

Crecimiento y supervivencia del mejillón *Mytella strigata* (Bivalvia: Mytilidae) en cultivo suspendido en la Laguna Macapule, Sinaloa, México

Growth and survival of the mussel *Mytella strigata* (Bivalvia: Mytilidae) in suspension culture in Macapule lagoon, Sinaloa, Mexico

Genaro Diarte-Plata¹, Ruth Escamilla-Montes¹, Gustavo De la Cruz-Agüero², Salvador Granados-Alcantar³ y Píndaro Álvarez-Ruiz¹

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, Col. San Joachin. Guasave, Sinaloa. 81101. México

² Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., 23096. México

³ Universidad de Occidente, Campus Los Mochis. Departamento Académico de Ciencias Biológicas. Blvd. Macario Gaxiola y Carretera Internacional. Los Mochis, Sinaloa. 81200. México
e-mail: gdiarte@ipn.mx

Diarte-Plata G., R. Escamilla-Montes, G. De la Cruz-Agüero, S. Granados-Alcantar y P. Álvarez-Ruiz. 2013. Crecimiento y supervivencia del mejillón *Mytella strigata* (Bivalvia: Mytilidae) en cultivo suspendido en la Laguna Macapule, Sinaloa, México. *Hidrobiológica* 23 (3): 374-385.

RESUMEN

Se evaluó el crecimiento y la supervivencia de juveniles del mejillón de barba de hacha (*Mytella strigata*) en un cultivo suspendido durante 7 meses en el Estero La Piedra en el Sistema Lagunar Macapule, Sinaloa, México. Se sembraron 6,000 juveniles de *M. strigata* de 6 mm de longitud promedio. Se determinó el crecimiento y la tasa de crecimiento instantáneo relativo, mediante la fórmula $TCIR = ((\ln L_2 - \ln L_1)/t) \times 100$. Se analizó la relación longitud de las valvas-peso total, con una regresión de tipo potencial de la forma $Y = aX^b$. Se evaluó la supervivencia haciendo un recuento poblacional quincenal de todos los organismos vivos, obteniéndose los porcentajes de supervivencia quincenal y el porcentaje acumulado durante todo el periodo de cultivo. Se registraron los parámetros fisicoquímicos cada 15 días. La temperatura que se presentó en el estero fue de 18.4 °C a 30.2 °C, la salinidad de 28 a 40 ups y la concentración promedio de clorofila *a* de 3.11 mg · m⁻³. La talla promedio de la concha fue de 46.99 ± 0.26 mm de largo y la tasa de crecimiento promedio de 0.12 mm · día⁻¹, y de tipo alométrico. Se encontraron diferencias significativas en el peso total durante la duración del cultivo ($p < 0.05$). Los parámetros de crecimiento estimados fueron: $L_{\infty} = 162$ mm, $K = 0.585$ y $t_0 = 0.123$ años. La supervivencia de los organismos al final del cultivo fue de 81.25%. En el estero, *M. strigata* alcanzó la talla comercial a partir de los siete meses.

Palabras clave: Cultivo, mejillón, México, *Mytella strigata*, población.

ABSTRACT

Growth and survival of the mussel *Mytella strigata* in a hanging culture method were evaluated during seven months in La Piedra estuary at the Macapule Lagoon System, Sinaloa, Mexico. Relative growth instant rate and growth were determined from six thousand seedlings (6 mm average). Relationship among total length-total weight was analyzed using a potential regression. Survival rate was biweekly evaluated by counting all those organisms alive as long with the accumulated rate throughout the culture period. In addition physical-chemical parameters were measured every 15 days. The temperature of the estuary fluctuated between 18.4 °C to 30.2 °C, salinity was among 28 to 40 ups and the average chlorophyll *a* concentration was 3.11 mg · m⁻³. Average length of the shell was 46.99 ± 0.26 mm and the average growth of 0.12 mm · day⁻¹ (i.e. allometric growth). There were significant differences between total-weight throughout

the culture ($p < 0.05$). Growth parameters evaluated were $L_{\infty} = 162$ mm, $K = 0.585$ and $t_0 = -0.123$ years. Final survival rate was 81.25%. The mussel reach the commercial length at 7 months.

Key words: Culture, México, mussel, *Mytella strigata*, population.

INTRODUCCIÓN

La optimización del crecimiento y los niveles de supervivencia son parámetros determinantes para el cultivo comercial de moluscos bivalvos. En este sentido, se han realizado estudios con la finalidad de evaluar y conocer el efecto de una serie de factores asociados con los sistemas de cultivo, entre los que se encuentran: la densidad (Parsons & Dadswell, 1992; Côte & Himmelman, 1993; Acosta *et al.*, 2000), la fauna epibionte en las artes de cultivo (Claereboudt *et al.*, 1994; Lodeiros & Himmelman, 1994), la acción de las olas (Widman & Rhodes, 1991; Freitas *et al.*, 1999) y la profundidad (MacDonald & Bourne, 1989; Lodeiros *et al.*, 1993; Emerson *et al.*, 1994; Kang *et al.*, 2003). El mejillón barba de hacha *Mytella strigata* (Hanley, 1843), es un molusco bivalvo que habita en ambientes rocosos y en estuarios sobre las raíces del mangle *Rizophora mangle* y es una especie ampliamente utilizada como bioindicador de contaminación biológica, química o de procesos ambientales en las zonas costeras (Izaguirre *et al.*, 1990; Zefer & Geldon, 1998; Ayala-Baldenegro, 2004). Sin embargo, desde el punto de vista económico, no se le ha dado una mayor importancia, a pesar de ser un organismo marino de alto valor alimenticio, en comparación con almejas y ostiones (Ruiz-Suárez, 1984; Zamora, 1990; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1991; Páez-Osuna, 1991; Pempkowiak *et al.*, 1999; Soto-Jiménez *et al.*, 2001; Amador del Ángel *et al.*, 2003; Domínguez-Orozco *et al.*, 2003; Segovia-Zavala *et al.*, 2003; Ayala-Baldenegro, 2004; Lordi & Collins, 2004). En el caso

del cultivo de mejillones, son escasas las investigaciones efectuadas en el Pacífico Mexicano (Cadena-Roa, 1996). En Sinaloa, no se tienen registros de actividades referentes a la miticultura (Izaguirre-Fierro, 1990; Domínguez-Orozco *et al.*, 2003; Ayala-Baldenegro, 2004), por lo que no se cuenta con información acerca de las respuestas de *M. strigata* a las tecnologías de cultivo, considerando su crecimiento y supervivencia. De esta manera, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el crecimiento y estimar la supervivencia de *M. strigata* en un cultivo suspendido, así como su relación con las variables fisicoquímicas en la laguna Macapule, municipio de Guasave, Sinaloa, México y con ello aportar información para su manejo acuícola en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El cultivo se realizó en el estero La Piedra, ubicado al sur de la Laguna Macapule, Guasave (Fig. 1), en la zona norte del estado de Sinaloa, México entre los 25° 15' N y 109° 03' W (Instituto Nacional de Geofísica, 1987; Magaña-Álvarez, 2004).

Colecta de juveniles (semillas). La recolección de juveniles se realizó de septiembre a octubre de 2004 (60 días). Los juveniles de mejillón utilizados en el cultivo experimental, fueron colectados del medio natural, empleando canastas ostrícolas tipo Mik Piramide^{MR} como colectores, los cuales estuvieron expuestos en la columna de agua entre 1 a 4 m de profundidad.

Cultivo suspendido. El cultivo se llevó a cabo de noviembre de 2004 a mayo de 2005 (238 días). El experimento se instaló usando como unidades experimentales seis módulos de cultivo, formados por siete canastas ostrícolas tipo Mik Piramide^{MR} (55 × 55 × 10 cm), cinco para engorda-crecimiento, y dos más, en la superficie y al final, que sirvieron de protección; sembrándose un total de 6,000 juveniles con una talla promedio de 6 mm de largo y peso total de 0.05 g. Se empleó una densidad de cultivo inicial de 200 juveniles por canasta, hasta obtener la talla común de 40 a 50 mm (FAO, 1995). Los módulos formados se colocaron en líneas madres flotantes (Long-line), construidas con cabo de nylon de 1 pulgada de diámetro, con anclajes de concreto en sus extremos y boyas para flotación y señalamiento de la línea madre (Sevilla-Hernández, 1993). Se mantuvo una densidad de cultivo de 200 mejillones por canasta (1,000 mejillones por módulo), hasta la conclusión del estudio, realizando reemplazos de organismos vivos por los muertos en cada clareo, para ello se tuvo módulos de cultivo alternos bajo las mismas condiciones de cultivo.

Parámetros fisicoquímicos. Cada 15 días se registró la temperatura del agua con un instrumento YSI 55/12FT, la salinidad con

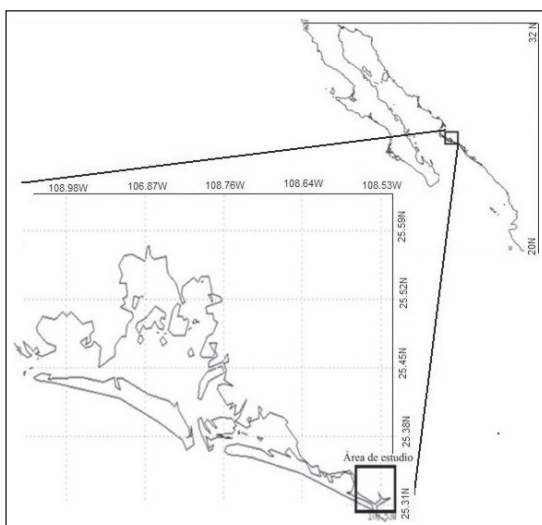


Figura 1. Ubicación del sitio de cultivo suspendido del mejillón barba de hacha (*M. strigata*) en el estero La Piedra de la laguna Macapule, Sinaloa, México. México.

un refractómetro Atago S/Mill. Para el análisis de clorofila *a* se tomaron muestras de agua del sitio de cultivo, y la determinación se hizo de acuerdo a la técnica espectrofotométrica descrita en Strickland y Parsons (1972); el cálculo se realizó según la ecuación de Jeffrey y Humphrey (1975).

Crecimiento. Quincenalmente se colectaron al azar 50 mejillones para hacer las biometrías. De cada organismo se registró la longitud y el ancho de las valvas (mm) (Fig. 2), con un Vernier Calibrador Digital (Mitutoyo 500 -197^{MR}), con precisión de 0.01 mm, el peso de la partes blandas (g) con una balanza digital (0-1000 g) con una precisión de 0.01 g (Ohaus Scout Pro SP 200^{MR}). Para este trabajo sólo se tomó en consideración la longitud de las valvas y el peso total del organismo. Para cada biometría, se calculó el valor promedio y el error estándar de cada variable. Para determinar el crecimiento se obtuvo la tasa de crecimiento, instantáneo relativo (TCIR) (Xiao *et al.*, 2005), mediante la fórmula:

$$TCIR = ((\ln L_2 - \ln L_1)/t) \times 100$$

Donde: L_2 y L_1 = el ancho final e inicial respectivamente, y t = intervalo de tiempo (en días) entre 2 muestreos consecutivos.

Se analizó la relación largo-peso total, y se aplicó una regresión de tipo potencial de la forma:

$$Y = aX^b$$

Donde: a = ordenada al origen y b = la pendiente.

Cuando el valor de $b = 3$, el tipo de crecimiento es isométrico y cuando $b \neq 3$ el crecimiento es alométrico.

Para el modelo de crecimiento se utilizó un método no lineal de algoritmo de ajuste iterativo, o Gradiente de reducción generalizada (Brey, 2001), que se adaptó a la curva de crecimiento de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1934; Sparre & Venema, 1995):

$$Lt = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$

Donde, L_t = Longitud calculada del organismo a la edad t . L_{∞} = Longitud media que los organismos podrían alcanzar en caso

de crecer hasta una edad muy avanzada, K = Coeficiente de crecimiento y t_0 = Edad hipotética que el organismo debiera de haber tenido para que su longitud fuera cero.

Supervivencia. Se estimó la supervivencia por medio de un recuento poblacional quincenal de todos los organismos vivos, considerando como el 100% al número inicial establecido en cada uno de los ajustes de densidad, y como número final, al obtenido al restar del número inicial los organismos muertos, con lo cual se obtuvieron los porcentajes de supervivencia quincenales y a partir de éstos, el porcentaje acumulado durante el periodo del cultivo del mejillón.

Análisis de datos. Para analizar los parámetros de crecimiento, se aplicó una ANOVA de una vía, empleando como factor el tiempo de cultivo. Cuando se detectaron diferencias significativas se aplicó una prueba *a posteriori* de Tukey ($\alpha = 0.05$). Para determinar el grado de asociación entre el crecimiento y la supervivencia de los organismos con los parámetros fisicoquímicos, se realizó una correlación de Pearson (r), con su correspondiente prueba de significancia (Prueba t , $\alpha = 0.05$) (Lohr, 1999; Zar, 1999).

RESULTADOS

Parámetros fisicoquímicos. La temperatura del agua registrada en el estero La Piedra fue de 18.4 °C a 30.3 °C, mostrando los valores máximos en septiembre y octubre del 2004 (30.3 °C y 30.2 °C respectivamente), y los mínimos en enero (19.5 °C) y febrero de 2005 (18.4 °C). Con respecto a la salinidad, se presentó una variación de 28 a 40 ups, observándose el valor más alto a finales de abril de 2005, y el más bajo en enero de 2005. Las concentraciones de clorofila *a*, mostraron los valores máximos en el mes de abril de 2005 (7 mg · m⁻³), mientras que los valores mínimos se presentaron en enero de 2005 (0.87 mg · m⁻³), con promedio de concentración de 3.11 mg · m⁻³ (Fig. 3).

Crecimiento. Después de 7 meses de cultivo los organismos alcanzaron una talla promedio de 46.99 ± 0.26 mm de largo con los mayores incrementos en los meses de marzo (5.62 mm), y abril

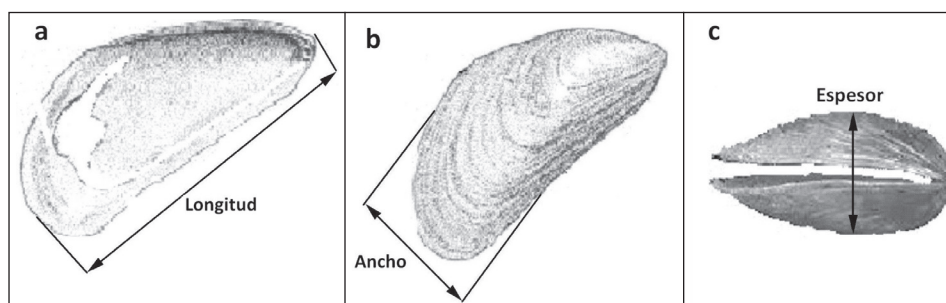


Figura 2a-c. Biometrías del mejillón *Mytella strigata* (Modificado de FAO, 1995). a) longitud = distancia entre la charnela y la abertura de las valvas, b) ancho = distancia de filo a filo de las valvas, c) espesor = distancia de la curvatura del organismo.

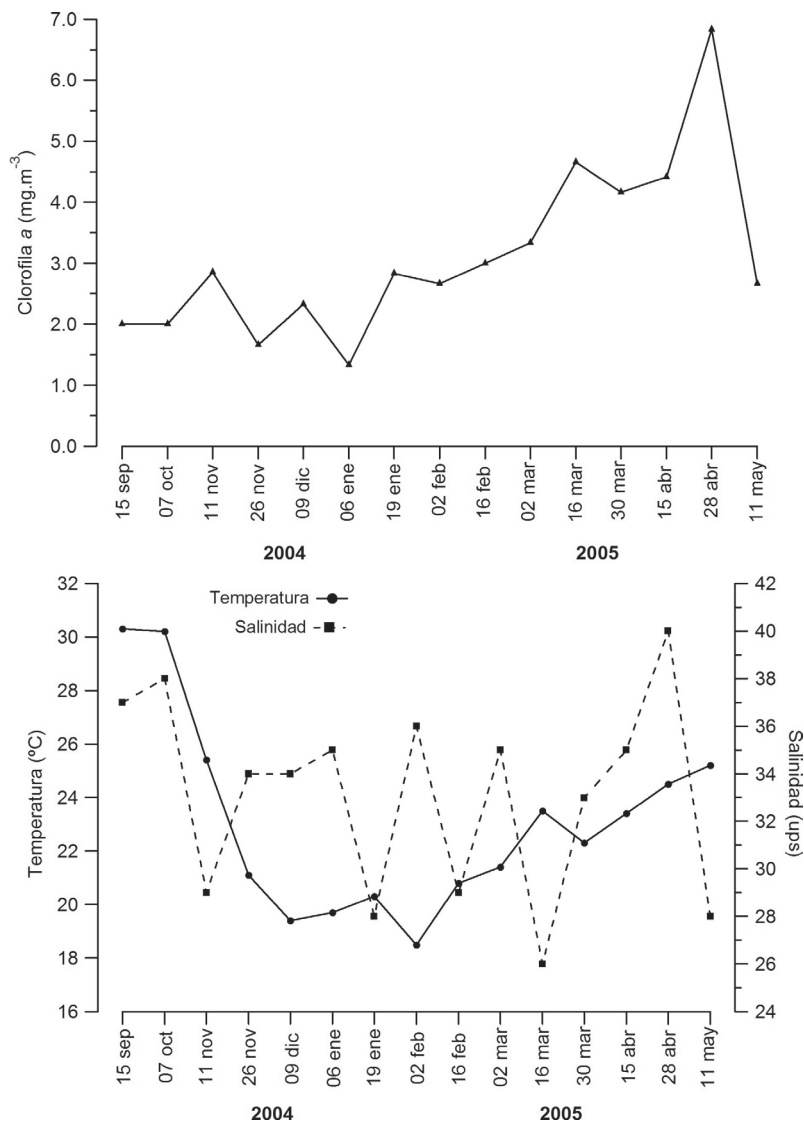


Figura 3. Variación de la temperatura (°C), salinidad (ups) y clorofila *a* (mg.m⁻³), registradas de septiembre del 2004 a mayo del 2005, en el estero La Piedra en la Laguna Macapule, Sinaloa, México.

de 2005 (6.03 mm), mientras que el valor mínimo se registró en diciembre de 2004 con 1.37 mm. El análisis de correlación mostró que la longitud de las valvas se relacionó de manera positiva con el peso total y la clorofila *a* ($r = 0.95$, $r = 0.68$; $p < 0.05$ respectivamente), y negativa o inversa con la supervivencia ($r = -0.86$; $p < 0.05$). Con respecto al peso total, se observó un aumento progresivo a medida que las valvas crecían la longitud, el peso promedio inicial fue de 0.64 ± 0.03 g (octubre de 2004) y de 7.31 ± 0.24 g (abril de 2005) al final del periodo de estudio (Fig. 4). Esta variable tuvo una correlación inversa con la supervivencia ($r = -0.95$; $p < 0.05$) y positiva con la longitud de las valvas ($r = 0.95$; $p < 0.05$), y la clorofila *a* ($r = 0.74$; $p < 0.05$).

En las tablas 2 y 3 se muestran los valores de diferentes tasas de crecimiento, en peso y talla, estimadas para *M. strigata*; en

el crecimiento absoluto los máximos se presentaron a inicios de enero ($4.08 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$) y abril ($4.68 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$); en la tasa absoluta en octubre ($0.49 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$) y abril ($0.29 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$), en la tasa relativa en octubre ($0.081 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$) y enero ($0.005 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$) y en la tasa instantánea en octubre ($4.01 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$) y noviembre ($0.663 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$). Los valores mínimos para todas las tasa de crecimiento, se presentaron en abril de 2005, en donde el crecimiento absoluto fue de $0.1258 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, la tasa de crecimiento absoluto de $0.0096 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, la tasa relativa de $0.000020 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, y las tasas instantáneas a finales de abril variaron de $0.020 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ a $0.77 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$.

Los parámetros fisicoquímicos se relacionaron con cada una de las tasas de crecimiento a través de un análisis de correlación en donde se observó que la temperatura se relacionó de

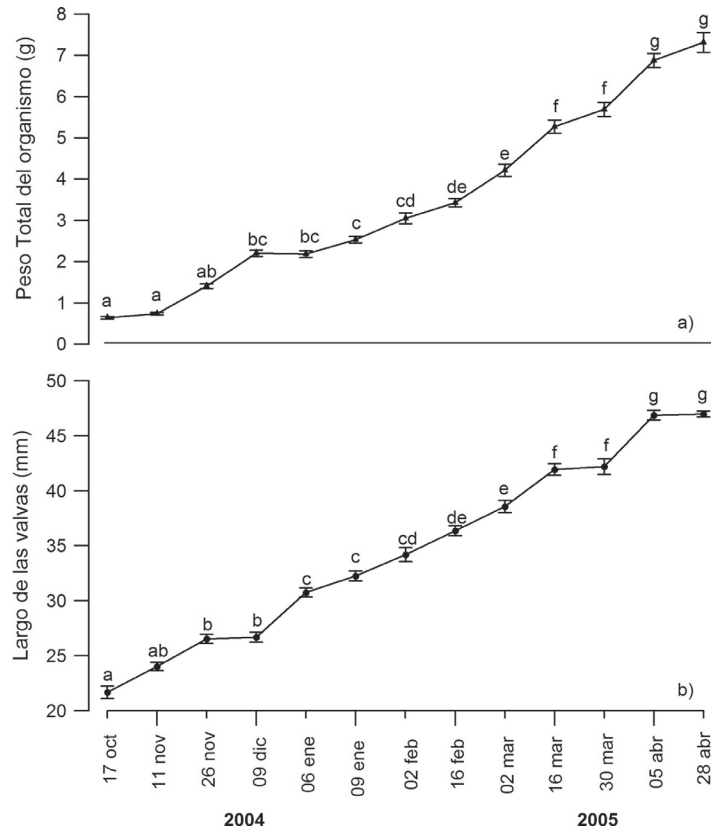


Figura 4. Crecimiento en la longitud de las valvas (a) y peso total (b) (media \pm error estándar) de *M. strigata* en cultivo suspendido en el estero La Piedra en la laguna Macapule, Sinaloa, México.

forma positiva con la tasa relativa ($r = -0.7493$, $p < 0.05$) y la tasa instantánea de crecimiento en talla ($r = -0.7353$, $p < 0.05$), mientras que la clorofila *a*, de forma negativa con la tasa instantánea de crecimiento calculada a partir de los valores de von Bertalanffy ($r = -0.7373$, $p < 0.05$).

Con respecto a las tasas de crecimiento en peso total estimadas para *M. strigata*, se observó que los valores máximos en el crecimiento absoluto se presentaron en marzo ($1.062 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$) y abril ($1.184 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$), en la tasa absoluta en marzo ($0.075 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$) y abril ($0.074 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$), en la tasa relativa en octubre ($0.695 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$), y en la tasa instantánea en octubre ($9.83 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$) y noviembre ($4.22 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$); mientras que los valores mínimos en el crecimiento absoluto y tasa de crecimiento absoluto, ocurrieron en noviembre ($0.102 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ y $0.004 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ respectivamente) en la tasa relativa en abril ($0.00493 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$), mientras que en las tasas instantáneas fue a finales de abril ($0.477 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ y $10.13 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$), siendo en donde se presentó un crecimiento negativo en cada una de las tasas calculadas (Tabla 3). Se observó que la temperatura se relacionó de forma positiva con la tasa relativa del peso total ($r = -0.75413$, $p < 0.05$) y la tasa instantánea de crecimiento en talla ($r = -0.7353$, $p < 0.05$). Mientras que la clorofila *a*, se relacionó de forma inversa con la tasa instantánea en peso total, calculada a partir de los

valores de von Bertalanffy ($r = -0.6374$, $p < 0.05$).

En las relaciones entre la longitud de las valvas-peso total y longitud-biomasa de *M. strigata*, el modelo que mejor se ajustó fue el potencial, siendo la ecuación $PT = 0.0002L^{2.7472}$ y $B = 0.00075L^{3.5078}$, siendo significativas las relaciones ($R^2 = 0.833$ y $R^2 = 0.945$ respectivamente) (Figs. 5-6). El coeficiente de alometría (pendiente o valor de *b*) en *M. strigata* fue de 2.74, el cual fue diferente de 3 ($t\text{-test} = 3.178$, $p < 0.05$), lo que indica que el mejillón es menos pesado con respecto al largo de las valvas que alcanzó en este estudio (Tabla 4).

En la Figura 7, se muestra la curva de crecimiento teórico, de acuerdo a los parámetros de crecimiento estimados de la ecuación de von Bertalanffy a las distintas edades. Se obtuvo un crecimiento teórico máximo de 74 mm de longitud (*Lt*), con un valor de *K* de 1.35 por año y t_0 de -0.123 años, el modelo se ajustó adecuadamente ($R^2 = 0.948$). La ecuación resultante fue: $Lt = 74 [1 - e^{-1.35(t-0.123)}]$. Los valores estimados a partir de la ecuación de crecimiento indicaron que los organismos alcanzarían una talla de aproximada de 57.75 mm de largo al primer año de edad, y de 69.78 mm a los dos años. A partir de la ecuación de von Bertalanffy, se estimaron las curvas de crecimiento en peso total de *M. strigata* (Fig. 8), a la cual se le hizo una modificación, en donde se

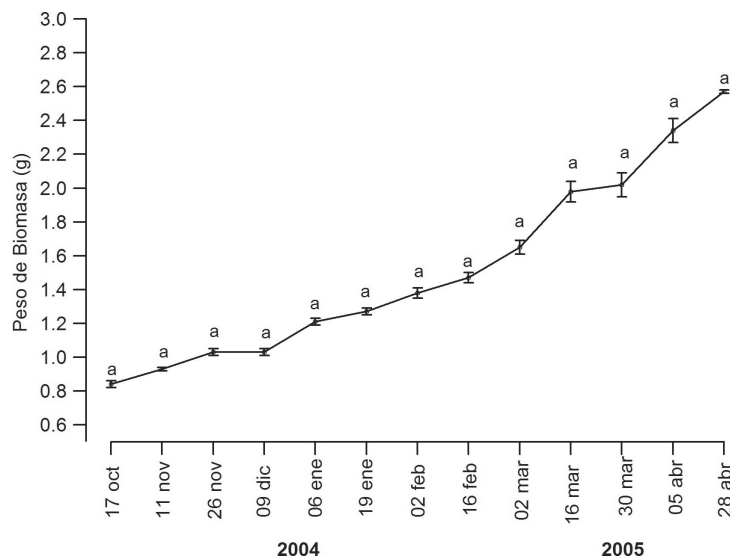


Figura 5. Crecimiento en biomasa (media \pm error estándar) de *M. strigata* de octubre del 2004 a abril del 2005, en el estero La Piedra en la laguna Macapule, Sinaloa, México.

calculó el largo teórico a partir de los datos de la relación largo de las valvas-peso total ($W_t = a L_t^b$); en este caso se utilizaron los valores de a y b , y los valores observados del peso total en el cultivo (Tabla 4). Los mejores ajustes para la ecuación del crecimiento en peso fueron: $L_\infty = 74$ mm, $K = 1.35$, $t_0 = -0.123$. Por lo que, el modelo tiene un buen ajuste para explicar el crecimiento en peso, siendo el valor de R^2 superior a 0.94. En este caso la curva indica que aproximadamente entre los 7 y 8 meses de edad, el mejillón alcanzará un peso de 17 a 18 g, después de un año de edad alcanzará un peso total de 25 g y alcanzará su peso máximo al año y medio.

En lo que se refiere a la biomasa (peso de las partes blandas), ésta varió significativamente entre los meses de estudio ($F = 129.29$, $p = 0.0005$) (Tabla 1), con valores bajos al inicio del cultivo, de octubre a diciembre de 2004 (0.84 ± 0.02 g). Los valores de biomasa se fueron incrementando a partir de enero de 2005, alcanzándose el peso máximo de 2.57 ± 0.11 g, al final del cultivo (abril de 2005).

Supervivencia. Al principio del cultivo de *M. strigata* (noviembre de 2004), se registró la mayor supervivencia en un 97%, equivalente a 5820 mejillones; al finalizar el cultivo, en el mes de mayo de 2005, la supervivencia fue del 81.25% (Fig. 9). Al correlacionar la supervivencia con el crecimiento en largo de las valvas ($r = -0.86$; $p < 0.05$) y el peso total ($r = -0.95$; $p < 0.05$), se obtuvieron relaciones inversas significativas; además su relación con factores de productividad del sistema fue significativo con la clorofila a ($r = -0.77$, $p < 0.05$), y también se obtuvieron correlaciones positivas significativas de la supervivencia, con factores fisicoquímicos, tales como la temperatura y salinidad ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante del periodo de estudio, mostraron diferencias significativas en los valores de crecimiento de los mejillones, quienes alcanzaron una talla promedio de 46.99 ± 0.26 mm en siete meses de cultivo, más dos meses de captación de semillas. Estévez y Stuardo (1977), reportaron que *M. strigata* alcanzó tallas mínima-máxima en longitud total de 15.2 a 69.1 y 11.8 a 65.1 mm en las lagunas Chautengo y Nuxco, Guerrero, México, respectivamente, lo cual es mayor a las tallas obtenidas en cultivo con *M. strigata* en el presente estudio, donde la talla máxima fue de 52.82 mm de longitud de las valvas. Mientras que Sibaja (1985), reportó tallas similares de 10 a 42.6 mm de longitud para esta especie en Puntarenas, Costa Rica.

La tasa de crecimiento de la concha en mitílidos tropicales es mayor que la reportada para especies templadas (Vakily, 1989). Rajagopal *et al.* (1998), señalan que en el sureste de la India, los mejillones *Perna viridis* pueden alcanzar 119 mm de longitud de las valvas en su primer año y hasta 152 mm en el segundo año; mientras que en el este de Kakinada (India), alcanzan solo 93 mm al año (Narasimhan, 1980), al igual que 96 mm del primer año, en la costa oriental de Goa; tales incrementos de talla son debido a las altas tasas de flujo de alimentación (fitoplancton), como a las corrientes que ocurren en estas áreas y también las condiciones estacionales imperantes (Vakily, 1989). Sin embargo, en estudios realizados en áreas contaminadas como, Tolo Harbour, Hong Kong, se han reportado valores de 49.7 mm en el primer año, al igual que en Victoria Harbour, otra área de Hong Kong, esto sugiere una amplia variabilidad en el crecimiento de las especies de bivalvos ante diversas condiciones ambientales (Lee, 1986; Cheung, 1993). El crecimiento y la supervivencia de *M. strigata*

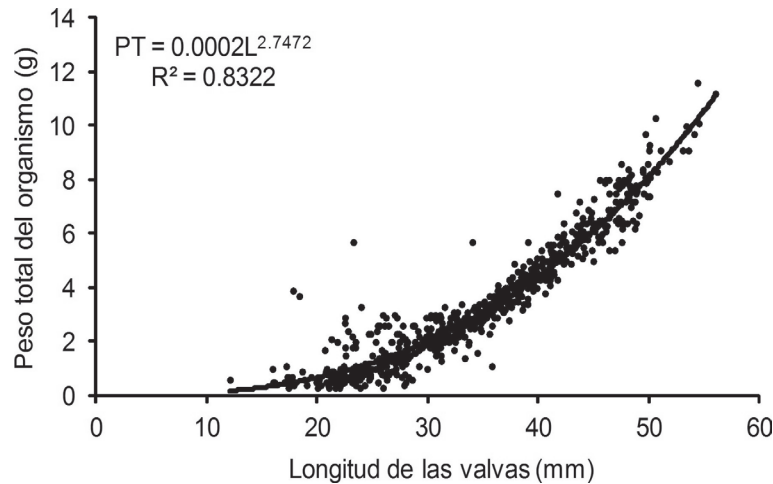


Figura 6. Relación morfométrica entre la longitud de las valvas-peso total del organismo de *M. strigata* en cultivo en Sinaloa, México.

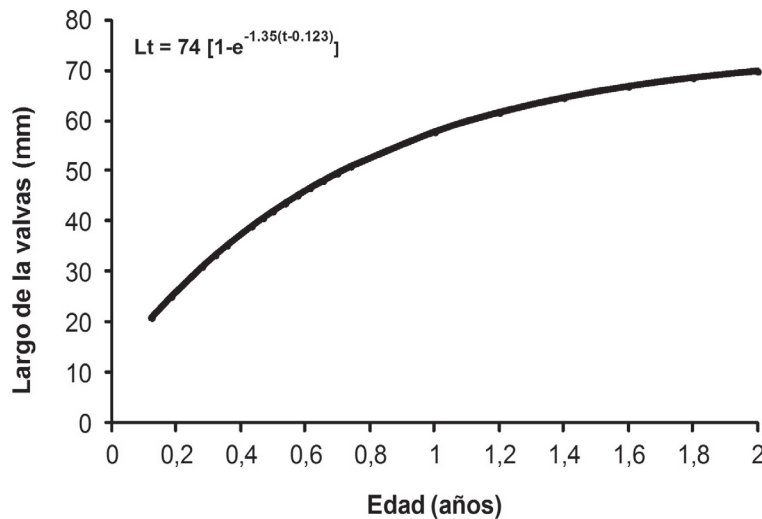


Figura 7. Curva de crecimiento en la longitud y la edad de *M. strigata*, obtenidas bajo el modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

en el presente estudio, mostraron que la especie tolera las condiciones ambientales abruptas que se registraron en el estero La Piedra, Guasave, donde la temperatura y la salinidad fueron las determinantes para la especie, en los meses de diciembre de 2004 a febrero de 2005, septiembre y octubre de 2005. Considerando los presentes resultados puede afirmarse que *M. strigata* es una especie que posee una alta tolerancia a cambios abruptos de temperatura y salinidad, que corresponderían al marco ambiental de esteros y lagunas costeras en el Golfo de California (Osuna-López *et al.*, 2009), ya que la disponibilidad de alimento (fitoplancton) representado por la clorofila *a*, presentó una correlación inversa significativa ($r = -0.77$, $p < 0.05$) con el crecimiento en talla y peso total, lo que puede sugerir una dependencia con distintas fuente de alimento; como podría ser la materia orgánica particulada, ca-

racterística de hábitat de fondos lodosos como lo reporta Sibaja (1985), en la playa de Lepanto, Puntarenas, Costa Rica para *M. strigata*. Asimismo, Marambio *et al.* (2012), en la cuenca de Rilán, isla de Chiloé, Chile para *Mytilus chilensis* encontraron relación entre el crecimiento de la biomasa y la materia orgánica particulada del sitio de cultivo, señalándose que el Índice de Rendimiento Productivo (partes blandas), puede ser utilizado en la miticultura para determinar las condiciones óptimas de cosecha, considerando el cociente entre el peso de la carne y el peso total del organismo (con concha). Aun cuando *M. strigata* se cultivó en suspensión, difiere a lo reportado por Leighton (1979), quién menciona que, en cultivos suspendidos los organismos tienen un mayor acceso al alimento, en términos de sestón disponible en la columna de agua.

La estimación del crecimiento de muchos organismos se ha realizado a través de la ecuación de von Bertalanffy, la cual se ha derivado a partir de consideraciones fisiológicas, siendo su base principios bioenergéticos (Bustos *et al.*, 1986). El crecimiento observado de *M. strigata* en este estudio, a través de la curva de von Bertalanffy, mostró que la talla comercial de la especie, que es de 57.75 mm, en el estero La Piedra, Guasave se puede obtener al primer año de edad.

Para este estudio los parámetros de la curva de von Bertalanffy, fueron los siguientes: $L_{\infty} = 74$ mm de Lt, $K = 1.35$ por año y $t_0 = -0.123$ años, los cuales fueron menores, a lo reportado por Baqueiro *et al.* (2003), para la misma especie en la laguna de Nuxco Guerrero con $L_{\infty} = 102$ mm, $K = 0.17$, con una edad media de 5.23 años, aunque los mismos autores en la laguna de Chautengo, Guerrero obtuvo los siguientes valores: $L_{\infty} = 98$ mm, $K = 1.08$, con una edad media de 1.28 años. La diferencia con el estudio de

Nuxco probablemente se debió a que la población del presente estudio estuvo conformada principalmente por organismos juveniles (10-40 mm).

La supervivencia para *M. strigata* al inicio del periodo de estudio fue alta, alrededor del 90%, pero al ir avanzando el cultivo, los valores disminuyeron y se mantuvieron por encima del 81.25 % hasta el final del estudio. Los factores que pueden afectar la supervivencia en cultivos suspendidos de bivalvos son diversos, desde la presencia de epibiontes, el efecto de la depredación, la incidencia de competidores de espacio y alimento, así como los efectos del continuo movimiento por las olas y corrientes (Serrano-Casillas, 2004). En el presente estudio, la temperatura y la disponibilidad de alimento, no fueron factores que afectaran la supervivencia de los mejillones, ya que al inicio del cultivo se presentaron los valores más altos de temperatura con valores bajos de clorofila *a*, situación que al parecer no afectó el metabolismo basal de los organismos, quienes se encontraron dentro de los

Tabla 1. Análisis de varianza para las variables longitud, peso total y biomasa de *M. strigata*, cultivada en un sistema suspendido en el estero La Piedra en la laguna Macapule, Sinaloa, México. (* = diferencias significativas).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Suma cuadrados medios	F	<i>p</i>
Largo	42575.6	12	3548.0	272.79	0.0005*
Error	8272.1	636	13.0		
Peso	2937.85	12	244.82	290.45	0.0005*
Error	536.07	636	0,843		
Biomasa	185.791	12	15.483	129.29	0.0005*
Error	76.278	636	0.120		

Tabla 2. Diversas tasas de crecimiento en talla ($\text{mm} \cdot \text{día}^{-1}$) de *M. strigata* cultivados en un sistema suspendido en el estero La Piedra en la laguna Macapule, Sinaloa, México. Crec. Abs. Tasa de crecimiento absoluto, Tasa Abs= Tasa de crecimiento absoluto; Tasa Rel = Tasa de crecimiento relativo; Tasa Inst = Tasa de crecimiento instantáneo (1) Largo de las valvas, (2) Peso total.

Fecha	Crec. Abs	Tasa Abs	Tasa Rel	Tasa inst (1)	Tasa Inst (2)
15 sep	15.69	0.49	0.081	4.01	3.25
17 oct	2.34	0.09	0.004	0.41	2.81
11 nov	2.52	0.17	0.007	0.66	2.41
09 dic	0.13	0.01	0.0004	0.04	2.40
06 ene	4.08	0.15	0.005	0.51	1.90
19 ene	1.51	0.12	0.004	0.37	1.75
02 feb	1.92	0.14	0.005	0.41	1.58
16 feb	2.16	0.15	0.005	0.44	1.40
02 mar	2.22	0.16	0.004	0.42	1.24
16 mar	3.35	0.24	0.006	0.60	1.03
30 mar	0.27	0.02	0.005	0.05	1.02
15 abr	4.68	0.29	0.007	0.66	0.78
28 abr	0.13	0.01	0.0002	0.02	0.78

Tabla 3. Diversas tasas de crecimiento en peso ($\text{g} \cdot \text{día}^{-1}$) de *Mytella strigata* cultivados en un sistema suspendido en el estero La Piedra en la laguna Macapule, Sinaloa, México. Crec. Abs = Tasa de crecimiento absoluto; Tasa Abs = Tasa de crecimiento absoluto; Tasa Rel. = Tasa de crecimiento relativo; Tasa Inst = Tasa de crecimiento Instantáneo en peso, (1) Largo de las valvas, (2) Peso total.

Fecha	Crec. Abs	Tasa Abs	Tasa Rel	Tasa Inst (1)	Tasa Inst (2)
15 sep	0.61	0.02	0.70	9.839	154.49
17 oct	0.10	0.004	0.006	0.591	132.75
11 nov	0.66	0.043	0.059	4.223	68.71
09 dic	0.80	0.061	0.044	3.480	42.35
06 ene	-0.02	-0.0006	-0.0003	-0.026	42.70
19 ene	0.35	0.027	0.0122	1.138	36.31
02 feb	0.52	0.037	0.0146	1.335	29.48
16 feb	0.39	0.027	0.0089	0.847	25.77
02 mar	0.78	0.056	0.0161	1.458	20.33
16 mar	1.06	0.076	0.0180	1.606	15.49
30 mar	0.41	0.030	0.0056	0.539	14.09
15 abr	1.18	0.074	0.0130	1.181	11.02
28 abr	0.44	0.034	0.0049	0.477	10.13

límites de las tasas de ingestión y aclareo, comprendidos en el intervalo de 12 a 28 °C, siendo similares a los reportados en este estudio para *M. strigata*, en donde el intervalo de temperatura fue de 18.4 a 30°C. La tendencia a la disminución en el porcentaje de supervivencia mientras continuaba el cultivo, pudo ser por la presencia de organismos epibiontes y depredadores (juveniles de la jaiba *Callinectes* sp.), los cuales pudieron incrementar la mortalidad de los mejillones al interactuar sobre *M. strigata*, así como disminuir la eficiencia del arte de engorda, pudiendo invadir las valvas y reducir la capacidad respiratoria y alimenticia de los

organismos, o bien los depredadores provocar la ruptura de las valvas (Sicard-González, 1999).

La supervivencia final de los mejillones obtenida en el presente estudio, puede considerarse alta, lo cual indica que el sistema de cultivo es adecuado para la especie. Finalmente se puede mencionar que los resultados obtenidos en el cultivo suspendido de *M. strigata* en el estero La Piedra, indica sus posibilidades como actividad acuícola, y asimismo aportan información básica para futuros estudios de esta especie en la región.

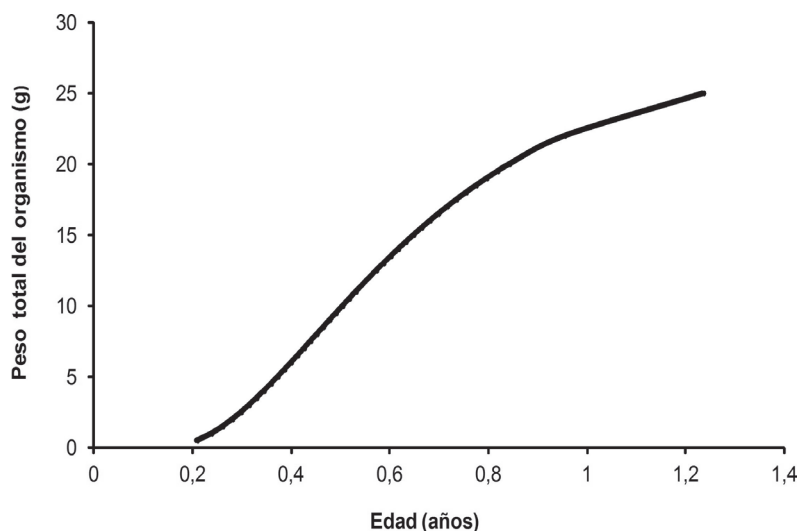


Figura 8. Curva de crecimiento del peso total del organismo y edad de *M. strigata* obtenidas bajo el modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

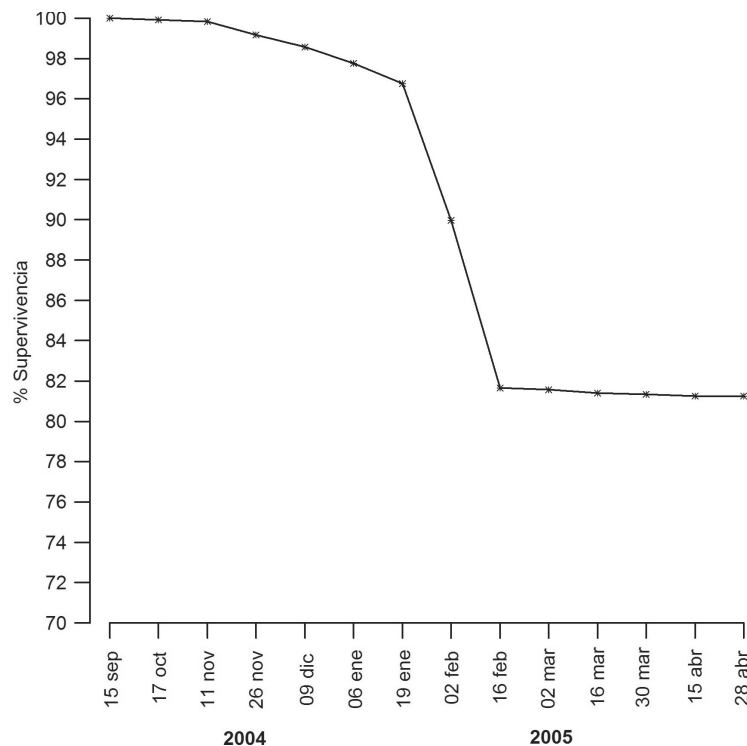


Figura 9. Valores de supervivencia de *M. strigata*, de septiembre de 2004 a abril de 2005, en un sistema suspendido en el estero La Piedra en la laguna Macapule, Sinaloa, México.

Tabla 4. Coeficiente de la regresión potencial que describe la relación entre la largo de las valvas (mm) y peso total del organismo (g) de *Mytella strigata*, de septiembre del 2004 a abril del 2005 en el estero La Piedra en la laguna Macapule, Sinaloa, México.

Parámetros	Longitud vs Peso Total
r^2	0.8322
a	0.0002
b	2.7472

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento por el apoyo institucional del INAPI Sinaloa para la realización de este trabajo. GDP, GDLC y PAR agradecen los apoyos brindados por COFFA y EDI del Instituto Politécnico Nacional. REM y SGA agradecen el apoyo brindado por el CONACYT para la realización de sus estudios de doctorado. A los biólogos Alejandro Nolasco-Orta y Ana Elsy Ulloa-Pérez, por su apoyo técnico en la investigación.

REFERENCIAS

- ACOSTA, V., L. FREITES & C. LODEIROS. 2000. Densidad Crecimiento Supervivencia de juveniles de *Lyropecten nodosus* (Pteroida: Pectinidae) en cultivo suspendido en el golfo de Cariaco. Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 48 (4): 799-806.
- AMADOR DEL ÁNGEL, L. E., P. CABRERA-RODRÍGUEZ, E. GUEVARA-CARRIÓN, L. E. MORENO, J. VIVEROS & A. DE LA CRUZ. 2003. Cultivo experimental del mejillón Curvo (*Ischadium recurvum*, Rafinesque 1820) en la Laguna de Términos, Campeche, México. II *Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura*: 245-251.
- AYALA-BALDENEGRO, L. 2004. Distribución de la concentración de metales pesados en sedimentos y su relación con organismos indicadores (*Crassostrea spp.* y *Mytella spp.*) en el sistema lagunar de Guasave, Sinaloa. IPN-CIIDIR-Sinaloa. México. 75 p.
- BAQUEIRO-CÁRDENAS, E. & D. ALDANA-ARANDA. 2003. Patrones en la biología poblacional de moluscos de importancia comercial en México. *Revista de Biología Tropical* 51(4): 97-107.
- BERTALANFFY, L.V. 1934. Untersuchungen über die gesetzmäßigkeiten des wachstums. 1. Allgemeine grundlagen der theorie. *Roux'Arch.-Entwicklungsmech* 131: 839-845.
- BREY, T. 2001. Population dynamics in benthic invertebrates. A virtual handbook. Version 0. 1.2. Available at: <http://www.thomas-brey.de/science/virtualhandbook> No. 2008. (Downloaded november 20th, 2011).
- BUSTOS E., H. ROBOTHAM, E. LARA & E. PACHECO. 1986. Edad y crecimiento de *Concholepas concholepas* y consideraciones de la ecuación de von Bertalanffy (Gasterópoda: Muricidae). *Investigación Pesquera* (33): 33-45

- CADENA-ROA, M. A. 1996. Cultivo de mejillón. In: Casas Valdez, M. & G. Ponce Díaz (Eds.). *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, B. C. S., México*. pp. 615-624.
- CHEUNG, S. G. 1993. Population dynamics and energy budgets of green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) in a polluted harbour. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 168: 1-24.
- CLAEREBOUT, M., D. BUREAU, J. COTÉ & J. HIMMELMAN. 1994. Fouling development and its effect on the growth of juvenile giant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. *Aquaculture* 121: 327-342.
- CÔTE, J. & J. HIMMELMAN. 1993. Influence of density and depth on the growth of juvenile giant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. *Aquaculture in the Baie des Chaleurs. Canadian Journal Fisheries Aquatic Science* 50: 1857-1869.
- DOMÍNGUEZ-OROZCO, A. L., A. M. GÓNGORA-GÓMEZ, N. P. MUÑOZ-SEVILLA, R. LONGORIA-ESPINOZA & D. C. ESCOBEDO-URÍAS. 2003. Concentración de metales pesados en sedimento marino y en tres poblaciones de almeja chocolata *Megapitaria squalida* en la costa norte y centro de Sinaloa, México. Segundo Foro Estatal de Ciencia y Tecnología. "Sinaloa, Competitividad para el Desarrollo sustentable". CONACYT-CECYT. 21-22 de Noviembre. Culiacán, Sinaloa.
- EMERSON C., J. GRANT, A. MALLET & C. CARVER. 1994. Growth and survival of sea scallops *Placopecten magellanicus*: effects of culture depth. *Marine Ecology Progress Series* 108: 119-132.
- ESTÉVEZ, J. & J. STUARDO. 1977. Aspectos generales de la Biología y Ecología del "mejillón de laguna" *Mytella strigata* (Hanley 1843) en dos lagunas costeras de Guerrero, México. *Anales del Instituto de Biología UNAM Serie Zoológica* 48 (1): 187-230.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). 1995. *Plantas e Invertebrados*. Guía para la identificación de especies para los fines de la pesca Pacífico Centro-Oriental. Volumen I. Roma, Italia. 646 p.
- FREITES L., J. CÔTE, J. HIMMELMAN & C. LODEIROS. 1999. Effects of wave action on the growth and survival of scallops *Euvola ziczac* and *Lyropecten nodosus* in suspended culture. *Journal Experiment Marine Biology Ecology* 239: 47-59.
- GUTIÉRREZ-GALINDO, E., R. FLORES, J. VILLAESCUSA & J. GONZÁLEZ. 1991. Metales pesados en tejido y en biodepositos sedimentarios del ostión *Crassostrea gigas* en la zona de cultivo de Bahía San Quintín, Baja California, México. *Investigaciones Marinas* 6 (1): 175-186.
- INSTITUTO NACIONAL DE GEOFÍSICA. 1987. *Tablas de Predicción de Mareas*, Puertos del Océano Pacífico. Datos Geofísicos Serie A, Oceanografía. Servicio Mareográfico Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. pp. 100-303.
- IZAGUIRRE-FIERRO, G., F. PÁEZ-OSUNA & I., OSUNA-LÓPEZ. 1990. Niveles de contaminación de metales pesados en el mejillón *Mytella strigata* (Mollusca, Pelecypoda) del estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. Resúmenes del VIII Congreso Nacional Oceanográfico. 34 p.
- JEFFREY, S. W & G. F. HUMPHREY. 1975. New spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c₁ and c₂. *Biochemistry Physiology* 167: 194-204.
- KANG, C., M. PARK, P. LEE, W. CHOI & W. LEE. 2003. Seasonal variations in conditions, reproductive activity, and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. *Journal Shellfish Research* 19: 771-778.
- LEE, S. Y. 1986. Growth and reproduction of the green mussel *Perna viridis* (L) (Bivalvia: Mytilacea) in contrasting environment in Hong Kong. *Asian Marine Biology* 3: 117-127.
- LEIGHTON, D. L. 1979. A growth prolific for the rock scallop *Hinnites multirugosus* held at several depths off La Jolla, California. *Marine Biology* 51: 229-232.
- LODEIROS, C. J. & J. H. HIMMELMAN. 1994. Relations among environmental conditions and growth in the tropical scallop *Euvola (pecten) ziczac* in suspended culture in the Golfo de Cariaco, Venezuela. *Aquaculture* 119: 345-358.
- LODEIROS, C., L. FREITES, M. NÚÑEZ & J. HIMMELMAN. 1993. Growth of the Caribbean scallop *Argopecten nucleus* (Born 1780) in suspended culture. *Journal of Shellfish Research* 12: 291-294.
- LOHR, S. L. 1999. *Muestreo: Diseño y Análisis*. International Thompson Editores. México, D. F. 480 p.
- LORDI, C. & P. COLLINS. 2004. Crecimiento de la Langosta *Cherax quadricarinatus* alimentadas con pellets utilizando harina del mejillón asiático invasor *Limnoperna fortunei*. *CIVA 2004*, pp. 654-661
- MACDONALD, B. & F. BOURNE. 1989. Growth, reproductive output, and energy partitioning in weathervane scallops *Patinopecten caurinus*, from British Columbia. *Canadian Journal Fisheries Aquatic Science* 44: 152-160
- MAGAÑA-ÁLVAREZ, M. 2004. Distribución de nutrientes y su efecto en el nivel trófico de la Laguna Macapule, Sinaloa. Tesis de Maestría. IPN-CIIDIR-Sinaloa. México. 105 p.
- MARAMBIO, J., S. MATURANA & B. CAMPOS. 2012. Modelo dinámico de crecimiento de la biomasa para *Mytilus chilensis* en sistemas de cultivo en líneas. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47 (1): 51-64.
- NARASIMHAN, K. A. 1980. Fishery and biology of the green mussel *Perna viridis* (L) In: Nayar, K. N., S. Mahadevan, K. Alagarwami, P. T. M. Sundaram (Eds.). *Coastal Aquaculture*. Mussel Far Institute. Cochin, India. pp. 10-17.
- NARVÁEZ, M., L. FREITES, J. MENDOZA & M. GUEVARA. 2009. Influence of spat origin and environmental parameters on biochemical composition and biometry of the brown mussel *Perna perna* (Linné, 1758), under culture conditions. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44 (2): 343-355.

- OSUNA-LÓPEZ, J. I., M. G. FRÍAS-ESPERICUETA, G. LÓPEZ-LÓPEZ, H. M. ZAZUETA-PADILLA, G. IZAGUIRRE-FIERRO, F. PÁEZ-OSUNA, A. C. RUIZ-FERNÁNDEZ & D. VOLTOLINA. 2009. Cd, Pb and organochlorine pesticides of *Mytella strigata* (Pelecypoda: Mytilidae) of six coastal lagoons of NW Mexico. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 38 (2): 233-239.
- PÁEZ-OSUNA, F. 1991. *Trace metals in Bivalves from Navachiste Lagoon, México*. Ed. E. H. Halminton, Gran Bretaña. pp. 305-307.
- PARSONS, J. & M. DADSWELL. 1992. Effect of stocking density on growth, production, and survival of the giant scallops, *Placopecten magellanicus*, held in intermediate suspension culture in Passamaquoddy Bay, New Brunswick. *Aquaculture* 103: 291-309
- PEMPKOWIAK, J., A. SIKORA & E. BIERNACKA. 1999. Speciation of heavy metals in marine sediment vs. their bioaccumulation by mussels. *Chemosphere* 39 (2): 313-321.
- RAJAGOPAL, S., V. VENUGOPALAN, K. NAIR, G. VAN DER VELDE & H. A. JENNER. 1998. Settlement and growth of the green mussel *Perna viridis* (L) in coastal waters: influence of water velocity. *Aquatic Ecology* 32: 313-322.
- RUIZ-SUÁREZ, A. 1984. Técnicas para la cría y engorde del mejillón *Mytella guyanensis*. Tesis de Licenciatura. ESPOL-CENAIM. Ecuador. 70 p.
- SEGOVIA-ZAVALA, J. A., F. DELGADILLO-HINOJOSA, R. VIDAL-TALAMANTES, A. MUÑOZ-BARBOSA & E. A. GUTIÉRREZ-GALINDO. 2003. *Mytilus californianus* trasplantados como bioindicadores de surgencias a dos zonas en Baja California, México. *Ciencias Marinas* 29 (4): 665-675.
- SERRANO-CASILLAS, G. 2004. Crecimiento y supervivencia de la almeja catarina *Argopecten ventricosus* (Sowerby II, 1842), bajo condiciones de cultivo en suspensión y fondo en Bahía Concepción, B.C.S. México. Tesis de Maestría. B.C.S. México, 164 p.
- SEVILLA-HERNÁNDEZ, M. L. 1993. *Las ostras de México: Aspectos básicos para su cultivo*. Ed. LIMUSA. México, D. F. 165 p.
- SIBAJA, W. G. 1985. Dimensiones de la concha del mejillón *Mytella strigata* Hanley (Bivalvia: Mytilidae), de la playa de Lepanto, Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 33 (1): 59-60.
- SICARD-GONZÁLEZ, M. T. 1999. Temperatura letal superior y temperatura optima en una población de almeja Catarina (*Argopecten ventricosus-circularis*, Sowerby II, 1842). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S. México. 99 p.
- SOTO-JIMÉNEZ, M., F. PÁEZ-OSUNA & F. MORALES-HERNÁNDEZ. 2001. Selected trace metals in oysters (*Crassostrea iridescens*) and sediment from the discharge zone of submarine sewage outfall in Mazatlan Bay (southeast Gulf of California): chemical fractions and bioaccumulation factors. *Environmental Pollution* 114 (3): 357-370.
- SPARRE, P. & S. C. VENEMA. 1995. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. Parte 1: Manual, FAO Fish Technical Paper, No. 306.1. Rome. 376 p.
- STRICKLAND, J. D. H. & T. R. PARSONS. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada. 310 p.
- VAKILY, J. 1989. The biology and culture of mussel of the genus *Perna*. Studies and Review N° 17. International Center for Living Aquatic Resources Management. Manila, Philippines. 63 p.
- WIDMAN, J. & E. RHODES. 1991. Nursery culture of the bay scallop, *Argopecten irradians irradians*, in suspended mesh nets. *Aquaculture* 99: 257-267.
- XIAO, J., S. FORD, H. YANG, F. ZHANG & X. GUO. 2005. Studies on mass summer mortality of cultured zhikong scallops (*Chlamys farreri* Jones et Preston) in China. *Aquaculture* 250: 602-615.
- ZAMORA, S. L. 1990. Estudios preliminares de crecimiento del langostino *Macrobrachium rosenbergii* con alimentación a base de mejillón estuarino *Brachiodontes recurvus* en tinas de plástico con recirculación. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico del Mar. Boca del Río, Veracruz, México. 64 p.
- ZAR, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall. 663 p.
- ZEFER, S. P. & J. GELDON. 1998. Distribution and association of trace metals in soft tissue and byssus of *Mytella strigata* and other benthic organisms from Mazatlan harbour, mangrove lagoon of the Northwest coast of México. *Environmental International* 24: 359-374.

Recibido: 23 de mayo de 2012.

Aceptado: 18 de junio de 2013.