

*Research Article*

## **Evaluación del potencial reproductivo del chorito (*Mytilus chilensis*) de dos poblaciones naturales sometidas a diferentes temperaturas de acondicionamiento**

**Luis Lagos<sup>1,2,4</sup>, Iker Uriarte<sup>1,2</sup> & Gabriel Yany<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>CIEN Austral, Puerto Montt, Chile

<sup>2</sup>Hatchery de Invertebrados Marinos, Instituto de Acuicultura  
Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile

<sup>3</sup>Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, P.O. Box 1020, Valparaíso, Chile

<sup>4</sup>Programa de Doctorado en Acuicultura, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Valparaíso, P.O. Box 1020, Chile

**RESUMEN.** *Mytilus chilensis* tiene ciclos reproductivos que varían latitudinalmente. Presenta reducida diferenciación genética y morfológica debido a un gran potencial de dispersión. Se acondicionaron reproductores de bahía Yaldad (Chiloé) y bahía Zenteno (Punta Arenas) a  $9 \pm 0,5^\circ\text{C}$  y  $15 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , alimentados con dieta (1:1) de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros neogracile*. Se espera dilucidar si el acondicionamiento a diferentes temperaturas produce variaciones en el potencial reproductivo de las poblaciones. El menor desarrollo gonadal se produjo en los reproductores acondicionados a  $9^\circ\text{C}$ , mientras que el mayor se produjo en los reproductores acondicionados a  $15^\circ\text{C}$  provenientes de Chiloé. La fecundidad de los reproductores de Yaldad fue mayor que los de Zenteno. El diámetro de los ovocitos fue mayor en los reproductores de Zenteno y en ambas poblaciones fue mayor a  $9^\circ\text{C}$ . Ni el porcentaje de huevos fecundados ni el porcentaje de eclosión de larvas D mostraron diferencias significativas entre las poblaciones a ninguna de las temperaturas de acondicionamiento. De acuerdo con estos resultados, no se logra establecer diferencias en el potencial reproductivo en las poblaciones y bajo las condiciones de este estudio.

**Palabras clave:** acondicionamiento, mitílidos, potencial reproductivo, temperatura, índice de condición, Chile.

## **Assessment of the reproductive potential of the mussel (*Mytilus chilensis*) from two natural populations subjected to different conditioning temperatures**

**ABSTRACT.** The reproductive cycles of *Mytilus chilensis* vary latitudinally. This species has reduced genetic and morphological differentiation due to its high potential for dispersal. Broodstocks from Yaldad Bay (Chiloé) and Zenteno Bay (Punta Arenas) were conditioned at  $9 \pm 0.5^\circ\text{C}$  and  $15 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , and were fed a diet (1:1) of *Isochrysis galbana* and *Chaetoceros neogracile*. We expected to determine whether conditioning at different temperatures produces changes in the reproductive potential of the populations. Gonadal development was lowest in the broodstocks conditioned at  $9^\circ\text{C}$ , and highest in those conditioned at  $15^\circ\text{C}$ , from Chiloé. Fertility was greater in broodstocks from Yaldad than in those from Zenteno. Oocyte diameter was greater in broodstocks from Zenteno, and both populations showed larger diameters at  $9^\circ\text{C}$ . Neither the percentage of fertilized eggs nor the percentage of larvae hatching differed significantly between populations at either conditioning temperature. Therefore, it was not possible to establish differences in the reproductive potential of the populations under the conditions studied herein.

**Keywords:** conditioning, mytilids, reproductive potential, temperature, conditioning index, Chile.

## INTRODUCCIÓN

La especie *Mytilus chilensis* (Hupé, 1854) es una de las más importantes para la acuicultura en Chile y ha incrementado su desembarque de 3.352 ton en 1992 a 175.728 ton en el 2009 (FAO, 2010). Este aumento se debe al mayor número de concesiones de la superficie productiva e industrialización de los cultivos (Rojas, 2003; Toro *et al.*, 2008). El recurso se extiende en la costa chilena desde Arica hasta Tierra del Fuego (Osorio, 1979; Lancellotti & Vásquez, 2000). Ocupa sustratos duros desde el intermareal hasta 25 m de profundidad (Rojas, 2003; Krapivka *et al.*, 2007). Posee sexos separados (Rojas, 2003), con un ciclo reproductivo anual y desoves en primavera y verano (Toro *et al.*, 2004a), con máximo desove en noviembre y diciembre. Dado el ciclo de vida, esta especie tiene un potencial de dispersión de cientos de kilómetros. Posee muy baja diferenciación genética y morfológica a lo largo de casi 1900 km de línea de costa, entre Arauco y Punta Arenas, salvo una leve diferenciación en la población austral (Toro *et al.*, 2004a, 2004b, 2006). Esta población está aislada por el flujo de vientos del oeste y la corriente del Cabo de Hornos (Krapivka *et al.*, 2007), lo cual explicaría esta diferenciación como ocurre con otras especies del género *Mytilus* del hemisferio norte, donde se ha reportado variación a causa de efectos geográficos (Gardner & Thompson, 2009).

Dada la gran extensión latitudinal en que se encuentran las poblaciones de *M. chilensis*, sus ciclos reproductivos varían en extensión y temporada de desove (Rojas, 2003; Toro *et al.*, 2008), lo que concuerda con lo observado en otros bivalvos (Avellanal *et al.*, 2002; Magnesen & Christophersen, 2008). Estas diferencias podrían utilizarse en la producción de semilla en hatchery como alternativa a la captación natural de semilla que se realiza en la miticultura.

La producción en hatchery tiene ventajas comparativas tales como la desestacionalización de la producción y la posibilidad de mejorar la calidad de la semilla. Lograr un acondicionamiento intensivo permite aumentar la producción larval, reducir los costos y acortar el tiempo de cultivo (Magnesen & Christophersen, 2008). Por ello, conocer las características de las poblaciones naturales y su desempeño en condiciones controladas permitiría seleccionar los reproductores y temperaturas de cultivo necesarios para optimizar la producción. La investigación propuesta pretende contribuir al conocimiento sobre el potencial reproductivo de dos poblaciones de *M. chilensis* de la costa chilena, situadas en bahía Yaldad (Chiloé) y bahía Zenteno (Punta Arenas). Para ello se

evaluó este potencial, a dos temperaturas de acondicionamiento, en términos de fecundidad, fertilidad, diámetro de ovocitos, portentaje de fertilización y supervivencia a eclosión de larvas D. Se espera identificar la población de reproductores que ofrezca mejores condiciones para la producción intensiva de semilla de chorito, a determinada temperatura de acondicionamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

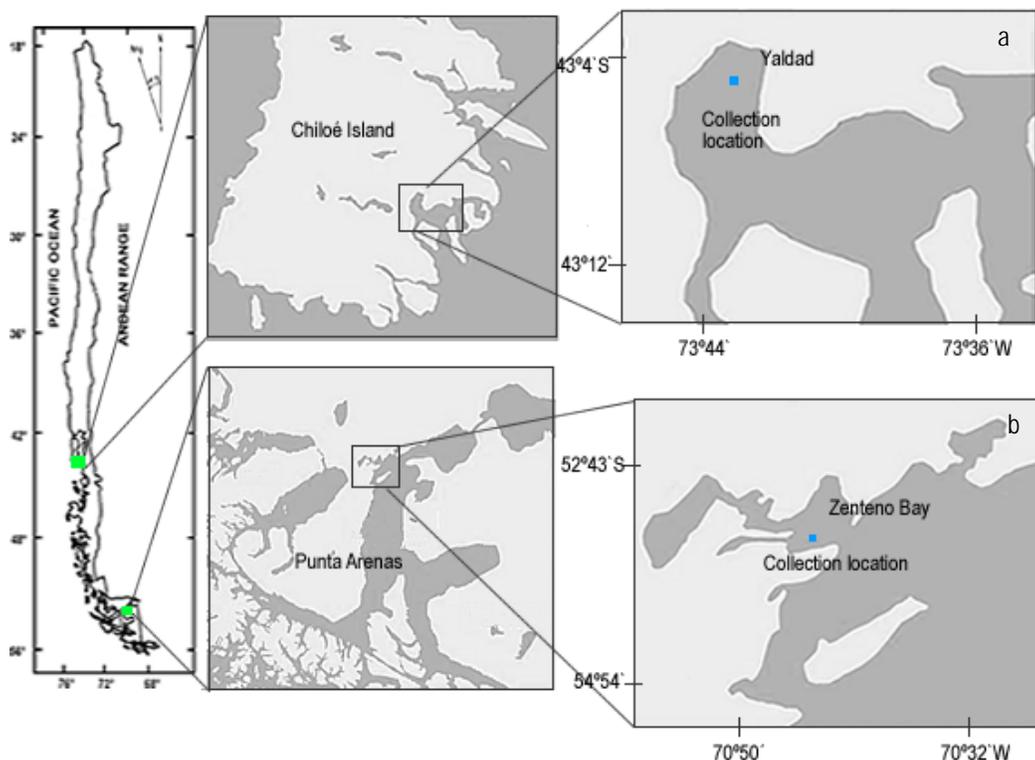
En bancos naturales de *Mytilus chilensis*, localizados en bahía Yaldad, Chiloé (43°50'24"S, 73°30'5"W) y bahía Zenteno, Punta Arenas (52°46'57"S, 70°47'4"W) se recolectaron 200 ejemplares en cada localidad, los que fueron trasladados al Hatchery de Invertebrados Marinos de la Universidad Austral de Chile, sector Pelluco, Campus Puerto Montt (Fig. 1). Una vez en el laboratorio, los reproductores fueron aclimatados e inmediatamente inducidos al desove para igualar el estado de desarrollo gonadal, al estado 0. Posteriormente, se marcaron 96 reproductores desovados de cada población, 48 se acondicionaron a  $9 \pm 1^\circ\text{C}$  y 48 a  $15 \pm 1^\circ\text{C}$ , temperaturas que corresponden al promedio de la época de desove en la latitud de cada población. En cada tratamiento térmico se utilizaron seis estanques de 35 L, cada uno con 8 reproductores de cada población. El agua de mar utilizada fue filtrada a 20  $\mu\text{m}$ , con recambios cada 24 h y aireación constante. Los reproductores fueron alimentados por goteo, durante 12 h diarias, con microalgas en una proporción 1:1 de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros neogracile* a ración total diaria de 400.000 cél  $\text{mL}^{-1}$ .

Al inicio del acondicionamiento y cada 21 días, por tratamiento térmico y población, se midieron y pesaron los ejemplares para evaluar el Índice de Condición (IC) según la fórmula:

$$\text{IC} = \text{W L}^{-3}$$

donde, IC = índice de condición, W = peso (g) total vivo de los individuos y L = longitud máxima (cm).

También cada 21 días se sacrificaron cinco ejemplares por cada tratamiento para evaluar el estado de desarrollo gonadal mediante histología; para lo cual se incluyó una sección central de la gónada en parafina, seguido de corte y aplicación de tinción hematosina-eosina, según el procedimiento descrito por Oyarzún *et al.* (2010). Los cortes histológicos obtenidos fueron fotografiados con una cámara Canon G 10, con aumento 5x, sobre una lupa Zeiss modelo Stemi 2000-C para su clasificación y evaluación del desarrollo gonadal utilizando la escala dada por Rojas (2003) (Fig. 2).



**Figura 1.** Localidades de recolección de ejemplares de *M. chilensis*. a) bahía Yaldad, Chiloé, b) bahía Zenteno, Punta Arenas.

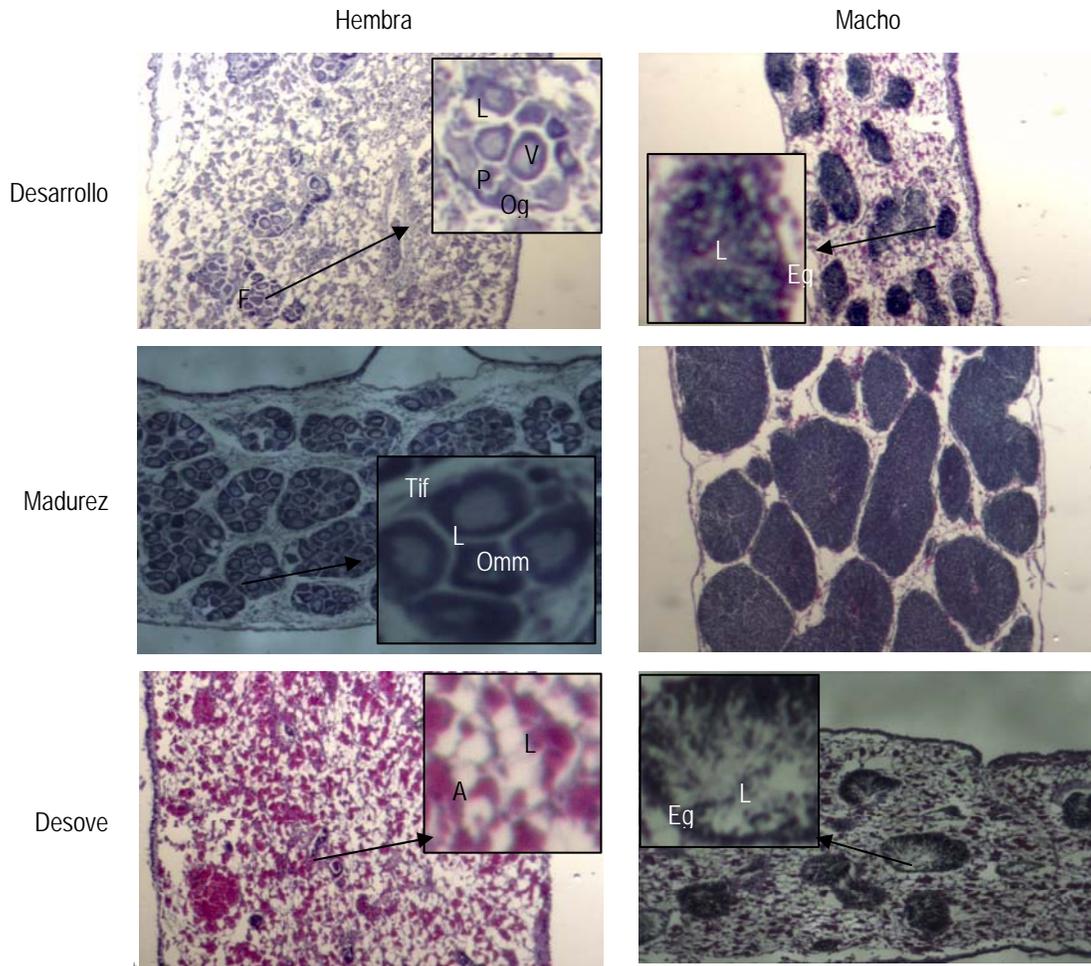
**Figure 1.** Collection locations of *M. chilensis*. a) Yaldad bay, Chiloé, b) Zenteno bay, Punta Arenas.

Transcurridas 10 semanas a  $9 \pm 1^\circ\text{C}$  y 8 semanas de acondicionamiento a  $15 \pm 1^\circ\text{C}$ , se procedió a desovar los ejemplares mediante la técnica de shock térmico, colocando cada ejemplar en recipientes de 1 L de capacidad con agua de mar filtrada y esterilizada con luz ultravioleta. Una vez obtenidos los gametos, se evaluó para cada hembra desovada, la fecundidad (promedio del número total de ovocitos de cinco muestras) y diámetro de ovocitos. Las mediciones del diámetro se realizaron en 100 ovocitos por hembra, fotografiados con una cámara Canon G 10 con un aumento de 5x sobre una lupa ZEISS modelo Stemi 2000-C. Posteriormente, las fotos se midieron con el programa Axio Vision 4.0 de Carl Zeiss.

Los ovocitos de cada hembra se fertilizaron con una solución de espermatozoides de varios machos desovados de la misma población y tratamiento térmico, calculándose el porcentaje de fertilización obtenido (promedio de ovocitos fecundados de cinco muestras). Los ovocitos fertilizados se mezclaron por cada población y temperatura, incubándose cada tratamiento en un estanque de 500 L con agua de mar esterilizada y aireación leve. Tras 48 h, se filtraron los

estanques con un tamiz de  $35 \mu\text{m}$ , concentrándose las larvas en 5 L de agua de mar y se calculó el porcentaje promedio de supervivencia de larvas D eclosionadas (5 muestras de cada estanque) para cada población y temperatura en base a la cantidad de ovocitos fertilizados de cada población.

Para el análisis estadístico de cada resultado, se comprobó la distribución normal de los datos (Test Kolmogorov-Smirnov) y la determinación de la homogeneidad de varianza (Test Levene). Para los resultados del incremento del IC se procedió a la transformación  $1/X$  de los datos para que se cumpliera el criterio de homogeneidad de varianza requerido. Posteriormente se realizó un análisis estadístico de varianza ANOVA de dos vías para cada resultado (variables independientes: población y temperatura y dependientes: incremento del IC, fecundidad, diámetro de ovocitos, % de fertilización y % eclosión de larvas D), con un nivel de significancia  $P < 0,05$ . Finalmente se realizó una prueba de comparaciones múltiples Tukey, mediante el programa computacional Statistica 7.0 de Statsoft Inc.



**Figura 2.** Estados de desarrollo gametogénico según Rojas (2003). F: folículo, L: lumen, V: ovocito vitelogénico libre en el lumen, P: ovocito previtelogénico, Og: ovogonia, Eg: espermatogonia, E: espermátida, Om: ovocito maduro, Tif: tejido interfollicular, A: amebocitos (5x).

**Figure 2.** Stages of gonadal development by Rojas (2003). F: follicle L: lumen, V: free oocytes in the lumen, P: previtellogenic oocyte, Og: oogonium, Eg: spermatogonium, E: spermatid, Om: mature oocyte, Tif: interfollicular tissue, A: amebocyte (5x).

## RESULTADOS

Los ejemplares de cada población y tratamiento térmico mostraron un incremento en el Índice de Condición (IC) El incremento promedio de de cada grupo se grafica en la Fig. 3. El incremento en los ejemplares de la población de Yaldad varió entre 0,2 y 39,6% a 9°C y entre 0,3 y 12,4% a 15°C. En la población de Zenteno varió entre 0,2 y 30,0% a 9°C y entre 0,3 y 18,9% a 15°C, observándose mayor variación a menor temperatura en ambas poblaciones Tanto los ejemplares de bahía Zenteno como los de bahía Yaldad mostraron mayor porcentaje de incremento promedio a 9°C. La población de Zenteno

mostró mayor porcentaje de incremento que la población de Yaldad a ambas temperaturas. Por otra parte, se observó que la población de Zenteno disminuyó su porcentaje de incremento cuando fue sometida a temperaturas superiores a las de su medio normal, en cambio la de Yaldad aumentó el porcentaje de incremento cuando fue sometida a temperaturas inferiores a la de su ambiente normal (Tabla 1).

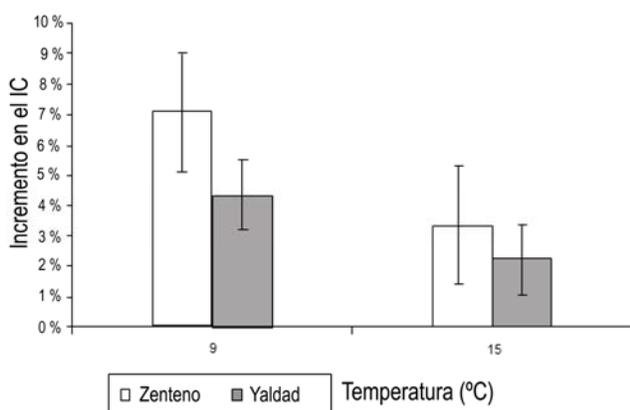
Los reproductores de cada población lograron mediante el acondicionamiento en ambas temperaturas un avanzado desarrollo gametogénico. (Fig. 4). Para el caso de los ejemplares de Yaldad, el porcentaje de individuos en estado de maduración llegó solo al 50% a 9°C, al completarse 86 días de acondicionamiento, a

**Tabla 1.** Índice de Condición (IC) de reproductores de *M. chilensis* de bahía Yaldad y bahía Zenteno acondicionados a 9° y 15°C.

**Table 1.** Condition Index (IC) of *M. chilensis* broodstocks from Yaldad and Zenteno, conditioning at 9° and 15°C.

Población	Bahía Yaldad		Bahía Zenteno	
	9°C	15°C	9°C	15°C
Promedio IC final	0,0098	0,0115	0,0088	0,0098
% Promedio de incremento del IC	4,37	2,21*	7,07*	3,30

\* diferencia significativa  $P < 0,05$

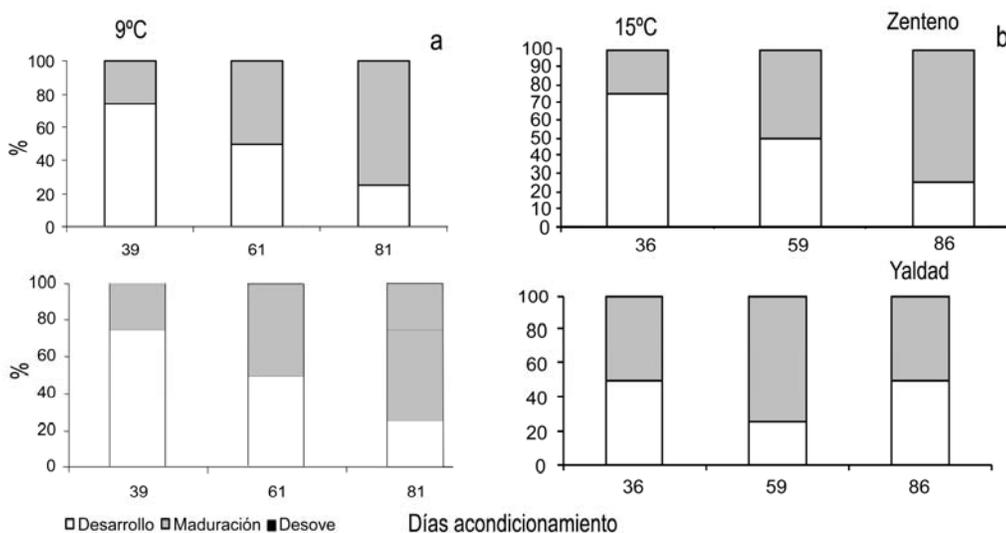


**Figura 3.** Incremento promedio (%) del IC en dos poblaciones de *M. chilensis* acondicionadas a 9°C y 15°C.

**Figure 3.** Average increase (%) in IC in two populations of *M. chilensis* conditioned to 9°C and 15°C.

diferencia del casi 80% que se logra a 15°C a los 81 días de acondicionamiento. Para el caso de los ejemplares de Zenteno no se observan diferencias en el porcentaje de maduros el cual llega a casi 80% en ambas temperaturas. Solo que con una semana de adelanto en el caso de la mayor temperatura. La población de Yaldad presentó además a 15°C un 25% de ejemplares en estado de desove a los 81 días de acondicionamiento.

La fecundidad de las hembras de la población de Yaldad varió entre  $2,48 \times 10^6$  y  $6,55 \times 10^6$  ovocitos/hembra a 9°C y entre  $2,38 \times 10^5$  y  $2,66 \times 10^6$  a 15°C. Para la población de Zenteno varió entre  $5,3 \times 10^5$  y  $3,48 \times 10^6$  a 9°C y entre  $7,33 \times 10^5$  y  $3,87 \times 10^6$  ovocitos/hembra a 15°C. El promedio de ovocitos totales fue mayor (Tukey  $F = 6,55669$ ,  $P < 0,05$ ) en los ejemplares de origen Yaldad que en los de Zenteno en ambas temperaturas de estudio (Tabla 2, Fig. 5).



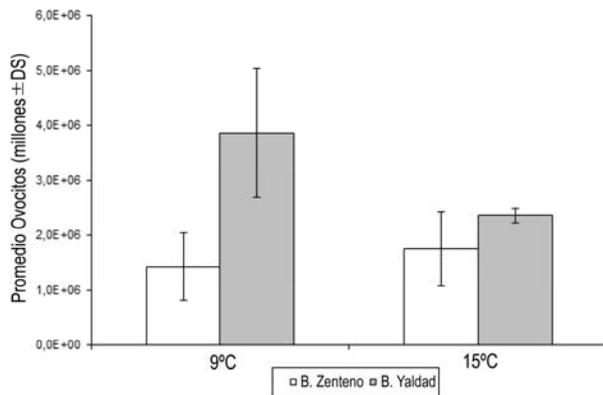
**Figura 4.** Frecuencia de los estados de maduración en dos poblaciones de *M. chilensis* acondicionadas a 9°C y 15°C.

**Figure 4.** Frequency of stages of maturity in two populations of *M. chilensis* conditioned at 9°C and 15°C.

**Tabla 2.** Comparación del potencial reproductivo de reproductores desovados de Yaldad y Zenteno acondicionados a 9° y 15°C. \*Diferencia significativa ( $P < 0,05$ ).

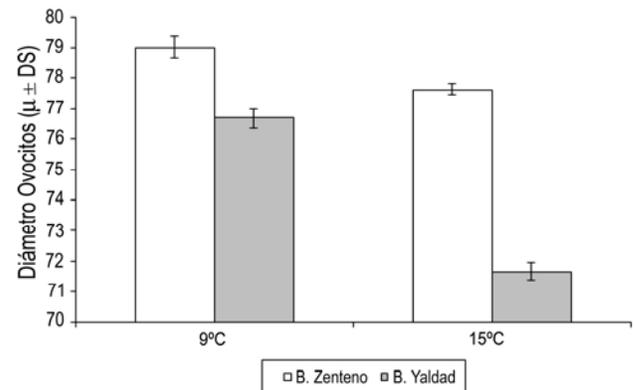
**Table 2.** Comparison of the reproductive potential of broodstocks spawned Yaldad and Zenteno origins, conditioning at 9° and 15°C. \*Significant difference ( $P < 0.05$ ).

Población	Bahía Yaldad		Bahía Zenteno	
	9°C	15°C	9°C	15°C
Promedio ovocitos totales hembra	4.609.841*	2.093.250*	1.430.483 <sup>ab</sup>	1.830.625*
Promedio diámetro de ovocitos	76,68 <sup>c</sup>	71,68 <sup>d</sup>	79,0 <sup>a</sup>	77,63*
Promedio % fertilización	65,52	63,68	75,72	64,57
Promedio % supervivencia larva D	62,39 <sup>a</sup>	96,39*	81,83*	79,3*



**Figura 5.** Fecundidad hembras *M. chilensis* de dos orígenes acondicionados a dos temperaturas diferentes.

**Figure 5.** Fertility of *M. chilensis* females from two origins conditioned at two different temperatures.



**Figura 6.** Diámetro de ovocitos de *M. chilensis* de dos orígenes acondicionadas a dos temperaturas diferentes.

**Figure 6.** Oocyte diameter of *M. chilensis* from two origins conditioning at two different temperatures.

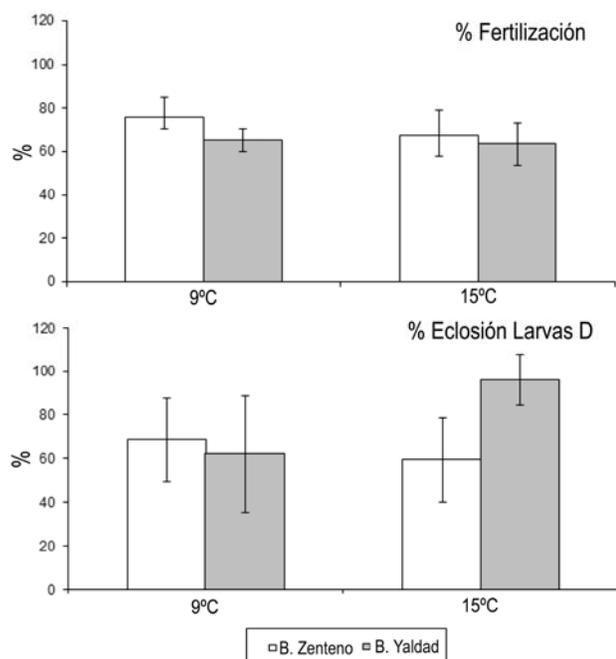
El diámetro de los ovocitos obtenidos de la población de Yaldad varió entre 76,06 y 77,3 μm a 9°C y entre 71,09 y 72,27 μm a 15°C. En la población de Zenteno, la variación fue entre 78,28 y 79,71 μm a 9°C y entre 77,26 y 77,99 μm a 15°C. El diámetro promedio de ovocitos mostró diferencias significativas entre poblaciones siendo inferior (Tukey  $F = 192,10$ ;  $P < 0,05$ ) en los ejemplares de Yaldad con respecto a los de Zenteno. Cuando se comparan ambas temperaturas se encuentra un diámetro menor (Tukey  $F = 114,04$ ;  $P < 0,05$ ) a 15°C (Tabla 2, Fig. 6).

El porcentaje de fertilización obtenido en la población de Yaldad varió entre 54 y 80% a 9°C y entre 42,4 y 83,7% a 15°C. En la población de Zenteno varió entre 44,6 y 94% a 9°C y entre 32,5 y 91,97% a 15°C. El promedio de fertilización entre poblaciones y temperaturas no mostró diferencias significativas (ANOVA,  $P > 0,05$ ) (Tabla 2), aunque existe una tendencia a obtener mejor % de fertilización en los ejemplares de Zenteno a ambas temperaturas (Fig. 7).

La supervivencia a eclosión de larvas D en la población de Yaldad varió entre 48,2 y 76,5% a 9°C y entre 84,2 y 99,4% a 15°C. En la población de Zenteno, la variación fue entre 67,6 y 99,6% a 9°C y entre 57,5 y 99,8% a 15°C. No existieron diferencias significativas (ANOVA,  $P > 0,05$ ) en el porcentaje de supervivencia promedio de larvas D tempranas eclosionadas entre poblaciones ni temperaturas (Tabla 2, Fig. 7).

## DISCUSIÓN

El Índice de Condición (IC) utilizado en el presente estudio para evaluar el acondicionamiento es similar al utilizado por Boscolo *et al.* (2003) pero con la ventaja que no requiere el sacrificar al animal para su cálculo. Por otro parte, este índice puede presentar problemas cuando se comparan especímenes de diferente procedencia, puesto que se pueden encontrar diferencias en sus características como es el caso de *M. chilensis*, que presenta un mayor longitud relativa en la población de Zenteno (Krapivka *et al.*, 2007).



**Figura 7.** Porcentaje de fertilización y eclosión de larvas D de *M. chilensis* de dos orígenes acondicionadas a dos temperaturas diferentes.

**Figure 7.** Percentage of fertilization and hatching of larvae D of *M. chilensis* from two origins conditioned at two different temperatures.

Este problema se solucionó comparando el incremento del IC contra los mismos ejemplares iniciales, en cada población y temperatura, evitando así problemas derivados de la distinta procedencia de los grupos estudiados al momento del análisis.

Se asumió, como base para el cálculo del IC y el posterior análisis, que el crecimiento de las partes blandas del animal durante el acondicionamiento se debe principalmente a la formación de la gónada, por lo que un incremento en el IC indicaría un aumento de ella. Los ejemplares de ambas poblaciones tuvieron un mayor incremento en el IC a 9°C. Esto concuerda con lo descrito para otros organismos, pertenecientes a altas latitudes, que aumentan la gametogénesis como estrategia de compensación a las adversas condiciones ambientales (Yamahira & Conover, 2002; Kokita, 2003). También Bayne (1976), indicó que los mitílidos pertenecientes a poblaciones de altas latitudes limitan sus desoves a una breve temporada más cálida y con mayor disponibilidad de alimento para la descendencia.

El análisis cualitativo aportado por la histología concuerda con los resultados del IC, mostrando que los reproductores de ambas poblaciones de *M. chilensis*, generaron desarrollo gametogénico a temperaturas distintas a las existentes en sus respectivas

latitudes, pero con diferencias en su grado de maduración, posiblemente como consecuencia de su adaptación a las condiciones locales. Así, los ejemplares reproductores de la población de Yaldad, forzados a acondicionarse a una temperatura similar a la de Zenteno (condición desfavorable *versus* la presente en su lugar de origen), mostraron el menor porcentaje de individuos en estado de maduración, pese a lograr un mayor incremento en el IC que los acondicionados a 15°C. Esto indicaría un mayor stress durante el acondicionamiento, o bien una respuesta negativa de la tasa de ingestión a la temperatura. Sin embargo, a temperatura similar a la que le es propia, los individuos de Yaldad lograron el desarrollo gametogénico más avanzado, incluso con la presencia de desoves espontáneos no detectados, como lo demuestra la existencia de un 25% de individuos en estado de desove. Los ejemplares reproductores de la población de Zenteno alcanzaron prácticamente al mismo porcentaje de individuos en maduración tanto a 9°C como a 15°C, lo que muestra que acondicionados a una temperatura superior a la que les es propia, los individuos lograron adaptarse y desarrollar gametogénesis, aunque no en grado mayor a su condición de origen. Ello coincide con lo indicado por Fearman & Moltchanswisky (2010), quienes encontraron que temperaturas más cálidas limitan la tasa de maduración de *M. galloprovincialis*. Estos resultados pueden favorecer a la miticultura al aumentar la flexibilidad del productor al momento de decidir la elección de reproductores y temperatura para comenzar el acondicionamiento.

En términos del potencial reproductivo de ambas poblaciones de *M. chilensis*, lo esperado era que la fecundidad fuera menor o disminuyera a 9°C con respecto a 15°C de acuerdo con lo observado por Magnesen & Christophersen (2008), aumentando el diámetro de los ovocitos (Fearman & Moltchanswisky, 2010). Dicho patrón se cumplió en los ejemplares de Zenteno, cuya fecundidad fue en ambas temperaturas inferior y el diámetro de sus ovocitos fue siempre mayor que los ejemplares de Yaldad. Sin embargo, la población de Yaldad presentó un mayor promedio de fecundidad y mayor diámetro promedio de ovocitos a 9°C. Los resultados encontrados en esta población, no así en la de Zenteno, son contrarios a lo expresado para otros bivalvos, en los cuales ovocitos de mayor tamaño indicarían una mayor velocidad de maduración (O'Connor, 2002, Martínez & Pérez, 2003; Fearman & Moltchanswisky, 2010). La razón de esta diferencia podría encontrarse en variables no medidas en el presente estudio, como la historia reproductiva de los ejemplares, una mayor incidencia de un efecto genético por vía maternal o una combinación de

ambas. Este resultado deberá ser puesto a prueba en siguientes estudios.

Los resultados obtenidos no mostraron diferencias en el porcentaje de fertilización, ni entre poblaciones ni entre temperaturas. Esta situación, concuerda con lo indicado para *M. galloprovincialis* por Fearman & Moltschanswisky (2010) e indicaría que la estrategia reproductiva de los ejemplares de *M. chilensis* ha compensado, al momento del desove, las distintas situaciones ambientales del acondicionamiento. Sin embargo, respecto del porcentaje de supervivencia a eclosión de larvas D, se observó que los individuos pertenecientes a Yaldad presentaron el mayor desempeño a 15°C y el menor, a 9°C. Por su parte, los individuos de Zenteno logran valores similares a ambas temperaturas.

En general, es sabido que ovocitos de mayor tamaño tienen mejor supervivencia al estado de larva (Kraeuter *et al.*, 1982; DiSalvo *et al.*, 1984; Castelli, 2000). En este estudio los ejemplares de ambas poblaciones estudiadas difieren de lo señalado, encontrándose que los ovocitos de menor diámetro provenientes de individuos de Yaldad aclimatados a 15°C tienen la mayor supervivencia y, esto se explicaría por que dicho rango térmico es similar al presente en su origen latitudinal, lo que junto a otras variables, ya comentadas anteriormente, estarían dando este resultado. Por su parte, los individuos provenientes de Zenteno generaron ovocitos de menor diámetro a 15°C pero presentaron similares resultados de supervivencia a ambas temperaturas. Esto se asociaría a que estos ejemplares mantuvieron valores similares de desarrollo gametogénico durante los acondicionamientos a ambas temperaturas y tendría relación con una más rápida adaptación a las condiciones ambientales durante el estudio. Pese a lo anterior, los resultados de supervivencia de larvas D se encuentran dentro del rango superior del reportado por otros estudios (Beaumont *et al.*, 1993, Martínez & Pérez, 2003; Pronker *et al.*, 2008; Fearman & Moltschanswisky, 2010).

Los resultados de esta investigación indican que pese a la diferenciación existente en bancos naturales de *M. chilensis* separados por nueve grados de latitud, estas poblaciones no presentaron diferencias significativas en su potencial reproductivo. Lo anterior, permite sugerir que para optimizar la producción larval de *M. chilensis* en hatchery, se debería recolectar reproductores en distintos periodos del año en bancos naturales separados latitudinalmente y así desfazar la producción de larvas (Magnesen & Christophersen, 2008; Matías *et al.*, 2009; Chávez-Villalba *et al.*, 2002). También, según se requiera, es posible utilizar cualquier combinación de población y temperatura para optimizar la producción larval.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento que hizo posible esta investigación, realizado por el proyecto Innova-CORFO 07CN13PPD- 240, CIEN Austral y el patrocinio de CONICYT. Además se agradece al personal del Hatchery de Cultivos Marinos de la Universidad Austral de Chile.

## REFERENCIAS

- Avellanal, M., E. Jaramillo, E. Clasing, P. Duijon & H. Contreras. 2002. Reproductive cycle of the bivalves *Ensis macha* (Molina, 1782) (Solenidae), *Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818) (Solecurtidae) and *Mulinia edulis* (King, 1831) (Mactridae) in southern Chile. *Veliger*, 45(1): 33-44.
- Bayne, B.L. 1976. Marine mussels: their ecology and physiology. Cambridge University Press, Cambridge, 506 pp.
- Beaumont, A.R., A.K.M. Abdul-Matin & R. Seed. 1993. Early development, survival and growth in pure and hybrid larvae of *Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis*. *J. Molluscan Stud.*, 56: 120-123.
- Boscolo, R., M. Cornello & G. Otello. 2003. Condition index and air survival time to compare three kinds of Manila clam *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve) farming systems. *Aquacult. Int.*, 11: 243-254.
- Castelli, S. 2000. Mejoramiento de la fijación larval del ostión del norte (*Argopecten purpuratus*), empleando inducciones físico-biológicas para el asentamiento larval. Tesis de Ingeniería Pesquera, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 48 pp.
- Chávez-Villalba, J., J. Pommier, J. Andriamiseza, S. Pouvreau, J. Barret, J.C. Cochard & M. Le Pennec. 2002. Broodstock conditioning of the oyster *Crassostrea gigas*: origin and temperature effect. *Aquaculture*, 214: 115-130.
- DiSalvo, L., E. Alarcón, E. Martínez & E. Uribe. 1984. Progress in mass culture of *Chlamys (Argopecten) purpurata* Lamarck (1819) with notes on its natural history. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 57: 35-45.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. Fishery Information, Data and Statistics Unit FISHSTAT Plus: Universal software for fishery statistical time series. Dataset: Aquaculture production: quantities, pp. 1970-2008.
- Fearman, J. & N.A. Moltschanswisky. 2010. Warmer temperatures reduce rates of gametogenesis in temperate mussels, *Mytilus galloprovincialis*. *Aquaculture*, 305: 20-25.
- Gardner, J.P. & R.J. Thompson. 2009. Influence of genotype and geography on shell shape and morphometric trait variation among North Atlantic

- blue mussel (*Mytilus* spp.) populations. Biol. J. Linn. Soc., 96: 875-897.
- Kokita, T. 2003. Potential latitudinal variation in egg size and number of a geographically widespread reef fish, revealed by common environment experiments. Mar. Biol., 143: 593-601.
- Kraeuter, J., M. Castagna & R. Van Dessel. 1982. Egg size and larval survival of *Mercenaria mercenaria* (L.) and *Argopecten irradians* (Lamarck). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 56(1): 3-8.
- Krapivka, S., J.E. Toro, A.C. Alcapan, M. Astorga, P. Presa, M. Pérez & R. Guin. 2007. Shell-shape variation along the latitudinal range of the Chilean blue mussel *Mytilus chilensis* (Hupe, 1854). Aquacult. Res., 38: 1770-1777.
- Lancellotti, D.A. & J.A. Vásquez. 2000. Zoogeografía de macroinvertebrados bentónicos de la costa de Chile: contribución para la conservación marina. Rev. Chil. Hist. Nat., 73: 99-129.
- Loosanoff, V.L. & H.C. Davis. 1951. Delaying spawning of lamellibranchs by low temperature. J. Mar. Res., 10: 197-202.
- Magnesen, T.H. & G. Christophersen. 2008. Reproductive cycle and conditioning of translocated scallops (*Pecten maximus*) from five broodstock populations in Norway. Aquaculture, 285: 109-116.
- Martínez, G. & H. Pérez. 2003. Effect of different temperature regimes on reproductive conditioning in the scallop *Argopecten purpuratus*. Aquaculture, 228: 153-167.
- Matías, D., S. Joaquim, A. Leitao & C. Massapina. 2009. Effect of geographic origin, temperature and timing of broodstock collection on conditioning, spawning success and larval viability of *Ruditapes decussates* (Linne, 1758). Aquacult. Int., 17: 257-271.
- O'Connor, W.A. 2002. Latitudinal variation in reproductive behavior in the pearl oyster, *Pinctada albina sugillata*. Aquaculture, 209: 333-345.
- Osorio, C. 1979. Moluscos marinos de importancia económica en Chile. Biol. Pesq. Chile, 11: 3-47.
- Oyarzún, P., J.E. Toro, R. Jaramillo, R. Guíñez, C. Briones & M. Astorga. 2010. Análisis comparativo del ciclo gametogénico de *Perumytilus purpuratus* (Bivalvia: Mytilidae), en las localidades de Taltal y Huasco, norte de Chile. Rev. Biol. Mar. Oceanogr., 45(1): 43-58.
- Pronker, A.E., N.M. Nevejan, F. Peene, P. Geijsen & P. Sorgeloos. 2008. Hatchery broodstock conditioning of the blue mussel *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758). Part I. Impact of different micro-algae mixtures on broodstock performance. Aquacult. Int., 16: 297-307.
- Rojas, V. 2003. Estudio histológico del ciclo gametogénico y estimación de fecundidad potencial de *Mytilus chilensis* (Hupe, 1854), en un banco natural del estuario del río Tornagaleones (Isla del Rey, Valdivia). Memoria de Título de Medicina Veterinaria. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 43 pp.
- Toro, J.E., J.A. Ojeda & A.M. Vergara. 2004a. The genetic structure of *Mytilus chilensis* (Hupé, 1854) populations along the Chilean coast based on RAPDs analysis. Aquacult. Res., 35: 1466-1471.
- Toro, J.E., G.C. Castro & J.A. Ojeda. 2006. Allozymic variation and differentiation in the Chilean blue mussel, *Mytilus chilensis*, along its natural distribution. Genet. Mol. Biol., 29(1): 174-179.
- Toro, J.E., A.C. Alcapán & R.A. Stead. 2008. Cruzamientos interpoblacionales en *Mytilus chilensis*, en dos bivalvos de importancia comercial y sus efectos sobre el crecimiento en longitud de la valva durante la etapa larval. Arch. Med. Vet., 40: 299-303.
- Toro, J.E., A.C. Alcapán, A.M. Vergara & J.A. Ojeda. 2004b. Heritability estimates of larval and spat shell height in the Chilean blue mussel (*Mytilus chilensis* Hupé, 1854) produced under controlled laboratory conditions. Aquacult. Res., 35: 56-6.
- Yamahira, K. & D.O. Conover. 2002. Intra- vs interspecific latitudinal variation in growth: adaptation to temperature or seasonality? Ecology, 83: 1252-1262.

Received: 13 June 2011; Accepted: 4 June 2012