mantener la ingestión en un nivel constante.

Con esta perspectiva, se determina aquí la relación entre el tamaño de los ejemplares y la concentración de alimento sobre las tasas de aclaramiento e ingestión de la almeja *Ruditapes decussatus*, lo que permitirá establecer las raciones de alimento más adecuadas para el crecimiento y la maduración de esta especie.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos destinados a medir el efecto de la concentración de alimento, el flujo de éste en las cámaras experimentales y el tamaño de las almejas sobre las tasas de aclaramiento e ingestión de *R. decussatus*. Las experiencias se realizaron en cámaras de metacrilato de 175 cm<sup>3</sup>, a través de las que, mediante bombas peristálticas de tipo multicanal y flujo regulable, se hacía circular agua a 18 °C, filtrada a 1 µm y enriquecida con fitoplancton.

En la primera experiencia se utilizaron almejas de 20,5 mm de longitud media y 1,58 g de peso vivo medio. En este caso se ensayaron tres concentraciones de *Isochrysis galbana* Parke en la entrada de las cámaras experimentales: 25 000, 50 000 y 100 000 células/ml, que equivalen, respectivamente, a 0,5, 1,0 y 2,0 mg de materia orgánica (MO) por litro. Para cada condición experimental se emplearon cinco cámaras con sendas almejas, y una cámara más sin almejas como control de la concentración

de alimento. En todas las cámaras el flujo fue de 700 ml/h.

En la segunda experiencia se ensayaron caudales de 0,5, 1,0 y 1,5 l/h. Las almejas tenían 34,3 mm de longitud media y 11,6 g de peso medio. Se empleó agua filtrada a 1 µm y enriquecida con 70 000 células/ml de *Isochrysis galbana*. Cada condición experimental contaba con siete réplicas: seis cámaras con una almeja en cada una y una cámara más sin almejas como control.

La tasa de aclaramiento (TA), definida como el volumen de agua totalmente aclarado de partículas por unidad de tiempo, se determinó mediante la ecuación

$$TA = f (C_e - C_s) / C_s$$

(Hildreth y Crisp, 1976). La tasa de ingestión (TI) o cantidad total de alimento ingerido por unidad de tiempo se midió mediante la fórmula

$$TI = f (C_e - C_s)$$

(Hildreth y Crisp, 1976). En ambas ecuaciones *f* es el flujo del agua a través de las cámaras y *C<sub>e</sub>* y *C<sub>s</sub>* son, respectivamente, las concentraciones de alimento en la entrada y la salida de las mismas medida en número de células por ml. La TI en número de células se transformó en peso orgánico de fitoplancton utilizando el equivalente de 0,02 mg de MO por millón de células de *Isochrysis galbana*.

La duración de cada experiencia fue de 8 horas, durante las que se realizaron cinco mediciones de la densidad de fitoplancton en el agua de salida de las cámaras con un contador Coulter Multisizer. Antes de empezar las mediciones, las almejas se mantuvieron en las condiciones experimentales durante un periodo de tres días.

La comparación estadística de los resultados se realizó sobre los valores medios de cada espécimen, que se analizaron mediante regresiones lineales, múltiples y análisis de la varianza (Anova); la homogeneidad de las varianzas se determinó con las pruebas de Cochran y Bartlett (Snedecor y Cochran, 1971) y los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico Statgraphics.

## Resultados

### Efecto de la concentración de alimento

Como se ha detallado en el apartado de material y métodos, las concentraciones de alimento en la entrada de las cámaras de acondicionamiento fueron

de 0,5, 1,0 y 2,0 mg/l de MO. No obstante, la concentración de partículas en el agua que rodea las almejas se corresponde con la concentración de salida de las cámaras, que, en nuestro caso, varió entre 0,2 y 0,5 mg/l de MO. En estas condiciones, la TA de las almejas osciló entre 550 y 1 050 ml/h, sin que exista una dependencia clara de la concentración de alimento. La línea de regresión entre ambas variables (figura 1) sólo explica el 1 % de la varianza de TA, con un valor  $P = 0,767$  en el análisis de varianza.

Por el contrario, y según se evidencia en la figura 2, entre TI ( $\mu\text{g/h}$  de MO) y la cantidad de alimento presente en el agua (C) ( $\mu\text{g/l}$  de MO) existe una relación estadísticamente significativa (Anova;  $P > 0,001$ ;  $n = 15$ ) y la regresión lineal entre ambas variables

$$TI = 24,757 + 0,576 C$$

explica el 88,2 % de la variabilidad de TI.

### Efecto del flujo

En las almejas de la segunda experiencia TA osciló de 1 500 a 4 000 ml/h. En este caso, la relación

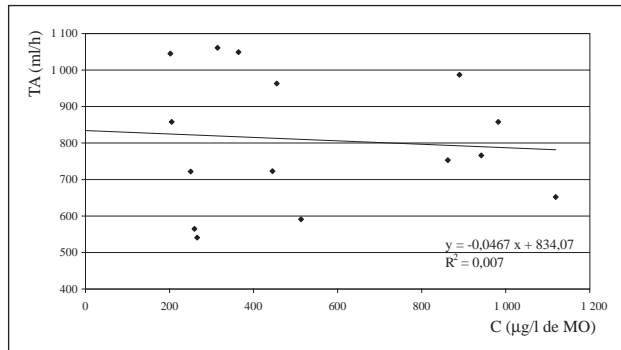


Figura 1. Relación entre la tasa de aclaramiento (TA) y la concentración de alimento (C) en ejemplares de *Ruditapes decussatus* de 20,5 mm de longitud media (1,58 g de peso vivo).

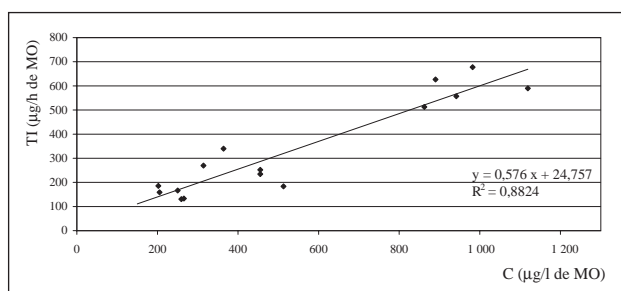


Figura 2. Relación entre la tasa de ingestión (TI) y la concentración de alimento (C) en ejemplares de *Ruditapes decussatus* de 20,5 mm de longitud media (1,58 g de peso vivo).

entre TA y el flujo de agua a través de las cámaras experimentales (F) no resulta significativa (Anova;  $P = 0,233$ ;  $n = 18$ ) y el flujo sólo puede explicar el 3,9 % de la varianza de TA (figura 3).

Como se aprecia en la figura 4, TI presenta una estrecha relación con F. La relación entre ambas variables resulta estadísticamente significativa (Anova;  $P < 0,001$ ;  $n = 18$ ) y la regresión lineal

$$TI = 1,947 + 1,017 F$$

(TI en  $\mu\text{g/h}$  de MO y F en ml/h)

explica el 93,6 % de la varianza de TI.

### Efecto del tamaño de las almejas

TA (ml/h) se relaciona con el tamaño de las almejas, expresado en mg de PV, siguiendo la relación de tipo potencial

$$TA = 4,292 PV^{0,683} \quad (r^2 = 0,872; n = 33; P < 0,001)$$

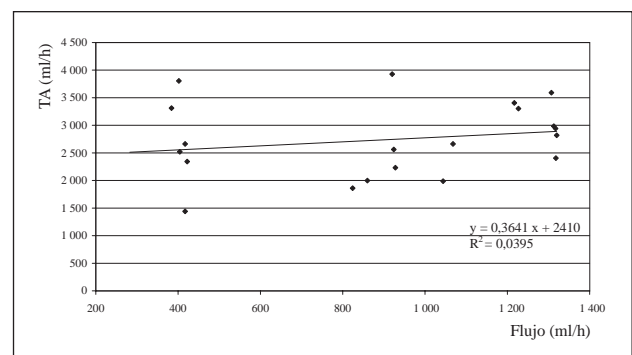


Figura 3. Relación entre la tasa de aclaramiento (TA) (ml/h) y el flujo (ml/h) en ejemplares de *Ruditapes decussatus* de 34,4 mm de longitud media (11,6 g de peso vivo) cuando es alimentada con *Isochrysis galbana* a una densidad de 70 000 células/ml.

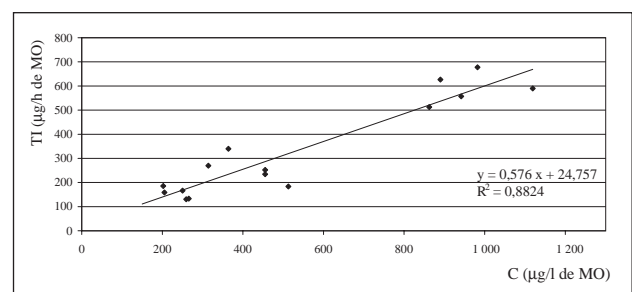


Figura 4. Relación entre la tasa de ingestión (TI) ( $\mu\text{g/h}$  de MO) y el flujo (ml/h) en ejemplares de *Ruditapes decussatus* de 34,4 mm de longitud media (11,6 g de peso vivo) cuando es alimentada con *Isochrysis galbana* a una densidad de 70 000 células/ml.

Cuando la cantidad de alimento disponible se mantiene constante (en 500 µg/h de MO aproximadamente), TI y PV presentan una estrecha relación (Anova; n = 11; P < 0,001; r<sup>2</sup> = 0,961), como puede apreciarse en la figura 5. Si la ración no es constante, como sucede si se tratan conjuntamente los datos de los dos experimentos descritos en este estudio, el PV de las almejas sólo explica el 31,5 % de la variabilidad de TI. Algo semejante sucede si no se tiene en cuenta el tamaño de las almejas y la regresión se calcula entre TI y la cantidad de alimento: en este caso, la cantidad de alimento disponible sólo explica el 4,0 % de TI.

**DISCUSIÓN**

La repercusión de la concentración de partículas en el agua sobre TA es un fenómeno ampliamente estudiado. En algunos casos, TA es independiente de la concentración (Tenore y Dustan, 1973; Prins y Smaal, 1989), mientras que, en otros, TA se reduce cuando la concentración de partículas aumenta (Foster-Smith, 1975; Widdows, Fieth y Worrall, 1979; Riisgård y Randløv, 1981). Winter (1978) describe la habilidad de ciertos bivalvos para regular su tasa de ingestión, reduciendo TA cuando la concentración de alimento aumenta. Esta regulación se manifiesta, generalmente, en concentraciones de partículas superiores a 10<sup>5</sup> células/ml (Owen, 1974), mientras que, en concentraciones menores, TA suele ser constante.

En nuestros experimentos, en los que la concentración de fitoplancton no sobrepasó las 10<sup>5</sup> células/ml, la TA de *R. decussatus* no depende de la

concentración de alimento (figura 1) y, en consecuencia, no hay regulación de TI, que aumenta conforme se incrementa la concentración de partículas en el agua (figura 2).

Cuando las experiencias se realizan en circuito abierto, el flujo de agua a través de los recipientes que contienen los bivalvos también influye sobre TI, que crece cuando el flujo se incrementa (figura 4). Si no se tiene en cuenta el flujo, la regresión lineal entre TI y C, que en la segunda experiencia responde a la ecuación

$$TI = 160,127 + 1,840 C$$

sólo explica el 64 % de la variabilidad de TI.

En realidad, la concentración de partículas y el flujo actúan conjuntamente determinando la cantidad de alimento disponible (AD) en un tiempo dado, que se corresponde con el producto de ambas variables. Así, como se aprecia en la figura 6, si en la ecuación anterior se sustituye la concentración de partículas AD (µg/h de MO)

$$TI = 94,396 + 0,561 AD$$

(Anova; P < 0,001; n = 18; r<sup>2</sup> = 0,967)

queda explícito que el alimento disponible es factor determinante de TI en los sistemas con agua circulante.

Este resultado coincide con los de Fréchette, Butman y Geyer (1989) y Pérez Camacho, Labarta y Beiras (1995) en sus estudios sobre *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758, en los que se pone de manifiesto la importancia de la velocidad de la corriente como factor determinante de la disponibilidad de alimento en sistemas abiertos. Igualmente, es concordante con Pérez Camacho, Labarta y Beiras (1995),

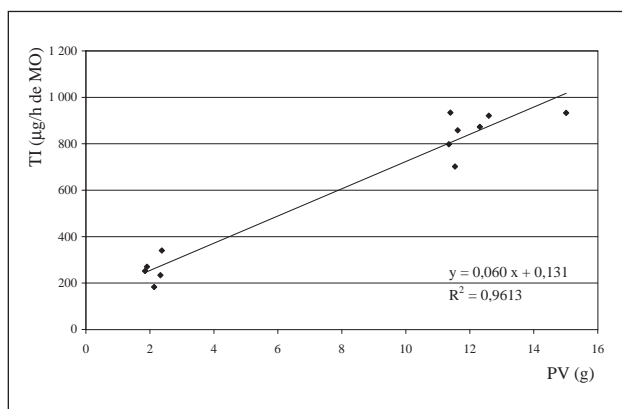


Figura 5. Relación entre la tasa de ingestión (TI) (µg/h de MO) y el peso vivo (PV) (g) en *Ruditapes decussatus* para una cantidad de alimento disponible de 0,5 mg/h de MO.

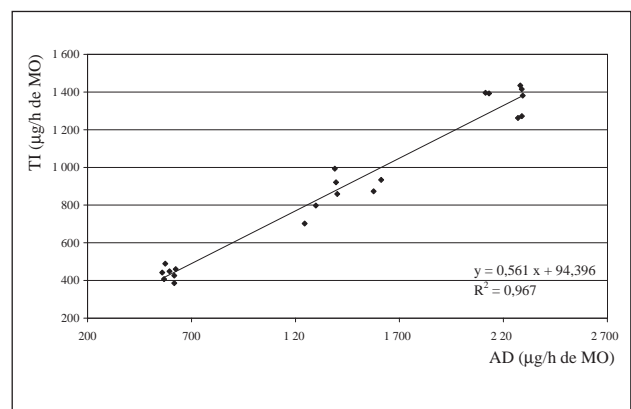


Figura 6. Relación entre la tasa de ingestión (TI) (µg/h de MO) y la cantidad de alimento disponible (AD) (µg/h de MO) en *Ruditapes decussatus*.

que establecen la relación existente entre el crecimiento de *M. edulis* y la disponibilidad de alimento, calculada como producto de la concentración por la velocidad de la corriente.

Otro factor de incidencia importante sobre TI es el tamaño de los individuos. El crecimiento en los moluscos bivalvos se ajusta a una curva de tipo sigmoidal, con una fase inicial de crecimiento exponencial, cuya pendiente disminuye progresivamente hasta que los ejemplares alcanzan una talla máxima en la que el crecimiento se detiene. Para *Ruditapes decussatus* de Galicia este tamaño máximo es de unos 70 mm (Pérez Camacho, 1980).

En los moluscos bivalvos, TA y el tamaño de los ejemplares se relacionan según una función potencial del tipo  $Y = a X^b$  en la que Y representa la tasa TA y X el peso vivo (Álvarez, 1995). El valor del exponente b varía entre 0,66 y 0,82 según los diferentes autores y especies (Bayne y Newell, 1983; Winter, 1978). Estos datos coinciden plenamente con nuestras observaciones, en las que

$$TA = 4,292 PV^{0,683}$$

Como ya se ha indicado en los resultados, PV y TI guardan una estrecha relación sólo en el caso de que la cantidad de alimento disponible se mantenga constante (figura 5). De no ser así, el PV de las almejas sólo explica el 31,5 % de la variabilidad de TI. Igualmente, si no se tiene en cuenta el tamaño de las almejas, y la regresión se calcula entre TI y el alimento disponible, AD sólo explica el 4,0 % de TI.

No obstante, si relacionamos estos tres parámetros mediante la regresión lineal múltiple

$$TI = 64,089 + 0,015 PV + 0,546 AD$$

(en la que TI y AD se expresan en  $\mu\text{g}/\text{h}$  y PV en mg) el Anova evidencia una relación estadísticamente significativa entre las variables al nivel de confianza del 99 %, y el valor de  $r^2$  indica que el modelo explica el 96,1 % de la variabilidad de TI, lo que permite disponer de una ecuación válida para estimar TI en almejas de entre 2 y 14 g de PV y dietas de 0, 25 a 2,30 mg  $\text{indiv}^{-1} \text{h}^{-1}$  de MO.

## AGRADECIMIENTOS

A C. Fernández Pena, Pilar Espiñeira y Gemma Rico por la asistencia técnica prestada en los cultivos microalgales y en los cultivos experimentales. Este estudio se ha llevado a cabo dentro de los pro-

yectos Determinación das condicións óptimas para a maduración sexual da ameixa fina (*Ruditapes decussatus*) (PGIDT 99MAR60401), financiado por la Xunta de Galicia, y Procesos de asimilación de la dieta y de utilización de reservas en dos especies de almejas: *Ruditapes decussatus* y *Venerupis pullastra*: Estudio comparativo (CICYT MAR99-0240-CO2-01), financiado por CICYT-IEO-CSIC.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albentosa, M., A. Pérez Camacho y R. Beiras. 1996. The effect of food concentration on the scope for growth and growth performance of *Ruditapes decussatus* seed reared in a open-flow system. *Aquaculture Nutrition* 2: 213-222.
- Álvarez, P. 1995. *Crecimiento, reproducción y energética fisiológica de la almeja Tapes philippinarum*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad del País Vasco: 290 pp.
- Bayne, B. L. y R. C. Newell. 1983. Physiological energetics of marine molluscs. En: *The Mollusca*. A. S. M. Salenium y K. M. Wilbur (eds.) 4 (1): 407-415. Academic Press. Nueva York.
- Foster-Smith, R. L. 1975. Some mechanisms for the control of pumping activity in bivalves. *Mar. Behav. Physiol.* 4: 41-60.
- Fréchette, M., C. A. Butman y W. R. Geyer. 1989. The importance of boundary-layer flows in supplying phytoplankton to the benthic suspension feeder, *Mytilus edulis* L. *Limnol. Oceanogr.* 34: 19-36.
- Hildreth, D. I. y D. J. Crisp. 1976. A corrected formula for calculation of filtration rate of bivalve molluscs in an experimental flowing system. *J. Mar. Biol. Ass. (UK)* 56: 111-120.
- Owen, G. 1974. Feeding and Digestion in the Bivalvia. *Adv. Comp. Physiol. Biochem.* 5: 1-35.
- Pérez Camacho, A. 1980. Biología de *Venerupis pullastra* (Montagu) y *Venerupis decussata* (Linnaeus) (Mollusca, Bivalvia) con especial referencia a los factores determinantes de la producción. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 5 (281): 43-76.
- Pérez Camacho, A., U. Labarta y R. Beiras. 1995. Growth of mussels (*Mytilus edulis galloprovincialis*) on cultivation rafts: influence of seed source, cultivation site and phytoplankton availability. *Aquaculture* 138: 349-362.
- Prins, T. C. y A. C. Smaal. 1989. Carbon and nitrogen budgets of the mussel *Mytilus edulis* L. and *Cerastoderma edule* (L.) in relation to food quality. En: *Topics in marine biology*. J. Ross (ed.). *Scientia Marina* 53: 477-482.
- Riisgård, H. U. y A. Randløv. 1981. Energy budgets, growth and filtration rates in *Mytilus edulis* at different algal concentration. *Mar. Biol.* 61: 227-234.
- Snedecor, G. W. y W. C. Cochran. 1971. *Métodos estadísticos*. Continental. Buenos Aires: 703 pp.
- Tenore, K. R. y W. M. Dustan. 1973. Comparison of rates feeding and biodeposition of the American oyster, *Crassostrea virginica* Cmlin, fed different species of phytoplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 12: 19-26.

Widdows, J., P. Fieth y C. M. Worrall. 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 50: 195-207.

Winter, J. 1973. The filtration rate of *Mytilus edulis* and its dependence on algal concentration, measured by a con-

tinuous automatic recording apparatus. *Mar. Biol.* 22: 317-328.

Winter, J. 1978. A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture* 13: 1-33.