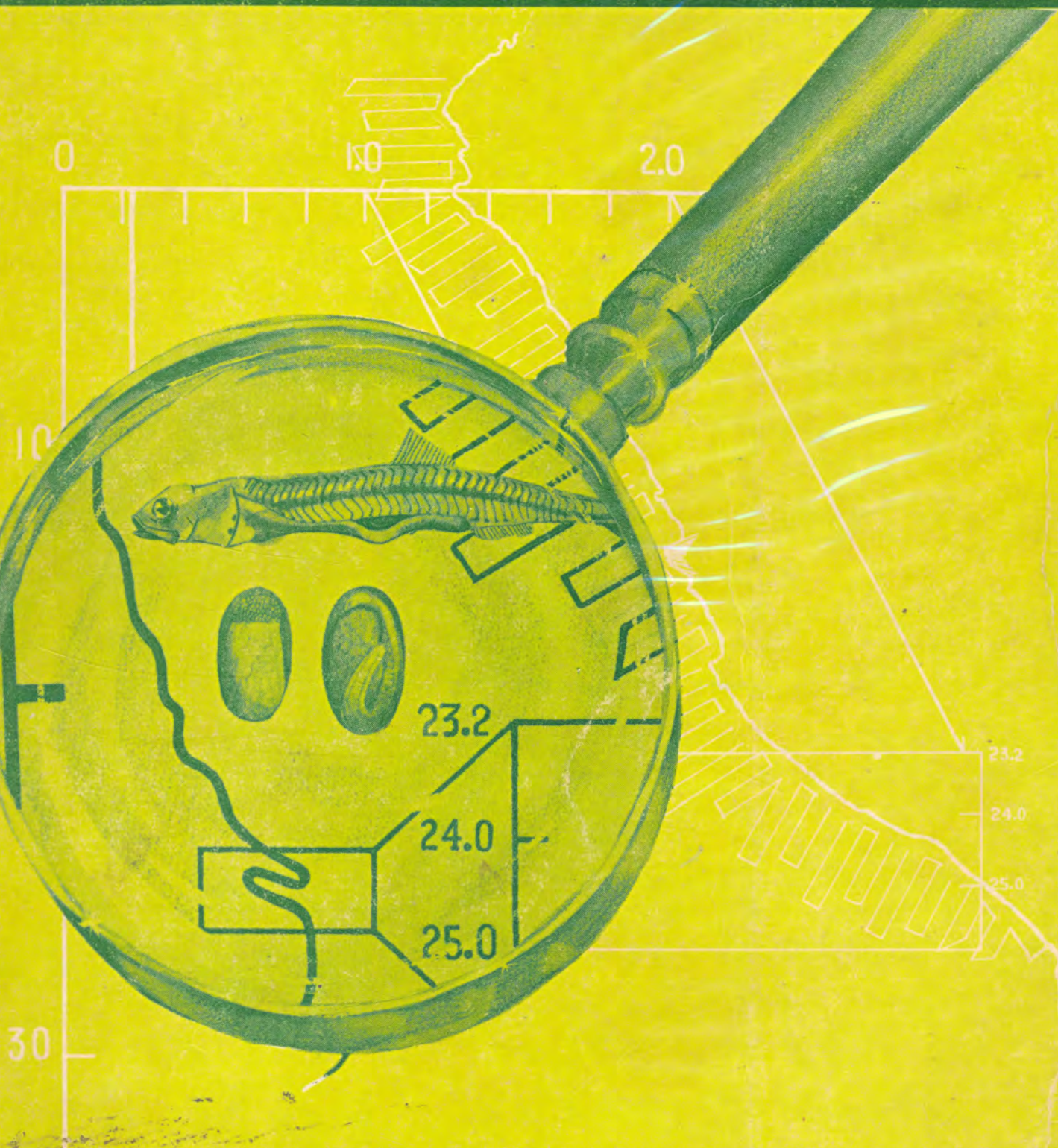




INSTITUTO DEL MAR DEL PERU

# Boletín

ISSN - Q 378 - 7699  
VOLUMEN EXTRAORDINARIO



**INVESTIGACION COOPERATIVA DE LA ANCHOVETA  
Y SU ECOSISTEMA - ICANE - ENTRE PERU Y CANADA  
CALLAO 1981 PERU**

## INVESTIGACION PRELIMINAR DE LOS REQUERIMIENTOS ENERGETICOS DE ANCHOVETA ADULTA (METABOLISMO ESTANDAR Y ACTIVIDAD)

POR:

Zoila Villavicencio R.  
Instituto del Mar del Perú

### RESUMEN

De los experimentos realizados se desprende que el consumo de oxígeno de anchovetas entre 10 y 13.5 cm con 8.5 a 18 g de peso (12 cm y 12.6 g en promedio) a velocidades entre 10 y 60 cm/seg y 14 a 25°C puede expresarse por la fórmula

$$Y = 0.33415 e^{0.095589(T)} + 0.036008(V)$$

en mg de oxígeno/hora/pez, la temperatura T en °C y la velocidad de natación V en cm/seg. Por extrapolación a velocidad cero se estima que el metabolismo estándar varía de 8.17 a 14.51 cal/g/día. El  $Q_{10}$  fue estimado en 2.60. La velocidad óptima de cruceo correspondió a 2.33 cuerpos/seg. El metabolismo a la velocidad de 1 cuerpo/seg, "metabolismo de rutina", resultó entre 12.6 y 22.4 cal/g/día a temperaturas entre 14 y 20°C, el valor para 15°C fue de 13.8 cal/g/día; para la misma temperatura y velocidad el margen de actividad es de 4.9 cal/g/día; mientras que para la velocidad óptima de cruceo es de 15.6 cal/g/día también a 15°C. Considerando un crecimiento diario del 10% y asignando valores a otros gastos, siempre a 15°C, la ración diaria requerida podría ser de 65.6 cal/g/día a la velocidad de rutina y de 87.2 cal/g/día a la velocidad óptima de cruceo.

### SUMMARY

From experiments with anchovetas 10 to 13.5 cm and 8.5 to 18 g (12 cm and 12.6 g, average) using swimming speeds from 10 to 60 cm/seg at temperatures 14 to 25°C came out that the oxygen consumption can be expressed by the formula

$$Y = 0.33415 e^{0.095589(T)} + 0.036008(V)$$

in mg of oxygen/hour/fish, temperature T in °C and speed V in cm/sec. By extrapolation to zero speed the standard metabolism is estimated between 8.17 to 14.51 cal/g/day.  $Q_{10}$  was estimated as 2.60. The optimum cruising speed corresponded to 2.33 lengths/sec. Metabolism at one length per second, "routine metabolism", came out between 12.6 and 22.4 cal/g/day at temperatures between 14 and 20°C, the value for 15°C was 13.8 cal/g/day; for the same temperature and speed the scope of activity is of 4.9 cal/g/day and for the optimum cruising speed of 15.6 cal/g/day. Considering a daily growth of 10% and assigning values to other expenditures, always at 15°C, the required daily ration could be of 65.6 cal/g/day at the routine speed and of 87.2 cal/g/day at the optimum cruising speed.

### INTRODUCCION

El presente trabajo engrana en la actividad científica del IMARPE en el proyecto RM-III-3, Ecología y Fisiología de Organismos Marinos, en el cual uno de los resultados científicos esperados por su relevancia en el crecimiento y fecundidad de los peces, es la "determinación de las necesidades fisiológicas (metabólicas) de las especies en diferentes condiciones ambientales".

Puesto que nuestra área de trabajo es un área

de intenso afloramiento, es pertinente citar que tradicionalmente la alta producción pesquera que caracteriza a éstas ha sido vista como una consecuencia directa de la alta producción primaria por la disponibilidad de nutrientes. La asunción implícita es que el alimento regula las poblaciones que lo utilizan. El alimento como factor limitante para los peces adultos ha sido cuestionado por Gulland (1971), Murphy (1973)\*, Steele (1974)\* y Mathisen (1978).

\* Citados en Mathisen 1978.

Por otra parte, si una población adulta es independiente de su alimento, sus requerimientos energéticos deben ser considerablemente bajos respecto a la producción de alimentos. Con el fin de examinar esta hipótesis, deben estimarse la ictiobiomasa, sus requerimientos bioenergéticos y la producción de alimento, Mathisen (1978).

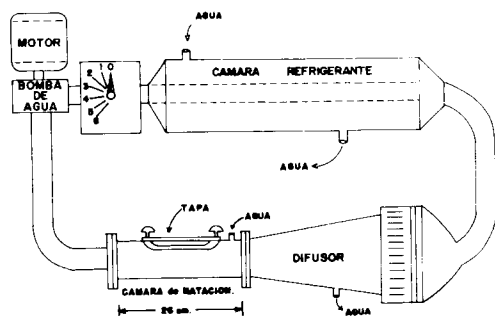
**MATERIAL Y METODOS**

Uno de los métodos preferidos por su rapidez y precisión en el estudio de los requerimientos aeróbicos de energía es la medición del consumo de oxígeno a diferentes velocidades de natación; en él se obtiene directamente el valor del metabolismo activo y, por extrapolación a velocidad cero, el metabolismo estándar.

Para determinar el metabolismo activo es necesario excluir otras causas de gasto energético como la digestión (SDA), para lo cual hay que trabajar con peces hambreados; otros gastos pueden considerarse insignificantes; entre ellos, las excretas, el balance osmótico, la pérdida de escamas, etc. La energía total ingerida en el alimento, ración, debe ser mayor que la suma de los requerimientos que hemos mencionado de modo que la diferencia es lo que se llama "Exceso de energía" o "Surplus energy" y es la que sirve para el crecimiento y la reproducción.

Conociendo hasta que punto la energía de exceso es afectada por cambios bióticos o abióticos podemos proporcionar importante información para modelos de reclutamiento y otros. Se midieron los consumos de oxígeno a diferentes temperaturas y velocidades de natación, de peces de tamaño y peso conocido (10.0 a 13.5 cm, 8.45 a 17.87 g). Se utilizó una cámara de natación modelo Brett, (Brett 1974) (Fig. 1) de 7.725 l de capacidad, observándose la condición de que el diámetro de la cámara sea 10 veces el diámetro de los peces usados, con un motor de 1/4 HP para la bomba; se obtuvo un flujo laminar y fue posible cambiar la velocidad y mantenerla estable a cada cambio; la medición de O<sub>2</sub> y temperatura se realizaban en cualquier momento;

FIG. 1 Esquema de la cámara de actividad, o respirómetro, cap. 7.725 L.



se proveyó además un sistema que permite dar electrochocs de voltaje y tiempo también regulables.

La cámara tiene su propio consumo de oxígeno debido a actividad microbiana, determinable antes de cada experimento para descontarlo del gasto medido.

Los consumos de oxígeno individuales fueron ploteados contra la velocidad (Fig. 2). Después de suprimir puntos por razones de irritabilidad del pez: exceso de manipuleo, mal estado físico (tórax y/o aletas caudales ensangrentadas), haber sufrido más de 3 electroschoks, el ploteo sugiere una curva exponencial que es factible de ser representada por la siguiente fórmula usada por D. Ware (comunicación personal) y otros:

$$M = Z e^{b(V)} \dots \dots \dots (1)$$

donde  $Z = ae^{c(T)} w^d f^h \dots \dots \dots (2)$

- M = metabolismo total (mg O<sub>2</sub>/hr)
- V = velocidad de natación (cm/seg)
- T = temperatura del agua (°C)
- w = peso (gr)
- f = factor de condición (w/L<sup>3</sup>)

Debido a que en nuestro material los rangos de L y w fueron muy pequeños, optamos por simplificar (2)

$$Z = a e^{c(T) + b(V)} \dots \dots \dots (3)$$

según la cual el metabolismo estándar Z, se daría a velocidad 0, es decir correspondería a la intersección de la curva con el eje del metabolismo.

Se entiende que a mayor temperatura, mayor metabolismo estándar y que, para un determinado aumento de temperatura, la proporción en que aumenta el metabolismo es una característica que recibe el nombre de Q<sub>10</sub> deducida de la fórmula:

$$M_2 = M_1 + Q \frac{T_2 - T_1}{10}$$

donde M<sub>2</sub> = metabolismo estándar a la temperatura T<sub>2</sub>

M<sub>1</sub> = metabolismo estándar a la temperatura T<sub>1</sub>

En nuestro caso, 10°C de diferencia es muy grande en comparación al rango de temperatura que se observa en el medio y por lo tanto para el cálculo hemos considerado una diferencia de 5°C.

La diferencia entre el metabolismo activo y el estándar se llama el margen de actividad (Moore 1975, Beamish 1975, Brett 1974 y otros) o, para otros autores como Fry (1958), la raíz cuadrada de dicha diferencia. Esta diferencia es una función de la presión parcial de O<sub>2</sub> (que a su vez depende de la temperatura). Esta dependencia del margen de actividad respecto al tenor de oxígeno es obviamente muy importante (Winberg 1964) pero por el momento no se dispone de un modelo aplicable a todas las especies.

Para algunos peces, parecería que el margen de actividad depende ajustadamente del oxígeno y la temperatura, existiendo además un punto óptimo donde ocurre un máximo de margen de actividad mientras que para otras la dependencia parece ser débil o indiferente dentro de cierto rango pero muy dependiente en un rango menor. En nuestro caso nos limitamos a dar el margen de actividad para unas cuantas temperaturas experimentalmente a nuestro alcance.

Los datos de metabolismo activo (A) y estándar (T) tiene uso inmediato en el modelo de Warren and Davis (1967) desarrollado por Trumble (1979) así:

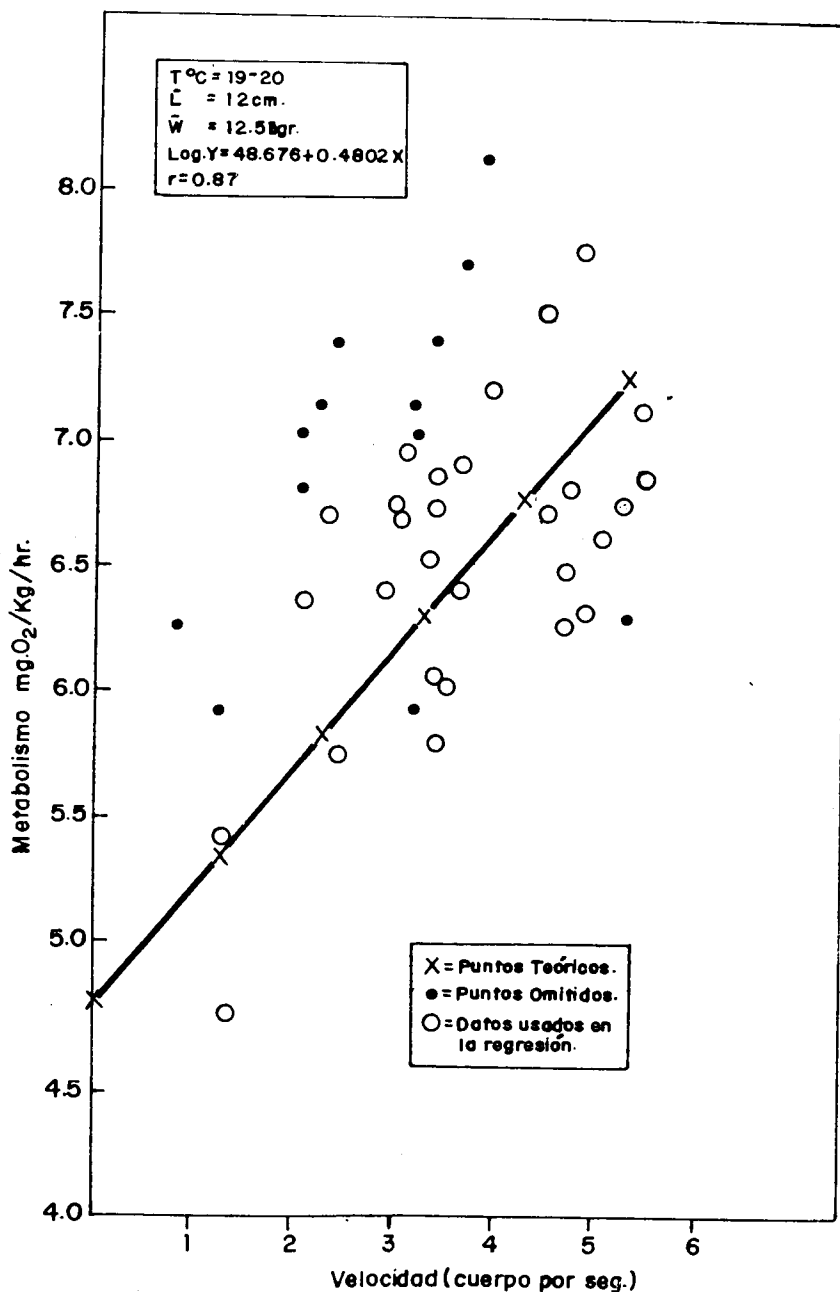
$$R/W = G/W + S/W + T/W + A/W + L/W + P/W + M/W$$

donde R = requerimiento total (ración), G = energía para el crecimiento diario, S = gastos por digestión y otros (SDA), T = metabolismo estándar, A = metabolismo activo, L = energía eliminada en heces y orina, P = energía para la reproducción, y M = energía perdida por caída de escamas, secreciones mucosas, balance osmótico e iónico, etc. W = peso del pez.

Los otros datos, para los que no tenemos valores experimentales, han sido considerados en la siguiente forma:

P = M = 0 Se consideran insignificantes.

FIG. 2 Relación entre metabolismo y velocidad en la anchoveta.



L = 200/o dentro del rango (10 - 400/o) sugerido por Steele, 1934\*, Parson and Takashashi, 1973\*, etc.

S = 300/o que corresponde a la catabolización de alimento puramente proteico y siguiendo a (Brody 1945)\*, (Kleiber 1961)\*, (Ware 1975).

En cuanto a G, se ha optado por varias alternativas que van de 0.030/o al 1.00/o del peso porque a diferencia de P, M, L y S, la estimación de G depende de un conocimiento bastante preciso del crecimiento mismo de la especie en el rango de tamaño empleado.

## RESULTADOS

Aplicable a anchovetas adultas ente 10 y 13.5 cm (8.5 - 17.9 g)

**Metabolismo total y estándar:** Tomando el modelo descrito por la fórmula (3) y la forma de deducir el metabolismo estándar o basal

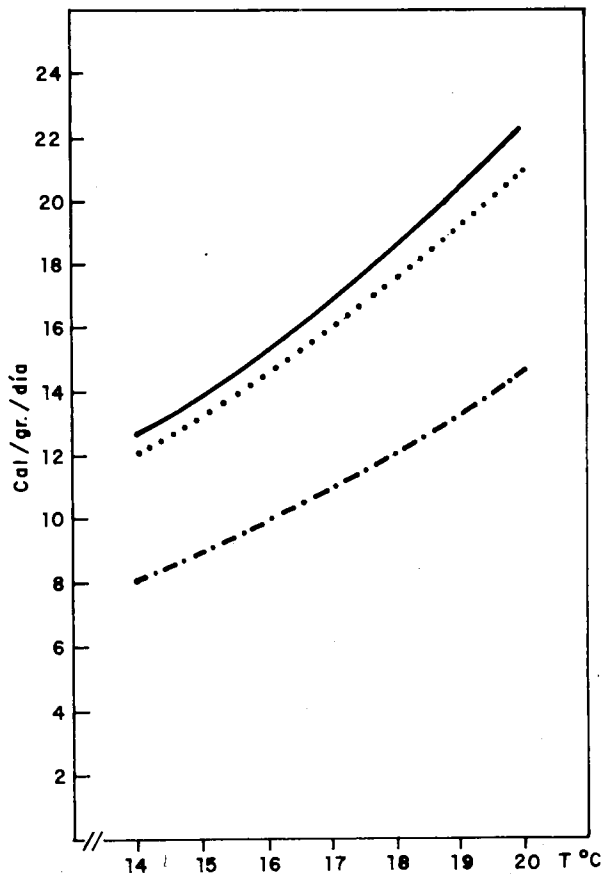
$$Y = ae^c(T) e^b(V)$$

Y = Metabolismo total (mg O<sub>2</sub> h<sup>-1</sup> pez<sup>-1</sup>)

a = Coeficiente de la ecuación múltiple

c = Coeficiente relacionado con la temperatura, (T) en °C

FIG. 3 Metabolismo diario de la anchoveta de 12 cm y 12.6 g promedio. (—) Rutina (---) Estándar y (...) comparación con metabolismo estándar según la ecuación  $Q/W = W^{-0.2}$  con los coeficientes de Krogh (1914).



b = Coeficiente relacionado con la velocidad, (V) en cm seg<sup>-1</sup>

hemos obtenido

$$Y = 0.33415 e^{0.09589(T)} e^{0.036008(V)} \text{ mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ pez}^{-1}$$

El metabolismo basal se encontró extrapolando a cero (Figs. 2 y 3), y varía de 8.17 a 14.51 cal g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en el rango de temperaturas (14 - 20) (Tabla 1).

La Figura 3 muestra las relaciones entre los metabolismos encontrados experimentalmente en este trabajo: de rutina (velocidad de un cuerpo por segundo)—, estándar (velocidad 0)—, y según la ecuación de Wimberg (1960) con coeficientes de Krogh...

**Cálculo de Q<sub>10</sub>:** El Q<sub>10</sub> que obtenemos dentro de las limitaciones anteriormente indicadas es de 2.60997 mg h<sup>-1</sup> pez<sup>-1</sup>. Este valor concuerda razonablemente bien con los valores de la curva de Krogh (Krogh 1946, citado por Wimberg 1960) en el rango de temperaturas usado (Fig. 4). Esta concordancia nos da confianza en cuanto a la validez de los coeficientes que hemos obtenido. De paso, el Q<sub>10</sub> obtenido para sardinillas juveniles (ver este mismo volumen), indicaría que estas estarían en desventaja respecto a la anchoveta adulta. Sin embargo, lo pertinente sería comparar juveniles con juveniles, y adultos con adultos.

**Metabolismo activo:** Llámase así al costo energético de la locomoción que contribuye a la carga metabólica total, afectando el potencial de crecimiento y presumiblemente la fecundidad (Ware, 1975). El costo de energía en actividad puede ser llamado el nivel ecológico de mantenimiento, (Brett 1976), por contraste con el nivel fisiológico dado por el metabolismo estándar.

Se ha determinado (Tabla 3), para diferentes temperaturas, el metabolismo activo correspondiente a la velocidad de rutina convencional (un cuerpo por segundo, en nuestro material 12 cm/seg); a la velocidad óptima de crucero que previamente se encontró igual a 2.33 cpos/seg ó 28 cm/seg y que se entiende es la velocidad a la cual se cubre la mayor distancia por unidad de energía consumida y; a la velocidad máxima ímpuesta, 60 cm/seg ó 5 cpos/seg, se ha utilizado este máximo porque no se determinó la velocidad crítica que es la máxima que el pez puede alcanzar sin cansarse. Lo que no se ha determinado, además, son los metabolismos activos correspondientes a los gastos por filtración del alimento, pastoreo, migración, etc. que no han sido tratados en este trabajo preliminar.

En la misma Tabla 3 se da los valores de E (=A/T, metabolismo activo sobre metabolismo estándar) para cada metabolismo determinado. La magnitud del cambio de E observado cae ciertamente dentro de los límites encontrados para otras especies.

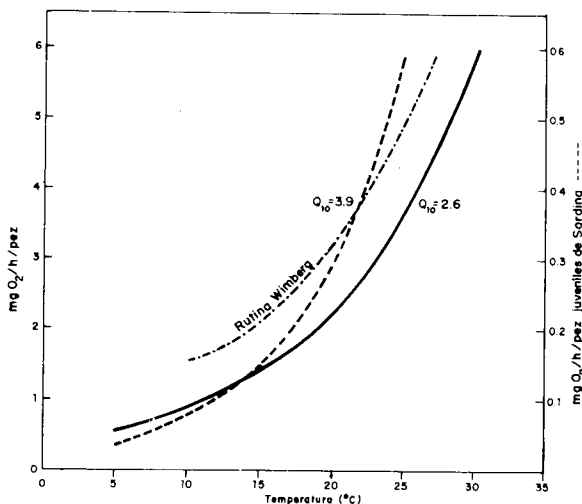
Vale la pena mencionar aquí la importancia

\* Citados por TRUMBLE 1979.

TABLA 1.- Metabolismo estándar (a) y de rutina (lc/seg) (b), de la anchoveta peruana (12 cm, 12.6 g) a diferentes temperaturas  
 Metabolismo =  $0.333415 e^{0.09589 (T)} e^{0.036008 (V)}$  mg O<sub>2</sub>/h/pez

METABOLISMO ESTANDAR			METABOLISMO DE RUTINA PARA ANCHOVETA		
T °C	mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	cal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	T °C	mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	cal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>
14	2.45	6.17	14	3.77	12.61
15	2.69	8.97	15	4.14	13.84
16	2.96	9.90	16	4.56	15.24
17	3.25	10.89	17	5.02	16.77
18	3.59	11.98	18	5.53	18.46
19	3.95	13.19	19	6.08	20.31
20	4.35	14.51	20	6.69	22.35

FIG. 4 Metabolismo estándar vs. temperatura. (—) Anchoveta peruana de 12 cm y 12.6 g promedios. (---) Sardina de California de 8.5 cm y 3.2 g promedios.



de la velocidad óptima de crucero: según Ware (1975), y otros, ella sería una característica específica cuyo valor tendría valor evolutivo en cuanto correspondería al punto en que ciertas funciones importantes como el crecimiento y la reproducción se maximizan. Al respecto, se presenta la Fig. 5, comparativa entre sardina y anchoveta, de valor sólo indicativo puesto que deberá obtenerse para juveniles de ambas especies y adultos de ambas especies.

El margen de actividad: En la Fig. 6 se dan los márgenes de actividad en mg de O<sub>2</sub> para diferentes velocidades y temperaturas. En la Tabla 3 se dan los márgenes en calorías por gramo para las velocidades de rutina convencional, óptima de crucero y máxima impuesta. Es necesario recalcar que en los experimentos realizados, probablemente por el estrecho rango de temperatura, no se ha obtenido la temperatura óptima, aquella en la que el margen de actividad comienza a disminuir después de haber alcanzado un máximo, ni la crítica, aquella en la que el margen de actividad se ha reducido pudiendo el pez recuperarse después de pasar por un período de reversión paulatina de la temperatura hasta

TABLA 2.- El metabolismo estándar obtenido en experimentos de acuario y el resultado de procesar la ecuación básica de Wimberg G. 1960 utilizando los coeficientes de Krogh 1914 para diferentes temperaturas (K cal g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>).

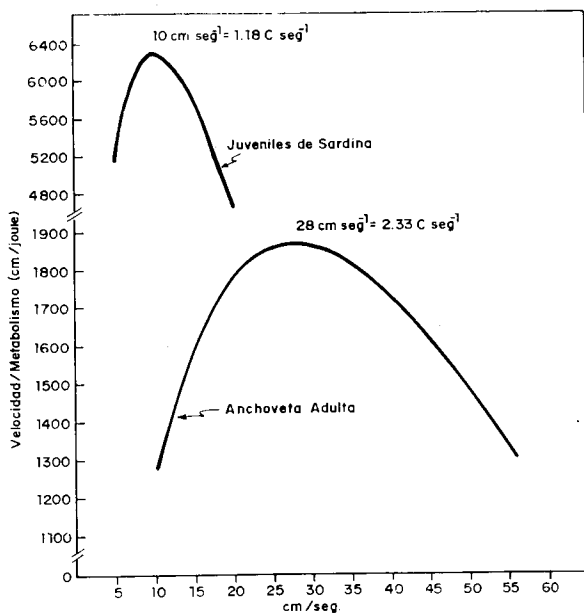
TEMPERATURA	14	15	16	17	18	19	20
EXPERIMENTOS ACUARIO	0.00816	0.00898	0.00989	0.01089	0.01198	0.01318	0.01451
WIMBERG, G. 1960 Q <sub>2</sub> = 0.3 W 0.8 mlO <sub>2</sub> h <sup>-1</sup> (20°C)	0.0199	0.0220	0.0242	0.0264	0.0288	0.0317	0.0346

TABLA 3.- Metabolismo activo y margen de actividad para anchoveta peruana (12 cm, 12.6 g) a tres velocidades y varias temperaturas (cal g<sup>-1</sup> dfa<sup>-1</sup>).

METABOLISMO ACTIVO						MARGEN DE ACTIVIDAD			
T°	12 cm seg <sup>-1</sup>		28 cm seg <sup>-1</sup>		60 cm seg <sup>-1</sup>		12 cm seg <sup>-1</sup>	28 cm seg <sup>-1</sup>	60 cm seg <sup>-1</sup>
		E		E		E			
14	12.572	1.53	22.368	2.72	70.805	8.62	4.408	14.212	62.669
15	13.838	1.53	24.620	2.73	77.931	8.63	4.857	15.639	68.969
16	15.231	1.53	27.098	2.73	85.773	8.63	5.346	17.218	75.911
17	16.763	1.53	29.825	2.72	94.406	8.62	5.883	18.901	83.55
18	18.450	1.53	32.826	2.72	103.907	8.62	6.476	20.857	91.959
19	20.307	1.53	36.123	2.72	114.364	8.62	7.126	22.949	101.218
20	22.351	1.53	39.766	2.73	125.873	8.63	7.847	25.266	111.398

$$E = \frac{\text{Metabolismo activo}}{\text{Metabolismo estándar}}$$

FIG. 5 Velocidad óptima de cruceo de la anchoveta peruana y de la sardina de California. Longitudes y pesos como en la Fig. 4.



llegar a su actividad normal, tampoco se determinó la temperatura letal que es identificada cuando el margen de actividad disminuye tanto que puede llegar a alcanzar al metabolismo estándar y el pez no puede recuperarse más.

A pesar de su obvia importancia, no existe un modelo para el comportamiento del margen de actividad respecto al O<sub>2</sub>, pues varía con las especies. Para anchovetas adultas y juveniles, lo que se

FIG. 6 Margen de actividad (metabolismo activo menos metabolismo estándar) de la Anchoveta peruana (12 cm, 12.6 g promedios) a diferentes temperaturas y velocidades de natación.

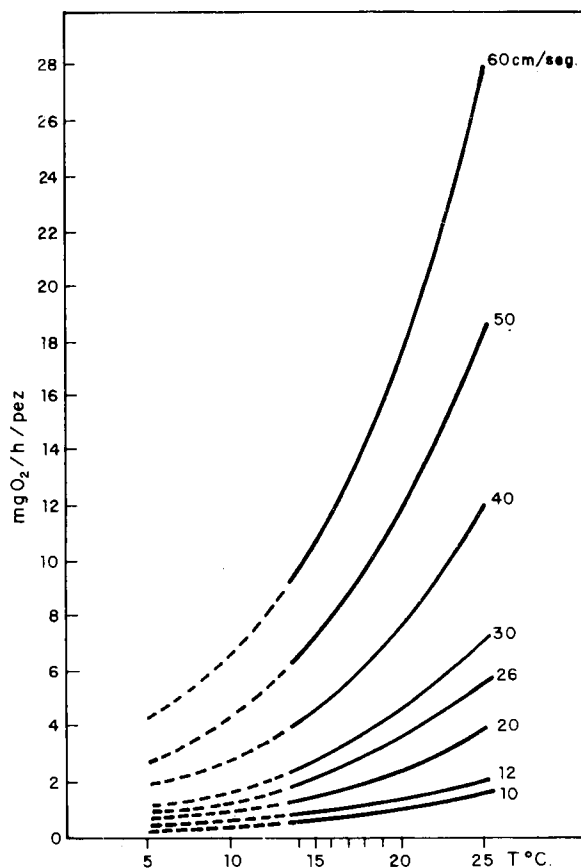


FIG 7 Requerimientos energéticos de la anchoveta peruana vs.  $E = \text{Metabolismo activo}/\text{Metabolismo estándar}$  a diferentes temperaturas. (Longitud y peso como en Fig. 6).

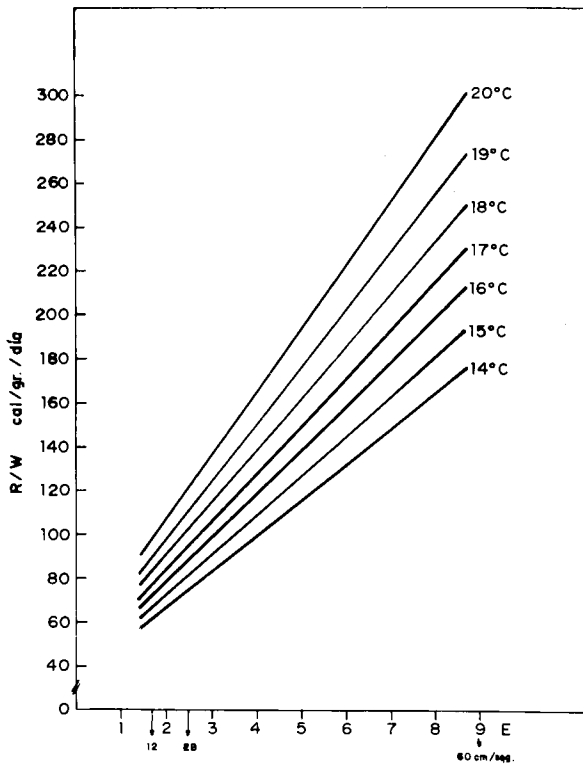
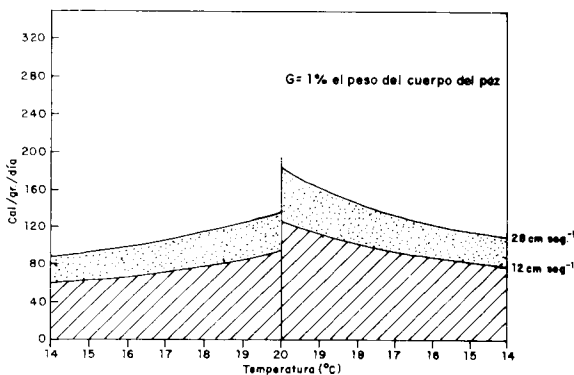


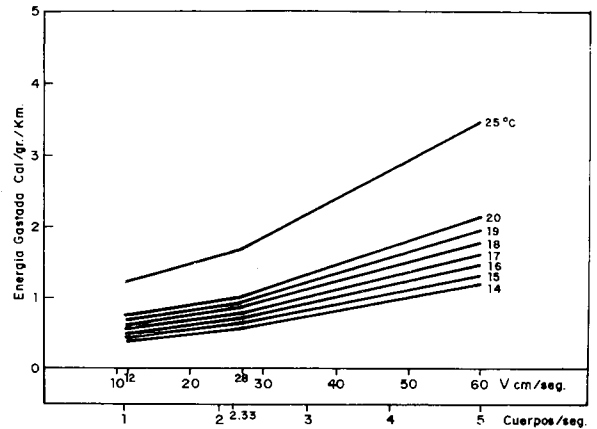
FIG. 8 Requerimiento energético de la anchoveta peruana (long. y peso promedios como antes) con  $G = 1\%$  a 2 velocidades, izquierda, comparado con el rendimiento según la ecuación de Wimberg, derecha.



sabe a través de algunos experimentos no publicados, es que el margen decrece considerablemente al disminuir el  $O_2$  por debajo de 2 mg por litro.

**Requerimientos totales de energía:** Como se vió anteriormente, para estimar el requerimiento total necesitamos todavía estimar el requerimiento para el crecimiento diario. Con los datos de la Tabla 5, basada en longitudes reportadas por Chuman 1979 (en prensa) y la relación  $W = .00294 L^{3.33}$  (Comunicación personal de Valdivia y Zuzunaga), es fácil calcular que el incremento diario en

FIG. 9 Energía requerida por anchoveta peruana (12 cm y 12.6 g promedios) para nadar 1 kilómetro. Cálculos según la ecuación múltiple del texto.



peso de un ejemplar de 12 cm es de 0.20% del peso actual.

Walsh (1975 citado por Trumble 1979) reporta un incremento diario de 0.74% para anchovetas de 10 meses; si este incremento se calcula usando la Tabla 5, obtenemos .70%. (Trumble (1979) piensa que este incremento subiría en los períodos de afloramiento al 1%).

En la Tabla 6 se dan los requerimientos energéticos estándar y totales a diferentes temperaturas y niveles de actividad, con un crecimiento diario del 0.3%, obtenidos experimentalmente; en la Tabla 7 se dan los requerimientos totales utilizando la fórmula de Wimberg pero con los valores de E obtenidos en nuestro experimento. Para ambas tablas los valores anuales asumen hipotéticamente que la longitud y peso promedio anuales de la población son los de nuestro material, 12 cm y 12.56 g. En la Tabla 8 se dan los requerimientos energéticos de mantenimiento obtenidos experimentalmente a diferentes temperaturas y niveles de actividad, considerando el gasto de energía para crecimiento y reproducción nulo, para los valores anuales se ha continuado asumiendo lo ya expresado en el párrafo anterior. En la Tabla 9 se dan los requerimientos energéticos de mantenimiento utilizando el metabolismo estándar obtenido de la ecuación básica de Wimberg ajustado para cada temperatura con los coeficientes de Krogh, pero con los valores de E obtenidos en nuestro experimento.

En la Tabla 10 se dan los requerimientos energéticos totales a diferentes temperaturas y niveles de actividad como porcentajes referidos al peso del pez, tanto para mantenimiento como para crecimiento diario del 0.3% del peso del pez y una comparación con lo obtenido utilizando la ecuación básica de Wimberg y los valores E obtenidos en nuestro experimento.

**Tiempo diario de filtración necesario para satisfacer los requerimientos de energía:** Un pez (anchoveta adulta) necesita 87.17 cal  $gr^{-1} día^{-1}$  para vivir a 15°C, esto es 4.094 mg C  $pez^{-1} h^{-1}$  (RET), y filtra aproximadamente 56 mg C por hora (F), con estos datos se puede calcular cuanto tiempo (T)



TABLA 4.- Determinación de la velocidad óptima de crucero para anchoveta

$$M = 0.005470 e^{0.036008 (V)} \text{ joules/seg/pez}$$

$\bar{W}$  = 12.56 g  
 $\bar{L}$  = 12 cm  
 $T$  = 15°C  
 $M$  = Metabolismo  
 $V$  = Velocidad de natación en cm/seg

VELOCIDAD (V) cm/seg	METABOLISMO (M) joules/seg	V/M cm/joule
10	0.00784	1,275.5
14	0.00905	1,546.1
16	0.00973	1,644.23
18	0.01045	1,722.49
20	0.01124	1,799.4
22	0.01208	1,821.2
24	0.01298	1,849.1
25	0.01346	1,857.4
26	0.01395	1,863.8
28	0.01499	1,867.9
29	0.01554	1,866.15
30	0.01611	1,862.2
32	0.01731	1,848.6
34	0.01861	1,826.97
36	0.01999	1,800.90
38	0.02148	1,769.09
40	0.02309	1,732.35

TABLE 5.- Incremento de crecimiento diario para anchoveta peruana *Engraulis ringens* (Llave long. edad, (Chuman E.) 1978 en prensa), con cálculos del peso respectivo.

Edad años	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Long. en cm	7.9	10.2	11.9	13.5	15.0	16.4
Peso gramos	2.86	6.71	11.21	17.07	24.25	32.64

tiene el pez que estar filtrando para satisfacer sus requerimientos de energía.

$$T = (RET \times 60) / F \text{ minutos}$$

donde T = Tiempo de filtración

RET = Requerimiento total de energía (4.097mg C pez<sup>-1</sup>)

F = Carbón obtenido de la filtración

El cálculo de F se ha basado en el cálculo previo del volumen filtrado (V) el cual es igual a:

$$V = A S$$

V = volumen filtrado

S = velocidad de filtración

A = área de filtración

La velocidad de filtración (S) podría ser asumida como la velocidad óptima de crucero determinada en el presente trabajo, S = 28 cm seg<sup>-1</sup> y el area de filtración puede ser más o menos 5 cm<sup>2</sup> (área efectiva posiblemente menor), siendo así tenemos:

$$V = 5 \text{ cm}^2 \times 28 \text{ cm seg}^{-1} = 140 \text{ cm}^3 \text{ seg}^{-1}$$

$$V = 140 \times 10^{-6} \times 10^5 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$$

$$V = 0.58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

El carbón obtenido en la filtración (F), puede ser calculado si conocemos la disponibilidad de carbón en el agua del ambiente de la anchoveta (Cc) lo cual podría ser 2 mg Ch m<sup>-3</sup> (100 mg C m<sup>-3</sup>) (comunicación personal de Barber, R) porque:

$$F = Cc V$$

Cc = Disponibilidad de Carbón

$$V = 0.58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$F = 100 \text{ mg C m}^{-3} \times 0.58 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$F = 58 \text{ mg C h}^{-1} \text{ pez}^{-1}$$

Sabemos que

$$T = \frac{RET \times 60 \text{ minutos}}{F}$$

$$T = \frac{4.097 \text{ mg C pez}^{-1} \text{ h}^{-1}}{58 \text{ mg C h}^{-1} \text{ pez}^{-1}} \times 60 \text{ minutos}$$

$$T = 4.24 \text{ minutos}$$

Esto vendría a ser en términos diarios una hora y

TABLA 6.- Requerimientos energéticos totales a diferentes temperaturas y niveles de actividad para anchoveta *Engraulis ringens* de 12 cm y 12.6 g; G = .3%

		14°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C
METABOLISMO ESTANDAR Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>		0.00816	0.00898	0.00989	0.01089	0.01198	0.01318	0.01451
REQUERIMIENTOS ENERGETICOS TOTALES								
12	1.54							
	R.E. DIARIOS Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.04745	0.05162	0.05624	0.06132	0.06685	0.07295	0.07971
	R.E. ANUALES Kcal pez <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	217.53	236.65	257.83	281.12	306.47	334.43	365.42
28	2.74							
	R.E. DIARIOS Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.06703	0.07317	0.07997	0.08745	0.09561	0.10458	0.11453
	R.E. ANUALES Kcal pez <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	307.29	335.44	366.61	400.91	438.31	479.44	525.05

Velocidad en cm seg<sup>-1</sup>

TABLA 7.- Requerimientos energéticos standar y totales a diferentes temperaturas y niveles de actividad para anchoveta, utilizando la ecuación básica de Wimberg y

$$E = \frac{A}{T}, \text{ (con los coeficientes de temperatura de Jrogh); } G = .3\%$$

V	E	TEMPERATURA	14	15	16	17	18	19	20
		METAB. ESTANDAR Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.0199	0.0220	0.0242	0.0264	0.0288	0.0317	0.0346
REQUERIMIENTOS ENERGETICOS TOTALES									
12	1.54	R. E. DIARIOS Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.06693	0.07336	0.08010	0.08684	0.09419	0.10307	0.1120
		R. E. ANUALES Kcal pez <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	306.84	336.31	367.21	398.11	431.80	472.51	513.45
28	2.74	R. E. DIARIOS Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.09572	0.10519	0.11511	0.12503	0.13585	0.14893	0.1620
		R. E. ANUALES Kcal pez <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	438.82	482.23	527.71	573.19	622.79	692.75	743.67

Velocidad en cm seg<sup>-1</sup>

TABLA 8.- Requerimientos energéticos estándar y de mantenimiento a diferentes temperaturas y niveles de actividad para anchoveta (12 cm, 12.56 g); G = 0.00

V	E	METAB. ESTANDAR Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	14°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C
					0.00816	0.00898	0.00989	0.01089	0.01198
REQUERIMIENTOS ENERGETICOS DE MANTENIMIENTO									
12	1.54	R. E. DIARIOS Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.04145	0.04562	0.05024	0.05532	0.06086	0.06695	0.07371
		R. E. ANUALES Kcal pez <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	190.02	209.14	230.32	253.61	279.01	306.93	337.92
28	2.74	R. E. DIARIOS Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.06104	0.06717	0.07398	0.08146	0.08961	0.09859	0.10853
		R. E. ANUALES Kcal pez <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	279.83	307.93	339.15	373.45	410.81	451.98	497.54

Velocidad en cm seg<sup>-1</sup>

cuarentidos minutos. Esto es trabajando en base a 15°C, pero si tomamos 20°C en lugar de 15°, la figura es la siguiente:

$$T = \frac{6.04 \text{ mg C pez}^{-1} \text{ h}^{-1}}{58 \text{ mg C h}^{-1} \text{ pez}^{-1}} \times 60 \text{ minutos}$$

$$T = 6.25 \text{ minutos}$$

O sea, dos horas treinta minutos diarios. Sin embargo, es necesario considerar que la anchoveta no solamente filtra sino preda pero se desconoce la interrelación entre la filtración y la predación en la actividad de alimentación de la anchoveta peruana, mas aún, no se sabe cual es la mas importante o el grado de importancia de ambas; (O' Connell Ch. 1971) informa sobre esto para *Engraulis mordax* y manifiesta que la proporción en las actividades de

TABLA 9.- Requerimientos energéticos estándar y de mantenimiento a diferentes temperaturas y niveles de actividad para anchoveta, utilizando la ecuación básica de Wimberg y

$$E = \frac{A}{T} \text{ (con los coeficientes de Temperatura de Krogh) } G = 0.00$$

V	E	TEMPERATURA	14	15	16	17	18	19	20
		METAB. ESTANDAR Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.0199	0.0220	0.0242	0.0264	0.0288	0.0317	0.0346
REQUERIMIENTOS ENERGETICOS DE MANTENIMIENTO									
12	1.54	R. E. DIARIOS Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.06093	0.06736	0.07089	0.08084	0.08819	0.09707	0.1060
		R. E. ANUALES Kcal pez <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	279.33	308.81	324.99	370.60	404.29	445.007	465.94
28	2.74	R. E. DIARIOS Kcal g <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0.08972	0.09919	0.10911	0.11903	0.12985	0.14293	0.1560
		Kcal pez <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	411.31	454.73	500.20	545.68	595.28	655.25	715.17

Velocidad en cm seg<sup>-1</sup>

predación y filtración en el cardúmen varían en la relación a la concentración relativa y a las tallas de la presa.

### DISCUSION

Los contenidos estomacales nos muestran la diversidad de organismos ingeridos lo cual es muy importante, pero insuficiente, para una estimación práctica y rápida de lo que necesita ingerir el animal para satisfacer sus necesidades nutricionales, de producción de huevos y de crecimiento. Se necesita

pues de experimentos suplementarios, que en peces como la anchoveta son difíciles de realizar; es por esto que a la mayoría de peces se les ha determinado sus necesidades energéticas a través de estudios de respiración.

A pesar de que el metabolismo estándar que hemos obtenido experimentalmente es bajo con respecto al conseguido aplicando la ecuación básica de Wimberg, los RET diarios obtenidos se encuentran en el rango de 5.29 a 10.86% o más del peso del pez.

Los RET en porcentaje dados en la Tabla 10 es-

TABLA 10.- Requerimientos energéticos totales para anchoveta en porcentaje del peso del cuerpo, resultados de aplicar la relación encontrada  $\frac{A}{T}$  y la ecuación básica de Wimberg a la ecuación general de RET

G = 1 %

ACTIVIDAD		14°C		15°C		16°C		17°C		18°C		19°C		20°C	
		Exp.	Wg	Exp.	Wg	Exp.	Wg	Exp.	Wg	Exp.	Wg	Exp.	Wg	Exp.	Wg
12	1	5.29	6.96	5.65	7.53	6.05	8.11	6.49	8.68	6.96	9.32	7.49	10.09	8.07	10.86
28	2.33	6.98	9.45	7.51	10.27	8.10	11.13	8.74	11.98	9.44	12.91	10.22	14.04	11.07	15.17

G = 0.3 %

12	1	4.09	5.76	4.44	6.32	4.84	6.90	5.28	7.48	5.76	8.11	6.28	8.88	6.87	9.65
28	2.33	5.77	8.25	6.30	9.07	6.89	9.92	7.53	10.78	8.24	11.71	9.01	12.83	9.87	13.96

G = 0.0

12	1	3.57	5.25	3.93	5.80	4.33	6.11	4.76	6.77	5.24	7.60	5.77	8.36	6.35	9.14
28	2.33	5.26	7.73	5.79	8.55	6.37	9.40	7.02	10.20	7.72	11.19	8.49	12.32	9.35	13.44

Exp = Dato obtenido en experimento

Wg = Dato obtenido aplicando la ecuación básica de Wimberg

G = Crecimiento asumido

La actividad se da en cm seg<sup>-1</sup> (primera columna) y su equivalente en cuerpos por segundo (segunda columna).

TABLA 11.- Experimentos acuario (1978) para anchoveta de L = 12 cm y W = 12.56 g

TEMPERATURA °C	METABOLISMO ESTANDAR CAL PEZ <sup>-1</sup> DIA <sup>-1</sup>	METABOLISMO ACTIVO CAL PEZ <sup>-1</sup> DIA <sup>-1</sup>					
		VELOC. RUTINA	F	VELOCIDAD OPTIMA DE CRUCERO	E	MAXIMA VELOCIDAD IMPUESTA	E
10	69.83	107.60	1.54	191.45	2.74	605.99	8.67
15	112.78	173.80	1.54	309.22	2.74	978.81	8.67
20	182.24	280.72	1.54	499.46	2.74	1,580.00	8.66
25	294.40	453.43	1.54	806.72	2.74	2,553.00	8.67

BRETT (1964) PARA JUVENILES DE SOCKEYE (SALMON)

TEMPERATURA °C	LONGITUD cm	PESO g	METABOLISMO ESTANDAR CAL PEZ <sup>-1</sup> DIA <sup>-1</sup>	E	METABOLISMO ACTIVO CAL PEZ <sup>-1</sup> DIA <sup>-1</sup>
10	16.2	32.9	158.2	10.4	1653.5

LASKER R (1970) PARA *Sardinops caerulea*

TEMPERATURA °C	LONGITUD cm	PESO g	METABOLISMO "CALM" CAL PEZ <sup>-1</sup> DIA <sup>-1</sup>	E	METABOLISMO ACTIVO CAL PEZ <sup>-1</sup> DIA <sup>-1</sup>
19	12.2	25	336.67	1.45	491.00

TABLA 12.- Energía requerida por kilómetro de movimiento a diferentes temperaturas para anchoveta *Engraulis ringens* r. en Cal g<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup>

VELOCIDAD DE NATACION

cuerpo seg <sup>-1</sup>	cm seg <sup>-1</sup>	14°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C
1	12	0.427	0.470	0.517	0.570	0.627	0.690	0.760
2.33	28	0.587	0.646	0.711	0.781	0.862	0.948	1.044
5	60	1.208	1.330	1.464	1.611	1.773	1.952	2.148

Velocidad máxima impuesta 5 cuerpos seg<sup>-1</sup>

tán de acuerdo con lo manifestado por D.H. Cushing (1978) quien opina que, para un pez tan pequeño como la anchoveta, la ración diaria probablemente se acerca más al 50/o que al 10/o del peso total y quien en su Tabla 5 da como ración diaria de una anchoveta de 12.5 cm 13.2 g, 0.66 ml de algas que representa el 50/o.

R. Lasker reporta para *Engraulis mordax* 0.17 ml O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para temperaturas (11 - 20) y 0.25 ml O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> o sea, un equivalente a 20.84 cal g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> lo cual está de acuerdo con datos obtenidos para el metabolismo de rutina "convencional" para *Engraulis ringens*, que de (14 - 20°C) es 12.16 - 22.36 cal g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> pero difieren un poco si se compara con metabolismo a la velocidad óptima de crucero porque los valores son 22.37 - 39.77 cal g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de 14 - 20°C.

La metodología usada en experimentos similares no es uniforme, tal es así que el metabolismo estándar no es siempre obtenido extrapolando a cero actividad, trayendo consigo que los datos obtenidos algunas veces no sean comparables. De igual

manera con la denominación metabolismo activo máximo que no siempre obedece al mismo criterio, algunas veces se sostiene que debe ser tomado a la máxima velocidad que el pez nada sin cansarse lo que de acuerdo a Brett (1964) sería la velocidad crítica, sin embargo hay también la idea de que debe tomarse la velocidad óptima de crucero lo cual trae una diferencia considerable en las determinaciones.

Es posible interpretar a Csirke, 1978, diciendo que cuando el stock desovante está mas concentrado la producción de huevos tiende a reducirse; ésto querría decir que la energía de exceso está siendo afectada y ésto sucedería si la alimentación no fuera suficiente por su calidad o su cantidad, o hubiese otros factores ligados con la reducción de su espacio vital, sea la temperatura o la reducción del volumen de agua necesario (niveles mínimos de oxígeno que no son tolerables para su vida normal). Sea cual fuere la causa, lo que está siendo afectado es la "Energía de exceso". ¿Qué le afecta y cómo? son cuestiones determinables sólo experimentalmente.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. D. Ware por el apoyo que me prestó durante los experimentos, al Dr. A. Landa por su valiosa revisión y crítica. A los señores T. Lambert y J. Mireuer por su colaboración en la ins-

talación de la infraestructura en que se desarrollaron los experimentos; asimismo, a las señoritas estudiantes G. Contreras y F. Lazo por la gran ayuda que me prestaron en el proceso de datos.

## REFERENCIAS

- BRETT, J. 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *J. Fish Res. Bd. Can.* 21 (5): 1183-1226.
- BEAMISH, F. and I. POTTER. 1974. Swimming performance of adult sea lamprey *Petromyzon marinus* in relation to weight and temperature. *Trans. Am. Fish. Soc.* 103, N° 2.
- 1975. The biology of an anadromous sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in New Brunswick. *J. Zool. Lond.* 77, 57-72.
- CODY, M. 1974. Optimaztion in Ecology. *Science* 183 (4130): 1156-1164.
- CUSHING, D. 1978. Upper trophic levels in upwelling areas. *Upwelling ecosystems*. Springer-Verlag. 101-110.
- EDWARDS, R., J. STEELE and A. TREVALLION. 1970. The ecology of O group plaice and common dabs in Loch Ewe. III Prey-Predator. Experiments with plaice. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 4: 156-173.
- D. FINLAYSON and J. STEELE. 1969. The ecology of O group plaice and common dabs in Loch Ewe. III Experimental studies of metabolism. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 3: 1-17.
- 1971. An Assessment of the energy cost of gill ventilation in the plaice (*Pleuronectes platesson* L.) *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 40A pp. 391-398. Pergamon Press. Printed in Great Britain.
- 1972. An experimental study of the oxygen consumption, growth and metabolism of the cod *Gadus morhua* L.) *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* Vol. 8: 259-309.
- FARMER, G. and F. BEAMISH. 1969. Oxygen consumption of *Tilapia nilotica* in relation to swimming speed and salinity. *J. Fish. Res. Bd. Canada.* 26: 2807-2821.
- FARLINGER, S. and F. BEAMISH. 1977. Effects of time and velocity increment on the critical swimming speed of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Trans. Am. Fish. Soc.* 106 (5): 436-439.
- FRY, F. 1957. The aquatic respiration of fish; in *The Physiology of Fishes*, edited by M.E. BROWN. Acad. Press. Inc., N. York, Vol. 1, 1-63
- GOLDSTEIN, A. 1964. *Biostatistics. An Introductory Text.* The Mac Millan Co., New York. 242 p.
- HETLER, W. F. 1976. Influence of temperature and salinity on routine metabolic rate and growth of young Atlantic menhaden. *J. Fish. Biol.* 8: 55-65.
- HOAR, W. and D. RONDALL. 1969. *Fish Physiology.* 4: 252-405.
- HOSS, D. and D. PETERS. 1976. Respiratory adaptation, Estuarine processes. *Academic Press, Inc.* Vol. 1: 335-346.
- HOACHACHKA, P. 1961. The effect of physical training on oxygen debt and glycogen reserves in trout. *Can. J. Zool.* Vol 39: 768-775.
- HUNTER, J. 1972. Swimming and feeding behaviour of larval anchovy *Engraulix mordax*. *Fish. Bull.* Vol. 70, N° 3.
- JORDAN, R., J. CSIRKE e I. TSUKAYAMA. 1978. Situación de los recursos anchoveta, sardina, jurel y caballa a junio 1978. *Informe Inst. Mar Perú Callao.* N° 56, 21 p.
- KALLE, K. 1974. Possible effects of oxygen lack on schooling fish. *ICNAF Spec. Publ.* Vol 6. Hamburg, Germany.
- LASKER, R. 1970. Utilization of zooplankton energy by a Pacific sardine population in the California Current. in *Marine food chains*; edited by J.H. Steele, Oliver & Boyd, Edinburgh. p. 265-284.
- MATHISEN, O., R. THORNE, R. TRUMBLE and M. BLACKBURN. 1978. Food consumption of pelagic fish in an upwelling area, Upwelling ecosystems; edited by R. Boje and M. Tomczak. Springer Verlag, Berlin. p. 111-123.
- MUIR, B., G. NELSON and K. BRIDGES. 1965. A method for measuring swimming speed in oxygen consumption studies on the aholehole (*Kuhlia sandvicensis*). *Trans. Am. Fish. Soc.* 94 (4): 378-382.
- and A. NIIMI. 1972. Oxygen consumption of the

- euryhaline fish *Kuhlia sandvicensis* with reference to salinity, swimming and food consumption. *J. Fish. Res. Bd. Canada*. 29: 67-77.
- MOORE, R. 1976. Seasonal patterns in the respiratory metabolism of the mullets *Mugil cephalus* and *Mugil curema*. *Contributions in Marine Science*. Vol. 20, 133-145.
- O'CONNELL, CH. 1971. The interrelation of biting and filtering in the feeding activity of the Northern anchovy (*Engraulis mordax*). *J. Fish. Res. Bd. Canada*. 29: 285-293.
- PALOHEIMO, J. and L. DICKIE. 1965. Food and growth of fishes. A growth curve derived from experimental data. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 22: 521-542.
- PHILLIPS, J. 1948. Growth of the sardine *Sardinops caerulea* 1941-42 through 1946-47. *Calif. Div. of Fish and Game, Fish. Bull.* 71-33 p.
- POTTER I. and F. BEAMISH. 1977. The fresh water biology of adult anadromous sea lamprey *Petromyzon marinus*. *J. Zool. London*.
- PRITCHARD, A. 1955. Oxygen requirements of some Hawaiian tuna baitfish. *Spec. Sci. Rep. Fish.* N° 146, Cont. N° 61 Hawaii Marine Laboratory.
- RANDALL D. 1970. Gas exchange in fish physiology. Vol. IV; edited by W. S. Hoar and D. Y. Randall, Academic Press, New York. p. 253-286.
- SAMAME, M. 1977. Determinación de la edad y crecimiento de sardina *Sardinops sagax sagax*. *Informe Inst. Mar Perú Callao*. (3): 95-112.
- SMITH, L. and T. NEWCONB. 1970. A Modified version of the Blazka respirometer and exercise chamber for large fish. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 27 (7): 1321-1324.
- THOMAS, A. 1954. The oxygen uptake of the lobster. *The Journal of Experimental Biology*. Bol. 31, N° 2: 228-251.
- TRUMBLE, R. 1979. *Teh Bioenergetic Equation* (Thesis Ph. D. Dissertation).
- WARE, D. 1975. Growth, metabolism and optimal swimming speed of a pelagic fish. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 32 (1): 33-41.
- 1975. Bioenergetics of pelagic fish: theoretical change in swimming speed and ration with body size. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 35 (2): 220-228.
- WARREN, C. and G. DAVIS. 1967. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics, and growth of fish. in: *The Biological Basis for Freshwater Fish Production*; edited by Gerking, S.D. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1967. pp. 175-214.
- WEBB, P. 1975. Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. *Bull. Res. Bd. Can.* 190: 33-158.
- 1978. Partitioning of energy into metabolism and growth. in *Ecology of freshwater fish production*; edited by Shelby D. Gerking, Arizona State University, U.S.A.
- WINBERG, G. 1956. Intensivnost obmena i pischavve potrebnosti ryb. *Nauchnye Trudy Belorusskove Gosudarstvennovo Universiteta imeni V. I. Lenina, Minsk*, 253 pp. (Translation Series N° 194, Fish. Res. Brd. Canada (1960).)
- 1961. No vye dannye ob intensivnosti obmena ie ryb. *Voprosy Ikhtiologü*, Vol. 1, N° 1 (18), pp. 157-165 (Translation Series N° 362 (preliminary W. Ricker), Fish. Res. Brd. Canada 1961))
- WOHLSCHALAG, D. and R. JULIANO. 1959. Seasonal changes in bluegill metabolism. *Limnol. Oceanog.* 4 (2): 195-209.
- and J. WAKEMAN. 1978. Salinity stresses, metabolic responses and distribution of coastal spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*, *Contributions in Marine Science*. 21: 171-185.