

BALANCE ENERGÉTICO DE *Anadara tuberculosa* (SOWERBY, 1833) A DIFERENTES TEMPERATURAS.

M. Nieves^{1*}, J.C. Román Reyes¹, P. Piña Valdez¹, A. Medina Jasso¹, S. Leal², A. Miranda Baeza³ y G. Muñoz Durán¹.

(1) Laboratorio de Ecofisiología y Cultivo de Organismos Acuáticos y Cultivos de Apoyo, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n, CP 82000, Mazatlán, Sinaloa, México.

(2) Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana, Calle 16 No. 114, CP 11300, Playa, Ciudad Habana, Cuba.

(3) Laboratorio de Tecnologías de Cultivo de Organismos Acuáticos, Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (CESUES),

(*) Autor correspondiente: Email: maniso@mzt.megared.net.mx

RESUMEN

La biorremediación es un tema de actualidad por los beneficios que reporta a la creciente contaminación del medio ambiente. Algunos moluscos pueden utilizarse para estos fines, de ahí el objetivo de este trabajo, enfocado a estudiar el balance energético de *Anadara tuberculosa* ante diferentes condiciones de temperatura. Los niveles ensayados en condiciones de laboratorio fueron de 23, 26, 29 y 32°C, se utilizaron cámaras experimentales con flujo continuo para evaluar el balance energético (P) a partir de las tasas de filtración (TF) y clarificación (TC), la eficiencia de asimilación (EA), la energía consumida (C), la energía absorbida (A), así como las tasas de respiración (R) y excreción amoniacal (U). La TF fluctuó entre 0.332 (23°C) y 0.557 L·h⁻¹·g⁻¹ (26°C) y la TC varió entre 11.556 (23°C) y 20.282 mg·h⁻¹·g⁻¹ (26°C). Ambas tasas se mantuvieron independientes entre los 26 y 32°C. A pesar de que el valor más bajo de la EA se registró en 26°C (0.273), los valores más altos de C y A alcanzaron un promedio de 265.144 y 72.353 J·h⁻¹·g⁻¹ respectivamente, mientras que los componentes negativos R y U fueron de 6.122 y 0.007 J·h⁻¹·g⁻¹. El balance energético (P) registrado en las condiciones experimentales probadas fue siempre positivo e independiente de la temperatura, con valores de entre 50.055 J·h⁻¹·g⁻¹ (29°C) y 67.173 J·h⁻¹·g⁻¹ (26°C), lo cual indica que *A. tuberculosa* posee una capacidad de aclimatación térmica amplia por lo que puede ser considerada como candidata para cultivo y como biorremediador de efluentes acuícolas.

Palabras clave: balance energético; biorremediación; temperatura; *Anadara tuberculosa*.

ABSTRACT

Biorremediation is a subject of particular interest at present considering the benefits that it reports to eliminate or mitigate the contamination of the environment. Some bivalve mollusks have been used for this purpose. The objective of this work was the study of the energy balance on *Anadara tuberculosa* at different conditions of temperature. The experimental temperature levels were 23, 26, 29 and 32°C under laboratory conditions using respirometric chambers (or boxes) to evaluate the energy balance (P) from different estimates: filtration (TF) and clarification (TC) rates, efficiency of assimilation (EA), consumed energy (C), absorbed energy (A), breathing rates (R) and ammoniacal excretion (U). The TF fluctuated among 0.332 (23°C) and 0.557 L·h⁻¹·g⁻¹ (26°C) and the TC varied among 11.556 (23°C) and 20.282 mg·h⁻¹·g⁻¹ (26°C). Both rates stayed independent among 26 and 32°C. Although the lowest value in the EA were registered with 26°C (0.273), the highest values in C and A averaged 265.144 and 72.353 J·h⁻¹·g⁻¹ respectively. The negative components R and U were of 6.122 and 0.007 J·h⁻¹·g⁻¹. The energy balance (P) registered under the proven experimental conditions was always positive and independent of the temperature, with values of among 50.055 J·h⁻¹·g⁻¹ (29°C) and 67.173 J·h⁻¹·g⁻¹ (26°C). The results indicated that *A. tuberculosa* can be used as a potential candidate for bioremediation of aquaculture effluents.

Key words: energy balance; bioremediation; temperature; *Anadara tuberculosa*

El uso de bivalvos filtradores, como las almejas, que se alimentan de materia orgánica particulada, bacterias y microalgas pueden ser una alternativa eficaz y económicamente viable para mejorar la calidad de los efluentes de las granjas camaronícolas (Jacob *et al.*, 1993). Además de remover las partículas orgánicas pueden mejorar también la calidad del agua de los efluentes reduciendo la concentración de sólidos suspendidos.

Todos los organismos marinos tienen la capacidad de adaptarse a variaciones térmicas cíclicas que tienen frecuencias diurnas, estacionales e inter-anales. Esta capacidad de adaptación (aclimatación térmica) ha sido definida por Crisp y Ritz (1967) como un ajuste metabólico que un organismo presenta como respuesta directa a un cambio de la temperatura ambiental, el cual no es de origen genético y que es logrado mediante la modificación de algunas tasas fisiológicas, las

cuales a su vez influyen en el metabolismo del organismo.

Las evaluaciones sobre el balance energético en animales acuáticos han demostrado ser de gran utilidad pues a través de éstas, es posible conocer la forma en que los organismos usan la energía y la convierten en biomasa, gametos ó la utilizan para compensar las variaciones ambientales lo que les permite mantener la homeostasis (Piña *et al.*, en prensa).

Las especies del género *Anadara* son conocidas en México como "pata de mula". Tiene una amplia distribución en la costa del Pacífico donde se explota comercialmente, sin embargo no se reportan registros sobre los niveles óptimos de su crecimiento en las costas de Sinaloa, México. En donde ha sido estudiada se plantea que es un organismo típico de la zona intermareal y alcanza su máxima densidad en las raíces de mangle. El intervalo de temperaturas en las zonas donde se desarrolla se encuentra entre los 17 y 27°C y en mangles pantanosos desde los 20.5 a 35°C. En cuanto a la salinidad, los límites están entre los 30-40 ups (Baquero, 1980).

Muchos bivalvos de los que se cultivan exhiben una tolerancia amplia a factores como la temperatura y la salinidad, en ocasiones muy por encima de las condiciones a las que estarían expuestos en su entorno natural (FAO, 2006).

Anadara tuberculosa (Sowerby, 1833), al igual de *A. grandis* son especies que en su medio están expuestas a condiciones ambientales muy variables debido a su amplia distribución geográfica, que va, desde áreas tropicales hasta zonas costeras de regiones templadas y templado-frías, por lo cual es probable que tenga una amplia tolerancia a las variaciones térmicas. En vista del tipo de hábitat y su gran resistencia a factores ambientales pudiera ser buen candidato para la remediación de efluentes acuícolas (Broom, 1985).

En acuicultura, el problema de los efluentes con su carga de material suspendido es un problema actual que debe ser atendido mediante el planteamiento de propuestas viables que disminuyan la contaminación del ambiente circundante. Por esto se pretende utilizar a *A. tuberculosa* para investigar que tan eficientemente remueve la materia particulada suspendida bajo condiciones de laboratorio, y dependiendo de los resultados proponerla como candidata para uso en biorremediación.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el balance energético de *A. tuberculosa* bajo condiciones de laboratorio, sometida a diferentes temperaturas, a salinidad y concentración de alimento constantes.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Este experimento se llevo a cabo en el Laboratorio de Ecofisiología de Organismos Acuáticos y Cultivos de Apoyo de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma Sinaloa, el cual cuenta con salas de ambientes climatizados, aireación constante y agua de mar filtrada a través de filtros de hasta 1 µm.

La preparación de la materia total particulada (MTP) se hizo de acuerdo a la información proporcionada por De Jesús (2005) y considerando el valor promedio más bajo registrado en las granjas camaroneras semi-intensivas equivalente a 25 mg·L⁻¹. Los porcentajes propuestos para cada una de las dos fracciones que componen la MTP, fueron del 60% de materia inorgánica particulada inorgánica (MIP) y del 40% de materia orgánica particulada (MOP) (Miranda, 2005).

La MIP se obtuvo a partir del sedimento de uno de los estanques de la granja camaronera "Don Jorge". El sedimento fue secado en una estufa a 100°C, posteriormente fue molido en un mortero y pasado por un tamiz con luz de malla de 55 µm. Una vez tamizado, se introdujo en una mufla a 450°C con la finalidad de eliminar la sustancia orgánica.

La MOP fue obtenida de la diatomea céntrica *Chaetoceros muelleri*, la cual fue cultivada en el medio f (Guillard y Ryther, 1962), enriquecido con una doble cantidad de metasilicato de sodio, debido a que esta especie demanda cantidades altas de este compuesto. Los cultivos se realizaron con aireación e iluminación continuas (120-130 µmol·m⁻²·s⁻¹), a 25 ± 1°C, mientras que la salinidad del agua de mar fue de 35 ups. La fracción de MOP se calculó considerando un peso seco unitario de 78.66 pg·cél⁻¹ y tomando en cuenta que las fracciones de la sustancia inorgánica y orgánica son del orden de 33.97 pg·cél⁻¹ (picogramo·célula) y 44.69 pg·cél⁻¹ respectivamente (Piña *et al.*, en preparación).

Los ejemplares fueron colectados en la bahía de Altata, Sinaloa, México y fueron transportados al laboratorio donde fueron lavados cuidadosamente con agua dulce para eliminar los sedimentos y

epibiontes. El proceso de aclimatación a la temperatura de ensayo duró 15 días previos a la fase experimental.

Se realizaron cuatro experimentos con duración de cuatro horas cada uno, procurando realizar al menos cuatro muestreos a intervalos de una hora. La salinidad se mantuvo en 35 ups y los niveles de temperatura ensayados fueron de 23, 26, 29 y 32°C, controlados con termorreguladores de $\pm 1^\circ\text{C}$ de precisión. En cada uno de los experimentos se prepararon 600 litros de suspensión de MTP en un recipiente con capacidad de 650 L y aireación vigorosa, para mantener el alimento lo más homogéneo posible y evitar la sedimentación. El flujo en cada una de las cámaras experimentales fue de 70 mL·min⁻¹, y fue controlado mediante el uso de una bomba peristáltica multicanal de acuerdo al procedimiento descrito por Hildreth y Crisp (1976).

Antes de iniciar los experimentos los organismos se mantuvieron en inanición por 24 horas. Cada tratamiento constó de 9 cámaras (1 L, capacidad) con un ejemplar de *A. tuberculosa* cada una, y para evaluar de manera aproximada el grado de sedimentación de la MTP, se colocó una cámara testigo con dos valvas de la misma especie. Todas las cámaras fueron colocadas de manera aleatoria. Después de que los individuos fueron introducidos, las cámaras fueron cerradas para que funcionaran como respirómetros.

Determinación de las tasas fisiológicas.

Tasa de filtración (TF).

La tasa de filtración fue evaluada cada hora a partir de una de las ecuaciones propuestas por Hildreth y Crisp (1976) definida como $TF = ((C_1 - C_2)/C_2)F$, donde F es el flujo a través del respirómetro en L·h⁻¹, C₁ es la densidad de partículas en la salida del respirómetro testigo el cual contienen un par de valvas vacías, éste registra el grado de sedimentación de las partículas, C₂ es la concentración de partículas en la salida de cada uno de las cámaras experimentales. Ambas fueron evaluadas mediante un contador de partículas Spectrex Laser, Model PC-2000. La TF fue dividida entre el peso seco del tejido blando del organismo y se expresa en L·h⁻¹·g⁻¹.

Tasa de clarificación (TC).

Esta variable se determinó de acuerdo al procedimiento propuesto por Winter (1978), el cual consiste en multiplicar la tasa de filtración por la

concentración de la MTP en el flujo de salida del recipiente testigo $TC = TF \cdot MTP$, cuyas unidades son mg·h⁻¹·g⁻¹.

Eficiencia de asimilación (EA).

Se determinó utilizando el método propuesto por Conover (1966), en donde menciona que no es necesario coleccionar la totalidad de las heces producidas por los organismos experimentales, por el supuesto que los compuestos inorgánicos no son absorbidos en el proceso digestivo, debido a su amplia disponibilidad como compuestos disueltos en el agua. Con base en este método la EA, expresado en porcentaje, se calculó mediante la ecuación: $EA = [(F - E)/(1 - E)F] \cdot 100$, donde: F es la razón entre el peso orgánico y el peso seco del alimento suministrado y E es la razón entre el peso orgánico y el peso seco de las heces colectadas.

Para la determinación del peso seco y orgánico del alimento y de las heces se utilizaron filtros de fibra de vidrio de 47 mm de diámetro, que fueron previamente incinerados a 450°C en una mufla y calibrados en una balanza analítica semimicro. La colecta de las heces se hizo al final de cada experimento, las heces fueron extraídas de cada recipiente con una pipeta Pasteur para después ser filtradas. Las muestras filtradas se lavaron con formiato de amonio al 4% para eliminar las sales, luego fueron introducidas en una estufa a 60°C por 24 horas, enseguida fueron pesadas hasta obtener el peso seco constante, posteriormente los filtros fueron incinerados a 450°C en una mufla durante 6 horas y por diferencia entre peso seco y peso de cenizas se determinó el peso orgánico.

Tasa de consumo de oxígeno (R).

La concentración de oxígeno disuelto se midió con un sensor de oxígeno Microx TX, previamente calibrado. Para determinar la tasa de consumo de oxígeno de cada organismo se tomaron muestras cada hora de cada una de las cámaras. Las lecturas registradas en cada uno de los respirómetros fueron corregidas por diferencias considerando la concentración de O₂ en el tratamiento testigo.

Los valores de la concentración de O₂ promedio, en mg·L⁻¹, registrados en cada cámara, fueron multiplicados por la velocidad de flujo (4.2 L·h⁻¹), para de esta manera obtener la tasa de consumo de oxígeno que fue expresada en mg·h⁻¹·g⁻¹.

Tasa de excreción amoniaca (U).

La estimación de la excreción amoniaca se determinó utilizando de un electrodo específico para amonio Orion modelo 95-12 conectado a un multianalizador de iones marca Orion EA modelo 940, previamente calibrado.

La concentración de NH_3 fue estimada cada hora en cada uno de los respirómetros y dividida entre el peso seco del tejido blando del organismo. Los promedios resultantes fueron corregidos por diferencia considerando la concentración de NH_3 en el tratamiento testigo, dando como resultado la cantidad de amonio excretado en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$.

Balance energético.

El balance energético se calculó empleando el modelo planteado por Winberg (1960), que se define como: $\mathbf{P} = \mathbf{A} - (\mathbf{R} + \mathbf{U})$, donde A es la energía absorbida del alimento ingerido, R es la energía perdida debido al proceso fisiológico de la respiración, U es la energía perdida debido a la excreción amoniaca y P es la ganancia de energía la cual es transformada en crecimiento somático y producción de gametos. Cada uno de los términos que componen la ecuación se evaluaron en unidades de energía y se estandarizaron a 1 gramo de peso seco de tejido blando de los organismos experimentales ($\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$).

Para determinar la energía consumida (C) es importante considerar que los organismos ingieren una determinada cantidad de MTP por unidad de tiempo (TC en $\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}$), la cual estuvo compuesta por MOP y MIP, por lo tanto la energía consumida es solamente aportada por la MOP e igual a la fracción: $\hat{p} = P_{\text{MOP}}/PS_{\text{MTP}}$, donde P_{MOP} es el peso de la MOP y PS_{MTP} representa el peso seco de la MTP en la dieta. Como el valor energético de 1 mg de MOP de *C. muelleri* equivale a $24.72 \text{ J}\cdot\text{mg}^{-1}$ (Piña *et al.*, en prensa), la tasa de energía consumida se calculó como: $\mathbf{C} = 24.72 \cdot \hat{p} \cdot \mathbf{TC}$. Las unidades derivadas de esta operación son $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}$ y de acuerdo a la estandarización correspondiente $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$.

Debido a que la energía consumida no es completamente asimilada por los organismos, se calculó la energía absorbida: $\mathbf{A} = \mathbf{C}\cdot\mathbf{EA}$ (en $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) que resulta al multiplicar la energía consumida (C) por la eficiencia de asimilación (EA).

La energía perdida por el proceso de la respiración (R) se estimó con base en la equivalencia propuesta por Crisp (1971) de $14.06 \text{ J}\cdot\text{mg}^{-1}$; R representa la cantidad de O_2 consumido en mg por unidad de

tiempo ($\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}$), que al multiplicarlo por su equivalente energético se obtienen $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}$ y al estandarizarlos se obtiene $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$.

La energía perdida por el proceso de excreción amoniaca (U) se evaluó a partir de la equivalencia energética propuesta por Elliot y Davison (1975) y que es igual a $24.87 \text{ J}\cdot\text{mg}^{-1}$ de nitrógeno excretado como N- NH_3 . Las unidades de esta variable se expresaron en $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$.

Procesamiento y análisis de los datos

Todas las tasas fisiológicas fueron evaluadas mediante análisis de varianza, aplicando previamente las pruebas de normalidad y homoscedasticidad de Bartlett, para determinar los métodos de análisis estadísticos, paramétricos o no paramétricos (Conover, 1999; Zar, 1999; Sokal y Rohlf, 2000). En los casos donde el estadístico de prueba del análisis de varianza resultó significativo ($p < 0.05$), se aplicaron las pruebas de comparaciones múltiples correspondientes.

RESULTADOS.

El peso seco del tejido blando de los organismos utilizados en los diferentes experimentos fluctuó entre 1.859 y 2.085 g. El lote correspondiente a la temperatura de 32°C presentó la mayor variabilidad (Tabla 1). También se aprecia que los valores promedios de la MTP y de la fracción orgánica (\hat{p}) fueron superiores a los propuestos en el presente trabajo, observándose que la MTP varió entre 0.034 y $0.038 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ y \hat{p} entre 0.420 y 0.574 .

Tasa de filtración y clarificación

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio y la desviación estándar de la TF de *A. tuberculosa*, se observa que el valor más alto se registró en los 26°C con un valor promedio de $0.557 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, mientras que el más bajo se obtuvo cuando la temperatura fue de 23°C con $0.332 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. De acuerdo a los resultados de las pruebas estadísticas, la TF es independiente de la temperatura a partir de los 26°C y tiende a disminuir manteniéndose estable entre los 29 y 32°C ., solamente la TF registrada en 26°C fue significativamente superior a la obtenida en 23°C .

En esta misma tabla se observa que los valores de la TC al igual que la TF, aumentan significativamente de $11.556 \text{ mg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ en 23°C a $20.282 \text{ mg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ con 26°C , posteriormente tiende a

disminuir de manera no significativa entre los 29 y 32°C con valores promedio de 16.078 y 16.741 $\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$.

Balance energético.

La energía consumida por *A. tuberculosa* a través del alimento suspendido se muestra en la Tabla 3, y corresponde a la temperatura de 26°C el valor promedio más alto (265.144 $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$), mientras que el valor promedio más bajo se obtuvo a 23°C donde se registró un consumo equivalente a 164.023 $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. La prueba de análisis de varianza de Kruskal-Wallis detectó diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de temperatura ($p=0.02$), y la prueba de comparaciones múltiples correspondiente evidenció que C aumentó significativamente entre los 23 y 26°C, pero no hubo diferencias en el intervalo térmico de 26-32°C.

La eficiencia de asimilación (EA) es un índice que evalúa el porcentaje de la energía consumida asimilada por el organismo, pero para fines de cálculo es necesario utilizarla como fracción cuyos valores fluctúan entre 0 y 1 (Tabla 3). Los valores promedio de esta variable fisiológica tuvieron su mínimo en 26 °C (0.273), mientras que el valor promedio más alto corresponde a 23°C (0.346). El análisis de varianza aplicado no detectó diferencias significativas ($p>0.05$), infiriéndose de esta manera que esta variable no es afectada por la temperatura, razón por la cual se puede afirmar que en este intervalo térmico experimental la eficiencia de asimilación es independiente de la temperatura.

Una tendencia semejante se obtuvo al evaluar la energía absorbida (A), la cual mantuvo una tendencia fluctuante, con un valor promedio máximo en 26°C con 72.353 $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de energía asimilada. Igualmente el análisis de varianza no paramétrico no encontró evidencias de que esta variable fuera afectada en el intervalo térmico experimentado por *A. tuberculosa*. Puede observarse que en la temperatura de 26°C, esta especie se desempeña eficientemente en lo que respecta a la obtención de energía para su crecimiento, así como también en las temperaturas de 29 y 32°C, y aunque son relativamente menores al valor promedio obtenido en 26°C, pueden ser apropiadas para el crecimiento de esta especie a pesar de no haber encontrado diferencias significativas entre los tratamientos térmicos.

La pérdida de energía por *A. tuberculosa*, a partir del proceso de respiración en las diferentes

temperaturas que se experimentaron se muestra en la Tabla 3. Se observa que a 23°C los procesos metabólicos demandaron la mínima pérdida de energía, con un valor promedio de 3.087 $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. Por otra parte se observó que esta especie tuvo una pérdida de energía máxima en 29°C, con un valor promedio de 12.025 $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. La prueba de análisis de varianza indicó un efecto altamente significativo en este intervalo térmico ($p<0.001$), el cual se debió principalmente a los resultados obtenidos en las temperaturas de 29 y 23°C.

En relación a los resultados obtenidos a partir de la energía perdida a través del proceso de excreción amoniacal, éstos resultaron mucho menores que los de la energía respirada. Comparando en términos porcentuales de U con respecto a R en cada uno de los niveles de temperatura, los diferentes porcentajes se ubican en el intervalo comprendido entre el 0.04 y 0.17%, es decir mucho menos del 1%, lo cual indica que en el proceso metabólico esta especie utilizó bajas cantidades de proteínas como fuente de energía, con valores promedio que fluctuaron entre 0.003 y 0.007 $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ los cuales corresponden a los tratamientos de 32 y 26°C respectivamente. Las pruebas estadísticas detectaron diferencias significativas entre estos valores.

Evaluación de la ecuación de balance energético: $P=A-(R+U)$.

Finalmente, la evaluación de todas las variables fisiológicas que se describieron anteriormente se resumen en la ecuación del balance energético P como se muestra en la Tabla 3. Ahí se observa que P fluctuó en el intervalo térmico de 26-32°C, no encontrándose diferencias significativas entre los valores hallados.

El valor promedio mínimo de P que se registró fue de 50.055 $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ en 29 °C, mientras que el más alto correspondió al tratamiento de 26°C, que alcanzó el valor de 67.173 $\text{J}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. A pesar de que se observa una tendencia de P a aumentar, las pruebas estadísticas correspondientes no detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0.05$), por se puede inferir que el balance energético de *A. tuberculosa* es independiente de la temperatura.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo se logró estudiar la influencia de diferentes niveles de temperatura sobre las variables fisiológicas que conforman el

Tabla 1. Valores promedio y desviaciones estándar del peso seco del tejido blando (g) de *A. tuberculosa*, materia total particulada (MTP, mg·mL⁻¹) y de la fracción de materia orgánica particulada \hat{p}

	TEMPERATURA (°C)			
	23	26	29	32
Peso seco (g)	1.936 ± 0.237	2.085 ± 0.252	1.859 ± 0.281	1.950 ± 0.401
MTP (mg·mL ⁻¹)	0.034 ± 0.004	0.036 ± 0.006	0.035 ± 0.002	0.038 ± 0.005
\hat{p}	0.574 ± 0.076	0.489 ± 0.076	0.420 ± 0.070	0.520 ± 0.056

Tabla 2. Valores promedio y desviación estándar de las tasas de filtración (TF) y clarificación (TC) en L·h⁻¹·g⁻¹ y mg·h⁻¹·g⁻¹ respectivamente, de *A. tuberculosa* en diferentes temperaturas. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (análisis de varianza de una vía, $\alpha=0.05$).

	TEMPERATURA (°C)			
	23	26	29	32
TF	0.332 ^a ± 0.097	0.557 ^b ± 0.166	0.459 ^{ab} ± 0.093	0.441 ^{ab} ± 0.137
TC	11.556 ^a ± 3.363	20.282 ^b ± 6.046	16.078 ^{ab} ± 3.243	16.741 ^{ab} ± 5.210

Tabla 3. Valores promedio y desviación estándar de la eficiencia de asimilación (EA), energía consumida (C), energía absorbida (A), energía respirada y excretada (R y U) y balance energético (P), en J·h⁻¹·g⁻¹, registrados por *A. tuberculosa* en diferentes temperaturas. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (Análisis de varianza de una vía, $\alpha=0.05$).

	TEMPERATURA °C			
	23	26	29	32
*C	164.023 ^a ± 47.737	265.144 ^b ± 79.036	208.341 ^{ab} ± 42.018	215.225 ^{ab} ± 66.974
EA	0.346 ^a ± 0.174	0.273 ^a ± 0.034	0.298 ^a ± 0.124	0.315 ^a ± 0.152
*A	56.801 ^a ± 16.531	72.353 ^a ± 21.568	62.086 ^a ± 12.522	67.774 ^a ± 21.090
*R	3.087 ^a ± 1.093	6.122 ^{ab} ± 2.033	12.025 ^b ± 4.197	7.806 ^{ab} ± 4.275
*U	0.005 ^{ab} ± 0.002	0.007 ^b ± 0.003	0.006 ^{ab} ± 0.006	0.003 ^a ± 0.001
*P	53.709 ^a ± 17.320	67.173 ^a ± 21.380	50.055 ^a ± 9.966	59.965 ^a ± 19.775

*Método estadístico no paramétrico.

balance energético de *A. tuberculosa*. Bajo condiciones de laboratorio se observó la capacidad de aclimatación ante condiciones crecientes de temperatura sobre las variables fisiológicas directas e indirectas que determinan el balance energético o campo de crecimiento.

En este tipo de experimentos, en los cuales se pretenden simular las condiciones del ambiente donde se desarrollan estos organismos, se presentan dificultades, que si bien es cierto que la temperatura y la salinidad son factores relativamente fáciles de controlar, no es así para otros factores como la materia particulada. En este estudio se intentó mantener constante la MTP y la correspondiente fracción orgánica propuesta, sin embargo esto no impidió verificar el supuesto efecto de la temperatura en la respuesta fisiológica de *A. tuberculosa* a través de las diferentes variables que componen el campo de crecimiento.

Una de las variables de gran relevancia en este campo, es la evaluación de la tasa de filtración, la cual continúa siendo objeto de controversias en este campo de investigación (Jorgensen, 1996; Riisgård, 2001; Widdows, 2001; Filgueira *et al.*, 2006), no obstante aún siguen vigentes las bases teóricas relacionadas con el uso de flujos continuos (sistemas de flujo abiertos) para su evaluación (Bayne, 1976; Hildreth y Crisp 1976; Riisgård, 1977), sin embargo es manifiesta la contradicción entre los mismos autores al definirla de la misma manera a como se define la tasa de clarificación.

Por otra parte la TF se considera como una de las variables más importantes ya que a partir de ésta se inicia la evaluación del balance energético. Muchos autores mencionan que el proceso de filtración en moluscos filtro-alimentadores no es continuo, es decir que solamente filtran dentro de un determinado tiempo, como es el caso de un estudio realizado por Mathers (1976), en el cual demostró que la actividad alimenticia de *Pecten maximus* es cíclica en respuesta a los cambios de flujos de mareas. Contrariamente, Winter (1973) menciona que la tasa de alimentación depende de la concentración de partículas y puede mantenerse constante si la concentración es constante. En este estudio se observaron ocasionalmente algunos organismos con las valvas cerradas durante el transcurso de los experimentos, nuestras observaciones revelan que *A. tuberculosa* es un filtro-alimentador que tiende aparentemente a no mantener su TF constante, en concentración de partículas aproximadamente constantes, pero si

mostró tendencias a tener preferencias térmicas en el intervalo experimental aplicado.

Kirby-Smith (1970) describe que la TC permanece independiente después de haber experimentado ciertas fluctuaciones térmicas. Algo similar encontró Widdows (1976) después de haber ensayado períodos de aclimatación a regímenes térmicos constantes y fluctuantes, y observó que la TC del bivalvo *M. edulis* presentaba un alto grado de independencia de la temperatura. Sin embargo, cuando la temperatura superó los 20°C se produjo un desajuste de los mecanismos fisiológicos de compensación térmica, el cual causó una disminución en la capacidad de filtración. En este estudio, al igual que lo mencionado por los referidos autores, la TC se mantuvo independiente de la temperatura entre los 26 y 32°C.

Una respuesta diferente fue descrita por Schulte (1975) ya que encontró que la TC de *M. edulis* aumentó ligeramente con el incremento de temperatura de 15 a 25°C y disminuyó drásticamente a temperaturas extremas de 5 a 30°C. Este comportamiento de termoindependencia que presentó parcialmente *A. tuberculosa* sobre la TF y la TC coincide con lo demostrado por Widdows (1976) en donde menciona que para un organismo que ha vivido en un ambiente con pocas fluctuaciones de temperatura, las tasas fisiológicas tienden a ser termodependientes. Por el contrario, aquellos individuos sometidos a marcadas fluctuaciones presentan una termoindependencia comprendida en el rango habitual de temperaturas. *A. tuberculosa* es un organismo que en su medio está sujeto a condiciones ambientales extremas, siendo capaz de soportar con relativa facilidad, episodios de baja disponibilidad de oxígeno, además de presentar una gran adaptabilidad a las altas concentraciones de sólidos suspendidos.

Por otra parte los resultados de este estudio tuvieron un comportamiento semejante con los obtenidos por Miranda *et al.* (2006) cuando evaluaron la TF y la TC de *A. grandis*, encontraron que la tasa de filtración fue independiente cuando esta especie fue sometida a 22, 25, 28 y 31°C, mientras que la tasa de clarificación en los 25°C fue significativamente mayor con respecto al resto de las temperaturas las cuales no resultaron diferentes. Aunque nuestros resultados no son comparables con los obtenidos por estos autores debido a que están referidos no al peso seco del tejido blando, aún así los valores más altos encontrados que determinaron se ubican en los 25°C mientras que en este estudio se registraron

en los 26°C. Por otro lado en un estudio *in situ* con efluentes camaronícolas, Miranda (2005) reportó que la TF de *A. tuberculosa* a 26 y 31°C fue de 0.88 y 0.36 L·h⁻¹·g⁻¹ respectivamente, valores que coinciden con los obtenidos en el presente estudio a pesar de que se realizaron en diferentes condiciones.

La zona intermareal en los cuerpos de agua costeros experimenta diaria y estacionalmente variaciones amplias de temperatura entre otros factores, y los moluscos bivalvos que la habitan se encuentran adaptados a esas condiciones, desarrollando procesos fisiológicos que le permitan obtener la mayor cantidad de energía del alimento con el mínimo costo energético, por ello, la EA es una variable fisiológica que determina a partir de la cantidad de energía ingerida la fracción que es asimilada.

En este estudio la EA de *A. tuberculosa* fue independiente en el intervalo térmico experimental y son semejantes a los obtenidos en el mismo intervalo térmico por Chávez (2005) y Bermudes (2007) con *A. grandis* con valores promedio que fluctuaron entre 0.209 (26°C) y 0.285 (32°C) y una salinidad de 30 ups, pero con valores promedio comparativamente inferiores a los registrados por otros bivalvos como *Cerastoderma edule* alimentada con diferentes concentraciones de materia particulada (Ibarrola *et al.*, 1998), y a los registrados por *Ruditapes decussatus* cuando fue sometida al intervalo térmico de 20-32°C, mostrando un aumento de la EA conforme se incrementó la temperatura (Sobral y Widdows, 1997). En el caso de *A. tuberculosa* muy probablemente la inferioridad de estos valores se deban a la imposibilidad de separar las heces de las pseudoheces en la estimación de la EA, motivo por el cual esta variable pudiera estar subestimada, proyectándose la misma tendencia de la EA de la misma manera sobre la cantidad de energía asimilada (A) la cual fue también independiente de la temperatura cuyo mejor resultado fue de 72.353 J·h⁻¹·g⁻¹ en 23°C.

Las pérdidas de energía representadas por las tasas U y R tuvieron fluctuaciones apreciables en el intervalo térmico experimental, donde la componente U es notablemente inferior con respecto a R con porcentajes que fluctuaron entre 0.04 y 0.17%, por lo que las pérdidas más importantes se deben al proceso de respiración y en el caso de *A. tuberculosa* hay una tendencia hacia un mayor costo energético entre los 26 y 29°C, con porcentajes entre 8.5 y 19.4% con respecto a la

energía asimilada y para el nivel de temperatura más bajo del 5.4% (23°C). Nueva-mente estos resultados son comparativamente semejantes a los obtenidos por Bermudes (2007) con *A. grandis* con la diferencia de que U es muy superior al de *A. tuberculosa* con valores promedio que fluctuaron entre 0.278 y 0.439 J·h⁻¹·g⁻¹. Aunque no se tiene información semejante con más especies del mismo género, pero si como por ejemplo *R. decussatus* y *Mytilus edulis*, la tasa de respiración es relativamente independiente de la temperatura (Widdows, 1976; Sobral y Widdows, 1997). En lo que respecta a U, en la mayoría de los bivalvos es común encontrar que las pérdidas energéticas están por abajo del 5% de la energía asimilada, por lo que generalmente se omite en los cálculos del balance energético (Widdows, 1993; Yukihiro *et al.*, 1998)

En este estudio *A. tuberculosa* registró siempre un balance energético positivo, mientras que Bermudes (2007) reportó que para *A. grandis* P es negativo (-1.608 J·h⁻¹·g⁻¹) a la temperatura de 23 °C y 30 ups, lo que significa que *A. tuberculosa* responde fisiológicamente mejor en esta temperatura con un valor promedio de 53.709 J·h⁻¹·g⁻¹. Por otro lado, comparando el balance energético de *A. tuberculosa* con los resultados obtenidos por Peraza (2005) y Partida (2005), el campo de crecimiento no coincide con los resultados obtenidos en este estudio ya que ambos autores encontraron valores muy bajos respecto a los obtenidos en esta investigación, debido seguramente al flujo de alimentación que fue de 3 mL·min⁻¹. Aunque estas especies forman parte de la infauna en la zona intermareal, los resultados de este trabajo muestran que *A. tuberculosa* tiene un mejor desempeño que *A. grandis* en el intervalo térmico estudiado, aunque habría que investigar otras variables que son también relevantes en la fisiología de estas especies, como son la salinidad, la cantidad y calidad de la materia particulada que utilizan estas especies para su crecimiento y reproducción, en vista de que se puedan emplear con fines de remediación en los efluentes acuícolas, para remover grandes cantidades de materia particulada, sobre todo la correspondiente a la fracción orgánica.

CONCLUSIONES

La TF fluctuó entre 0.332 (23°C) y 0.557 L·h⁻¹·g⁻¹ (26°C) y la TC varió entre 11.556 (23°C) y 20.282 mg·h⁻¹·g⁻¹ (26°C). Ambas tasas se mantuvieron independientes de la temperatura, entre los 26 y 32°C.

La eficiencia de asimilación EA resultó independiente de la temperatura en el intervalo de estudio.

La energía absorbida (A) y las tasas de respiración (R) y excreción amoniacal (U) resultaron independientes de la temperatura y las pérdidas de energía por concepto de esta última resultó prácticamente insignificante en comparación con R.

El balance energético de *A. tuberculosa*, en el intervalo térmico experimental, fue siempre positivo e independiente de la temperatura, con valores promedio mínimo y máximo de 50.055 (29°C) y 67.173 J·h⁻¹·g⁻¹ (26°C). Esto demuestra la capacidad de esta especie para la remoción de materia particulada, sin importar a las condiciones extremas (en este caso entre los 23 y 32°C) en que se pudieran encontrar.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial por el apoyo económico de una beca-tesis y para la adquisición de los materiales diversos y consumibles, que fueron proporcionados a través de los proyectos PI-PROFAPI-06-152 (2006) del Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación y del Cuerpo Académico "Ecofisiología y Cultivo de Organismos Acuáticos" UAS-CA-162, de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

REFERENCIAS

Baquiero, E. (1980): Population structure of the mangrove cockle *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) from eight mangroves swamps in Magdalena and Almejas Bays, Baja California Sur, Mexico. *Proc. Nat. Shellfish. Assoc.* 70:201-206.

Bayne, B.L. (1976): *Marine mussels: their ecology and physiology*. Cambridge University Press, 505 pp.

Bermudes Lizárraga, J.F. (2007): Balance energético de la almeja pata de mula *Anadara grandis* (Broderip & Sowerby, 1829) a diferentes salinidades y temperaturas. *Tesis de Licenciatura*, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México, 49 pp.

Broom, J. (1985): *The biology and culture of marine bivalve molluscs of the genus Anadara*. ICLARM, The Philippines, 37 pp.

Chávez Rodríguez, C. (2005): Balance energético de la almeja pata de mula *Anadara grandis* a diferentes concentraciones de materia total particulada. *Tesis de Licenciatura*, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México, 46 pp.

Conover, W.J. (1966): Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnology and Oceanography* 11: 338-354.

Conover, W.J. (1999): *Practical nonparametric statistics*. 3rd ed. John Wiley y Sons, Inc., 584 pp.

Crisp, D.J. (1971): Energy flow measurements. In: *Methods for the study of marine benthos*. (N.A. Holme y A.D. McIntyre, ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 279 pp.

Crisp, D.J. y D.A. Ritz (1967): Temperature acclimation in barnacles. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1: 236-256.

De Jesús Huerta, M. (2005): Características de calidad del agua en los efluentes de granjas camaroneras del noroeste de México. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México, 44 pp.

Elliot, J.M. and W. Davison (1975): Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetic. *Oecologia (Berl)*. 19: 195-201.

FAO (2006): Cultivo de bivalvos en criadero un manual práctico. *FAO Documento Técnico de Pesca* 471, 184 pp.

Filgueira, R., U. Labarta and M.J. Fernández-Reiriz (2006): Flow-through chamber method for clearance rate measurements in bivalves: design and validation of individual chambers and mesocosm. *Limnol. Oceanogr. Methods* 4: 284-292.

Guillard, R.R.L. and J.H. Ryther (1962): Studies of marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Canadian J. Microbiol.* 8: 229-239.

Hildreth, D.I. and D.J. Crisp (1976): A corrected formula for calculation of filtration rate of bivalve molluscs in experimental flowing system. *J. Mar. Biol. Ass, U.K.* 56:111-120.

Ibarrola, I., E. Navarro y J.I.P. Iglesias (1998): Short-term adaptation of digestive processes in the cockle *Cerastoderma edule* exposed to different

food quantity and quality. *J. Comp. Physiol. B.* 168: 32-40.

Jakob, S.G., D. Pruder y W. Jaw-Kai (1993): Growth trial with the american oyster *Crassostrea virginica* using shrimp pond water as feed. *J. World Aquac. Soc.* 3:344-351.

Jorgensen, C.B. (1996): Bivalve filter feeding revisited. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 142: 287-302.

Kirby-Smith, W.W. (1970): Growth of the scallops, *Argopecten irradians concentricus* (Say) and *Argopecten gibbus* (Linné), as influenced by food and temperatures. *Ph.D. Thesis*, Duke University, Durham, North Carolina, 126 pp.

Mathers, N.F. (1976): The effects of tidal currents on the rhythm of feeding and digestion in *Pecten maximus*. L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 24: 271-283.

Miranda B., A. (2005): Remoción de materia particulada en efluentes de estanquería de camarón con *Anadara tuberculosa* (Pelecypoda:Arcidae) (Sowerby,1833). *Tesis de Doctorado*, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada B.C. México, 124 pp.

Miranda-Baeza A., D. Voltolina y B. Cordero Esquivel (2006). Filtration and clearance rates of *Anadara grandis* juveniles (Pelecypoda, Arcidae) with different temperatures and suspended matter concentrations. *Rev. Biol. Trop.* 54(3): 787-792.

Partida Aranguré, B.O. (2005): Balance energético de la almeja pata de mula *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) a diferentes temperaturas. *Tesis de Licenciatura*, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México, 35 pp.

Peraza Gómez, V. (2005): Balance energético de la almeja pata de mula *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) a diferentes salinidades. *Tesis de Licenciatura*, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México, 38 pp.

Piña, P., M. Nieves, M.A. Medina, S. Leal, J.C. Román y J.A. López-Eliás (en preparación) Bionergética de larvas de *Litopenaeus vannamei* utilizando una dieta tradicional y otra no tradicional. 1. Ingestión y asimilación. *Rev. Invest. Mar.*

Riisgård, H.U. (1977): On measurements of the filtration rates of suspension feeding bivalves in a flow system. *Ophelia* 16: 167-173.

Riisgård, H.U. (2001): On measurement of filtration rates in bivalves - the stony road to reliable data: review and interpretation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 211: 275-291.

Schulte, E.H. (1975): Influence of algal concentration and temperature on the filtration rate of *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 30(4): 331-341.

Sobral P. y J. Widdows (1997). Effects of elevated temperatures on the scope for growth and resistance to air exposure of the clam *Ruditapes decussatus* (L.), from southern Portugal. *Scientia Marina* 61(1): 163-171.

Sokal, R.R. y F.J. Rohlf (2000): *Biometry*. 3rd ed., W.H. Freeman and Company, 887 pp.

Widdows, J. (1976): Physiological adaptations of *Mytilus edulis* to cyclic temperatures. *J. Comp. Physiol.* 105: 115-128.

Widdows, J. (1993): Marine and Estuarine Invertebrate Toxicity Tests. En. *Handbook of Ecotoxicology*. vol. 1 : 145-166. Ed. P. Calow. Blackwell Scientific Publ. London.

Widdows, J. (2001): Bivalve clearance rates: inaccurate measurements or inaccurate reviews and misrepresentation?. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 221: 303-305.

Winberg, G.G. (1960): Rate metabolism and food requirements of fishes. *Fish. Res. Bd. Can. Transl. Ser.* 194: 1-253.

Winter, J. (1973): The filtration rate of *Mytilus edulis* and its dependence on algal concentration, measured by a continuous automatic apparatus. *Mar. Biol.* 22: 317-328.

Winter, J.E. (1978): Fundamental knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture* 13, 1-13.

Yukihira H., D.W. Klumpp y J.S. Lucas (1998): Effects of body size on suspension feeding and energy budgets of the pearl oysters *Pinctada margaritifera* and *P. maxima*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 170: 119-130.

Zar, J.H. (1999): *Biostatistical Analysis*. 4th ed. Prentice Hall, Inc., 663 pp.

Aceptado: 13 de abril del 2009