

Evacuación gástrica en el jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) del norte de Chile

Gastric evacuation in jack mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*) off northern Chile

Marianela Medina¹, Hugo Arancibia², Miguel Araya¹ y Mauricio Vargas¹

¹ Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat, Casilla 121, Iquique, Chile.

mmedina@cec.unap.cl

² Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanografía, Universidad de Concepción, Casilla 2407-10, Concepción, Chile.

Abstract.— The instantaneous gastric evacuation rate for *Trachurus symmetricus murphyi* of northern Chile, was experimentally determined. The specimens were transported in bins from the fishing area to port of Iquique, aboard a purse-seine vessel. Later, they were placed separately in cages inside a fishpond. Fish specimens (16.5 to 24 cm FL) were then starved for three days before they were fed with previously weighed pieces of anchovy (*Engraulis ringens*). Fish were subsequently sacrificed at regular periods. The data of stomach contents were fitted to several models of evacuation rate. The best fit was obtained with the Gompertz model, with an instantaneous gastric evacuation coefficient of 0.087 h^{-1} , which represents an initially fast digestion process.

Key words: gastric evacuation, Gompertz model, feeding, jack mackerel, Chile.

Resumen.— Se determinó en forma experimental el coeficiente instantáneo de evacuación gástrica en *Trachurus symmetricus murphyi* de la zona norte de Chile. Los peces fueron transportados desde la zona de pesca y colocados en jaulas individuales dentro de una piscina. Al inicio del experimento se proporcionó a cada individuo (rango de talla: 16,5-24 cm LH), después de mantenerlos en inanición por tres días, trozos de anchoveta (*Engraulis ringens*) de peso conocido para luego ser sacrificados a intervalos de horarios regulares. Los datos obtenidos se ajustaron a diversos modelos matemáticos, siendo el modelo de Gompertz el que mejor se ajustó, entregando un valor del coeficiente instantáneo de evacuación gástrica de $0,087 \text{ h}^{-1}$. Este modelo refleja que no se produce al inicio un rápido proceso de digestión.

Palabras claves: evacuación gástrica, modelo Gompertz, alimentación, jurel, Chile.

Introducción

En los últimos años una gran número de publicaciones científicas han aparecido sobre evacuación gástrica, entendiéndose como evacuación gástrica al proceso en que el alimento triturado en el estómago, a través de una combinación de contracciones musculares y acción enzimática, es transportado desde el estómago hacia el intestino a través del esfínter pilórico (Bromley 1994). Los estudios de los hábitos alimentarios en conjunto con información sobre tasas de evacuación gástrica, estimada en forma experimental, se requieren para la determinación de la ración diaria y consumo de alimento de poblaciones de peces (dos Santos & Jobling 1991, He & Wurtsbaugh 1993).

Este tipo de información adquiere mayor importancia cuando predadores y presas son especies recursos, la cual permite cuantificar la predación y determinar cualquier interacción trófica entre las especies, para obtener finalmente estimaciones de mortalidad por predación la que es requerida en

modelos pesqueros como el Análisis de Población Virtual de Multiespecies (MSVPA) (Gislason & Sparre 1987, Anon 1988 *vide* Bromley 1991, Daan & Sissenwine 1991).

Los estudios sobre evacuación gástrica se han preocupado principalmente en encontrar un modelo básico que describa adecuadamente la tasa de evacuación gástrica de las especies de peces. El problema se centra en escoger una función matemática que se ajuste a una distribución de observaciones. La selección de un modelo depende de la forma de la curva que describa el proceso de evacuación del contenido estomacal en peces después de ser alimentados. Esta relación ha sido descrita como lineal, exponencial, logística, raíz cuadrada (Bromley 1991, 1994, dos Santos & Jobling 1992, He & Wurtsbaugh 1993).

En consecuencia, el presente trabajo tiene como objetivo estimar en forma experimental el coeficiente de evacuación gástrica de *Trachurus symmetricus murphyi* de la zona norte, ya que es un recurso pesquero

importante en la pesquería industrial de cerco de la zona norte y centro-sur de Chile, y cuyo resultado podrá contribuir a las estimaciones de ración diaria y consumo anual de alimento a escala poblacional de la especie.

Materiales y Métodos

El diseño del experimento consistió en aclimatar peces en jaulas individuales confeccionadas con cabos de polipropileno y red tipo anchovetera, cuyas dimensiones fueron 0,7-1,5-1 m, las que fueron colocadas en una piscina. Se mantuvo un flujo de agua de mar continuo (200 litros por minuto) a través de una motobomba marca Suzuki modelo VP30X, la que funcionó con ritmo de seis horas continuas encendida y seis horas de reposo. El volumen de la piscina fue de 100 m³, la que se llenó con agua de mar hasta un nivel de aproximadamente 1,0 m. La piscina fue techada con paneles de madera para evitar la radiación solar, el calentamiento del agua y la proliferación de microalgas.

Los peces fueron transportados vivos desde la zona de pesca, ubicada a 10 mn de Pabellón de Pica (20° 54' S - 70° 18' W) en dos acuarios de 500 l, a bordo del PAM Towerkop de Pesquera del Norte. La captura y toma de muestras de peces vivos (n= 323) se realizó el 20 de julio de 1994. Una vez colocados en sus jaulas los peces se mantuvieron durante un período de aclimatación, considerándose como período de aclimatación al tiempo transcurrido desde la llegada de los peces vivos hasta que aceptaron alimento por primera vez. Este período fue de siete días. Luego se les proporcionó diariamente alimento por mano, consistente en trozos de carne de anchoveta (*Engraulis ringens*) durante 10 días.

Posteriormente, los peces fueron mantenidos en condición de inanición por tres días, con el propósito de que sus estómagos se encontraran sin restos de alimento. Al iniciar el experimento, se proporcionó a cada individuo quince trozos de anchoveta de peso conocido (rango de peso de los trozos: 0,314-1,125 g; promedio de quince trozos: 9,476 g), durante cinco minutos. El alimento no consumido por cada individuo se retiró inmediatamente del fondo de cada jaula. El número de trozos proporcionados a cada individuo correspondió al número máximo de trozos consumidos por los peces antes de iniciar el experimento. Posteriormente los peces fueron sacrificados en intervalos horarios regulares al comienzo, distanciándose este tiempo después, siguiendo una metodología estándar (Bromley 1988). Se registró el peso del contenido estomacal de cada pez, además de su talla y peso corporal. La temperatura del agua de la piscina se mantuvo constante registrándose diariamente desde la llegada de los ejemplares y a intervalos regulares de tiempo durante el transcurso del experimento.

Con el fin de poder determinar que modelo se ajusta mejor a los datos se aplicaron tres modelos clásicos de estimación de la tasa de evacuación gástrica, siendo éstos el lineal, raíz cuadrada y exponencial (He & Wurtsbaugh 1993, Bromley 1994), cuyas ecuaciones son las siguientes:

$$\frac{W_t}{W_i} = a - R_i t$$

$$\sqrt{\frac{W_t}{W_i}} = a - R_i t$$

$$\frac{W_t}{W_i} = a e^{-R_i t}$$

Donde W_i corresponde al peso del alimento al tiempo t , W_t peso del alimento al inicio del experimento; a es el intercepto con el eje de las ordenadas; R_i , R_r y R_e tasa de evacuación gástrica para los tres modelos respectivamente; y t es el tiempo en horas. El ajuste se realizó, además, forzando el intercepto a 1 en el modelo lineal y de raíz cuadrada y $\ln(1)$ en el exponencial, asumiendo que al tiempo $t=0$ no ocurre digestión (proporción $W_t/W_i = 1$). Además, la información se ajustó a un modelo tipo Gompertz de acuerdo a Bromley (1994), siendo su expresión:

$$\frac{W_t}{W_i} = 1 - A e^{-e^{Bt+C}}$$

Donde R_g es la tasa instantánea de evacuación gástrica; A y C son parámetros del modelo.

Para evaluar la bondad de ajuste de los modelos, se normalizó la variable Y , es decir, W_t/W_i , a valores de Z , mediante:

$$Y_t = \frac{(Y - \bar{Y})}{DE_Y}$$

Donde, Y_t es el valor normalizado en todos los modelos, \bar{Y} es la media de Y ; y DE_Y es la desviación estándar; ya que el coeficiente de determinación (r^2) tradicional no es posible compararlo con ajustes no lineales y la sumatoria de residuos al cuadrado (SRC) presenta diferentes unidades de medidas en cada regresión. Finalmente se utilizó la SRC normalizada para determinar el modelo que mejor se ajusta a los datos (He & Wurtsbaugh 1993).

Resultados

La sobrevivencia diaria de los peces mantenidos en cautiverio se observa en la Figura 1. Los primeros cuatro días de cautiverio, se produjo una alta mortalidad de individuos, debido a que los peces sufrieron un gran estrés al ser succionados por la yoma, y por la pérdida de escamas, hematomas y heridas en la piel, lo cual los deja muy vulnerables al ataque de hongos y bacterias hasta producir la muerte al no ser tratados adecuadamente. El número de peces con los que se comenzó el experimento para medir la tasa instantánea de evacuación gástrica fue 33, de los cuales 22 aceptaron alimento durante el experimento. El rango de tallas de los peces estuvo entre 16,5 y 24 cm longitud horquilla (LH), cuyos pesos corporales fueron de 47,1 y 178,1 g, respectivamente.

Los resultados obtenidos al ajustar los modelos propuestos para determinar la tasa instantánea de evacuación gástrica, indicaron que tres de ellos presentaron buenos ajustes (lineal, raíz cuadrada y Gompertz), considerando la sumatoria de residuos al cuadrado normalizados (Tabla 1). El modelo lineal sin forzar el intercepto, es el que mejor describe los valores observados con una tasa de evacuación gástrica de $0,033 \text{ hr}^{-1}$ (SRC NOR. = 1,29). Entre los ajustes efectuados, se ha escogido el valor de R estimado a través de Gompertz ($R_g = 0,087$), debido a que el valor que entregó el modelo lineal y raíz cuadrada corresponden a una tasa absoluta de evacuación gástrica. Aunque el modelo exponencial entrega una tasa instantánea, el ajuste no es bueno (SRC NOR. = 4,33) en comparación con el modelo de Gompertz (SRC NOR. = 1,74). En la Figura 2 se aprecia el ajuste del modelo Gompertz a los datos observados.

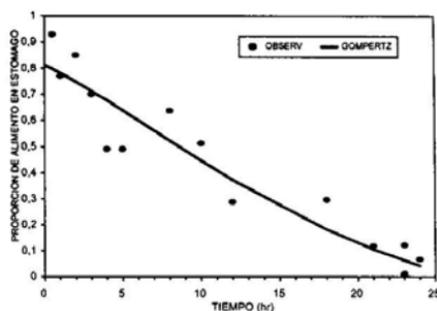


Figura 2

Ajuste del modelo Gompertz a los datos observados de proporción de alimento en el estómago de *T. s. murphy* versus el tiempo transcurrido después de ser alimentados los peces.

The Gompertz model fitted to observed data of food in the stomach of *T. s. murphy* versus feeding time.

Discusión

En la determinación de la tasa de evacuación gástrica, principalmente en especies de salmonídeos y gádidos, se han utilizado diversos modelos, en donde un solo modelo no es siempre el que entrega el mejor ajuste (He & Wurtsbaugh 1993). Por otro lado, la forma de la curva de la evacuación gástrica no depende solamente de la naturaleza del alimento y puede variar en especies de peces probablemente con relación al tamaño y función del estómago e intestino. Por ejemplo, un patrón exponencial de evacuación puede ser ajustado en peces con estómago pequeño o de tamaño medio (salmonídeos), o uno lineal puede ser aplicado en peces que tienen estómagos relativamente grandes y que comen grandes presas como los gádidos (Bromley 1994).

La temperatura, tamaño del alimento, y el método experimental son los factores más importantes que afectan las mediciones de la tasa de evacuación gástrica, pero también se ha sugerido que variables como el tamaño del predador, comidas múltiples, tipo de presa también influyen en la evacuación gástrica de algunas especies de peces (dos Santos & Jobling 1991, He & Wurtsbaugh 1993, Bromley 1994). No obstante, He & Wurtsbaugh (op. cit.) hacen un análisis de valores publicados de tasas de evacuación gástrica de 22 especies de peces, entre ellos *Blennius pholis* (25 g peso corporal), *Merlangius merlangus* (268 g), *Salmo trutta* (91-190 g), *Gadus morhua* (229-751 g), indicando que la temperatura y el tamaño de la presa

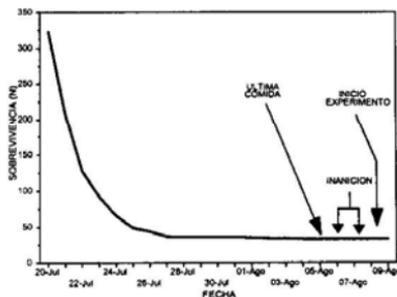


Figura 1

Sobrevivencia diaria de *T. s. murphy* (en número) durante el período de cautiverio, fecha de última comida, período de inanición e inicio de experimento.

Daily survival of *T. s. murphy* (in number) during the period of captivity, date of last feeding, period of starvation, and beginning of experiment.

Tabla 1

Parámetros estimados de diferentes modelos para obtener la tasa instantánea de evacuación gástrica de *T. s. murphyi* en la zona norte de Chile a una temperatura promedio de 15,3 °C. Los interceptos "a" y las pendientes (Rl, Rr y Re) fueron calculados forzando y sin forzar el intercepto. SRC= sumatoria de residuos al cuadrado normalizada. El error estándar del parámetro se indica entre paréntesis. Rg es la tasa instantánea de evacuación gástrica estimada con el modelo de Gompertz.

Estimated parameters of different models to obtain the rate of instantaneous gastric evacuation by *T. s. murphyi* from the north zone of Chile at an average temperature of 15.3 °C. The intercepts "a" and slopes (Rl, Rr, Re) were calculated forcing and without forcing the intercept. SRC= normalized residual sum of square. The standard error of parameter is indicated between parenthesis. Rg is the rate of instantaneous gastric evacuation estimated with the Gompertz model.

| Parámetros | Modelo | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|---------|----------------|------|---------------|---------|----------------|------|-------------|---------|----------------|------|----------|---------|-------|------|
| | Lineal | | | | Raíz Cuadrada | | | | Exponencial | | | | Gompertz | | | |
| | a | RI | r ² | SRC | a | Rr | r ² | SRC | a | Re | r ² | SRC | a | Rg | c | SRC |
| Sin forzar | 0,81 | 0,033 | 0,91 | 1,29 | 0,95 | 0,031 | 0,90 | 1,63 | 1,30 | 0,157 | 0,71 | 4,33 | 1,201 | 0,0876 | 7,105 | 1,74 |
| Intercepto | (0,04) | (0,002) | | | (0,04) | (0,003) | | | (0,41) | (0,027) | | | (0,30) | (0,039) | | |
| Forzando | 1,00 | 0,04 | 0,78 | 1,73 | 1,00 | 0,03 | 0,88 | 2,02 | 1,00 | 0,14 | 0,70 | 4,43 | | | | |
| Intercepto | | (0,002) | | | | | | | | (0,015) | | | | | | |

afectan significativamente la tasa de digestión, no así el tamaño del predador; esto último se contraponen a lo encontrado por otros autores (dos Santos & Jobling *op. cit.*, Durbin *et al.* 1983), lo que podría ser específico de la especie.

En el caso de *T. symmetricus murphyi*, esta es la primera experiencia conocida que se realiza para determinar la tasa instantánea de evacuación gástrica en esta especie y utilizando como alimento trozos de anchoveta. Por otro lado, Medina & Arancibia (resultados por publicar) estimaron valores de R en *T. symmetricus murphyi* del norte de Chile por estación del año utilizando el modelo empírico de Macpherson (1985) obtenido en *Lophius upsicephalus* y con peces como presa, los cuales fueron muy cercanos al valor de R obtenido a través de un modelo Gompertz en este estudio (Tabla 2).

En *T. symmetricus murphyi* de la zona centro-sur de Chile, Cornejo-Rodríguez (1991) estimó un R para peces mictófidios como presa con el mismo modelo empírico de Macpherson (1985), obteniendo un valor de $R = 0,06 \text{ h}^{-1}$ con una temperatura a de 11,5 °C. Medina & Arancibia (por publicar) y Cornejo-Rodríguez (*op. cit.*) utilizaron el modelo de Macpherson (*op. cit.*) debido a que *L. upsicephalus* es una especie carnívora que parece alimentarse a intervalos de tiempo entre los cuales no vuelve a ocurrir ingesta de alimento, lo que aparentemente también ocurre con *T. symmetricus murphyi*. Nelson & Ross (1995) ajustaron tres modelos de evacuación gástrica en *Raja erinacea* considerando el tipo de presa de las cuales se alimenta en el medio natural o similares y concluyen que una sola ecuación

no describe el proceso de evacuación para todas las presas. Indicarón, además, que en el caso de los crustáceos bentónicos *Crangon septemspinosa* y *Palaemonetes* spp., ningún modelo describió de forma adecuada la evacuación gástrica por lo que tuvieron que ajustar un modelo logístico.

El modelo exponencial es uno de los más utilizados para describir la tasa de evacuación gástrica en peces (Durbin *et al.* 1983, Macpherson 1985, dos Santos & Jobling 1992, Hölker & Temming 1996 entre otros), pero en el presente estudio, al realizar un análisis de los residuos nos indica que el modelo exponencial no es adecuado, por lo que se escogió el modelo de Gompertz; este modelo estaría reflejando que al inicio, no se produce un rápido proceso de digestión.

Hölker & Temming (1996) estiman la tasa de evacuación gástrica en *Gymnocephalus cernuus* a diferentes temperaturas, con dos tipos de presas y considerando diferencias entre sexo; sus resultados indican que las hembras presentaban más alimento en sus estómagos, pero las diferencias no eran significativas. En el caso de *T. symmetricus murphyi* la tasa de evacuación en relación con el sexo no debería ser diferente ya que no se han registrado diferencias intraespecíficas en la alimentación (tipo de presas) entre machos y hembras (Oliva 1989)¹.

¹ Oliva E. 1989. Alimentación del jurel (*Trachurus murphyi*) en la zona de Iquique durante 1989. Programa INPESCON 1989. Universidad Arturo Prat, Departamento de Ciencias del Mar. Iquique-Chile. Documentos Técnicos 37A (8) :16 p

Tabla 2

Valores de coeficientes de evacuación gástrica (R^{*}) obtenidos para *T. s. murphyi* de la zona norte y centro-sur de Chile a través del modelo exponencial de Macpherson (1985) para peces como presas.

Gastric evacuation coefficients (R) obtained for *T. s. murphyi* of the north and the south-center zone of Chile through the exponential model of Macpherson (1985) for fish prey.

| Autor | Lugar | Epoca del Año | Temp (°C) | R |
|-----------------------------------|---------------|----------------|-----------|-------|
| Cornejo-Rodríguez (1991) | VIII Región | Invierno 1990 | 11,5 | 0,06 |
| Medina & Arancibia (por publicar) | I y II Región | Primavera 1993 | 14,3 | 0,084 |
| | | Verano 1994 | 13,7 | 0,078 |
| | | Otoño 1994 | 14,3 | 0,084 |
| | | Invierno 1994 | 14,0 | 0,081 |

El valor de R obtenido a través del modelo de Gompertz, sería adecuado utilizarlo en estimaciones de raciones diarias y posterior consumo poblacional. Sin embargo, en este estudio se utilizaron trozos de anchoveta como presa, lo que probablemente estaría produciendo una sobreestimación del valor de R con respecto a lo que ocurre en el medio natural por lo que sería recomendable hacer una validación de R considerando el tipo de presa, principalmente peces (como mictófidios, gonostomátidos y anchovetas) y crustáceos (eufáusidos) que son los ítems presas principales en la alimentación de *T. symmetricus murphyi* (Medina & Arancibia 1992).

Agradecimientos

Se agradece al Fondo de Investigación Pesquera (FIP) por el financiamiento del Proyecto FIP 93/17 "Estudio biológico pesquero sobre el jurel en la zona norte (Regiones I y II)", dentro del cual se pudo llevar a cabo este experimento; al Técnico en Acuicultura Inés Tapia por su activa participación en la mantención de los peces y experimento y a la tripulación del PAM Towerkop por las facilidades prestadas a bordo.

Literatura citada

- Bromley P.J. 1988. Gastric digestion and evacuation in whiting, *Merlangius merlangus*. L. Journal of Fish Biology 33: 331-338.
- Bromley P.J. 1991. Gastric evacuation in cod (*Gadus morhua* L.). ICES Journal Marine Science Symposium 193: 93-98.
- Bromley P.J. 1994. The role of gastric evacuation experiments in quantifying the feeding rates of predatory fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries 4: 36-66.
- Gislason H & P Sparre. 1987. Some theoretical aspects of the implementation of multispecies virtual population analysis in ICES. ICES C.M/G:51 Demersal Fish Committee 39 p.
- dos Santos J & M Jobling. 1991. Factors affecting gastric evacuation in cod, *Gadus morhua* L., fed single-meals of natural prey. Journal of Fish Biology 38: 697-713.
- dos Santos J & M Jobling. 1992. A model to describe gastric evacuation in cod (*Gadus morhua* L.) fed natural prey. ICES Journal of Marine Science 49: 145-154.
- Cornejo-Rodríguez M.H. 1991. Causas posibles de las agregaciones de jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*, Nichols): Disponibilidad de alimento. Tesis para optar al Título de Magister en Ciencias con Mención en Oceanografía. Universidad de Concepción, Chile, 108 p.
- Daan N & M Sissenwine. 1991. (Eds). Multispecies models relevant to management of living resources (ICES Marine Science Symposia). Journal of Marine Science, ICES, Copenhagen, Vol.193, 358 p.
- Durbin EG, Durbin AG, Langton RW & Bowman RE. 1983. Stomach contents of silver hake, *Merluccius bilinearis*, and Atlantic cod, *Gadus morhua*, and estimation of their daily rations. Fishery Bulletin 81: 1306-1312.
- He E & WA Wurtsbaugh. 1993. An empirical model of gastric evacuation rates for fish and an analysis of digestion in piscivorous brown trout. Transactions of the American Fisheries Society 122: 717-730.
- Hölker F & A Temming. 1996. Gastric evacuation in ruffe (*Gymnocephalus cernuus* (L.)) and the estimation of food consumption from stomach content data of two 24 h fisheries in the Elbe Estuary. Archive of Fishery and Marine Research 44(1/2):47-67.

Macpherson E. 1985. Efecto de la predación de *Lophius upsicephalus* sobre la población de *Merluccius capensis*. ICSEAF Collection of Scientific Papers International Commission South-East Atlantic Fisheries 12:155-162.

Medina M & H Arancibia. 1992. Interacciones tróficas entre el jurel (*Trachurus murphyi*) y la caballa (*Scomber japonicus*) en el ecosistema pelágico del Norte de Chile. Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Serie Ciencias del Mar 2: 67-78

Nelson GA & MR Ross. 1995. Gastric evacuation in little skate. Journal of Fish Biology 46: 977-986.

Recibido en agosto de 1998 y aceptado en marzo de 1999