

## Comparative growth, condition, and survival of juvenile *Crassostrea gigas* and *C. corteziensis* oysters cultivated in summer and winter

### Crecimiento comparativo, condición y supervivencia de juveniles de los ostiones *Crassostrea gigas* y *C. corteziensis* cultivados en verano e invierno

A Castillo-Durán<sup>1</sup>, J Chávez-Villalba<sup>1\*</sup>, A Arreola-Lizárraga<sup>1</sup>, R Barraza-Guardado<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Unidad Sonora, Apartado postal 349, Guaymas, Sonora 85454, Mexico. \* E-mail: jechavez04@cibnor.mx

<sup>2</sup> Departamento de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad de Sonora, Apartado postal 1819, Hermosillo, Sonora 83000, Mexico

**ABSTRACT.** We report differences in growth, condition, and survival of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and the Cortez oyster *C. corteziensis* cultivated in a semi-arid lagoon in northwestern Mexico (Las Guásimas, Sonora) during summer and winter, periods corresponding to juvenile development at the production sites. Three sampling stations were established to determine variations in temperature, salinity, seston, chlorophyll *a* content, oxygen concentration, and pH at the coastal system. Growth rates and condition indices were higher during winter and cumulative mortality was higher in summer. This was the pattern for both species though significant differences were noted only for *C. gigas*. The Pacific oyster showed faster growth in winter and slower in summer than the Cortez oyster. While food availability was not a limiting factor in any season, differences in growth, condition, and survival were related to temperature, which ranged from a maximum of 32.7°C in summer to a minimum of 12.7°C in winter. Low temperatures are propitious for *C. gigas*, since high temperatures cause physiological stress. The Cortez oyster has the ability to adapt its metabolic functions to variations in temperature with no differences in growth and condition during the extreme seasons. The Pacific oyster exhibited better adaptation to variations in conditions at sites like Las Guásimas, but high temperature is a limiting factor for cultivation. Autumn is a propitious period to begin cultivating *C. gigas*, while the native *C. corteziensis* can be cultivated year-round.

**Key words:** *Crassostrea gigas*, *Crassostrea corteziensis*, growth, condition, temperature.

**RESUMEN.** Se reportan las diferencias en crecimiento, condición y supervivencia del ostión japonés *Crassostrea gigas* y el ostión de placer nativo del Mar de Cortés *C. corteziensis* cultivados en una laguna semiárida del noroeste de Mexico (Las Guásimas, Sonora) durante el verano y el invierno, que corresponden a periodos de desarrollo juvenil en los sitios de producción. Se establecieron tres estaciones de muestreo para determinar las variaciones de temperatura, salinidad, seston, clorofila *a*, concentración de oxígeno y pH en el ecosistema costero. En ambas especies las tasas de crecimiento e índices de condición fueron mayores en invierno y la mortalidad acumulada fue mayor en verano, aunque las diferencias entre estaciones resultaron significativas sólo para *C. gigas*. El crecimiento de esta última especie fue mayor en invierno y menor que el de *C. corteziensis* en verano. En tanto que la disponibilidad de alimento no fue limitante en ninguna temporada, las diferencias en crecimiento, condición y supervivencia estuvieron relacionadas con la temperatura, que varió entre un máximo de 32.7°C en verano y un mínimo de 12.7°C en invierno. Las temperaturas bajas resultan propicias para *C. gigas*, ya que las altas parecen causarle estrés fisiológico; en cambio, *C. corteziensis* tiene la capacidad de adaptar sus funciones metabólicas a las variaciones de temperatura sin mostrar variaciones en su crecimiento ni condición durante temporadas extremas. El ostión japonés mostró una mayor capacidad de adaptación a variaciones en las condiciones de sitios como Las Guásimas, pero las temperaturas altas constituyen una limitante para su cultivo. El otoño es propicio para iniciar el cultivo de *C. gigas*, mientras que el nativo *C. corteziensis* puede ser cultivado todo el año.

**Palabras clave:** *Crassostrea gigas*, *Crassostrea corteziensis*, crecimiento, condición, temperatura.

## INTRODUCTION

Oyster production along the Pacific coast of Mexico started with the cultivation of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793), an introduced species, and the collection and cultivation of the Cortez oyster *C. corteziensis* (Hertlein 1951), a native species. The annual production of *C. gigas* is ~800 t and aquaculture activity of *C. corteziensis* yields ~300 t annually (Maeda-Martínez 2008). The industry depends entirely on hatchery-produced postlarvae of *C. gigas*, and most of the production in this region comes from a

## INTRODUCCIÓN

La producción de ostiones en la costa del Pacífico mexicano comenzó con el cultivo del ostión japonés *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793), una especie introducida, y la extracción y cultivo del ostión de placer *C. corteziensis* (Hertlein 1951), una especie nativa. La producción anual de *C. gigas* es de ~800 t y la actividad acuicultural de *C. corteziensis* rinde ~300 t anualmente (Maeda-Martínez 2008). La industria depende totalmente de la producción de postlarvas de *C. gigas* y la mayor parte de la producción en

commercial hatchery (CREMES). This institution cultivates diploid (10%) and imported larvae of triploid oysters (90%) from Oregon (USA) and produces ~80 million spat annually (Hoyos-Chairez 2004). The hatchery receives *C. gigas* larvae in April and September. They settle on shell chips and are then transferred to a land-based nursery until they reach 2–7 mm and are sold for grow-out. Spat are placed in grow-out sites in May/June and October/November. Growers report high mortality of juveniles in the summer, probably from stress caused by high temperatures, and massive die-offs in winter. Die-offs have been reported since 1997 (Cáceres-Martínez *et al.* 2004).

Most of the activities related to the cultivation of *C. corteziensis* are spat collection on empty shells, which are then placed on racks that are hung from poles made of mangrove wood until the oysters are large enough for consumption (60–70 mm; Chávez-Villalba *et al.* 2005). This practice has been affected by intensive exploitation of this species, which together with a reduction in freshwater flow into lagoons has severely reduced natural beds and collection of natural spat. Consequently, spat is produced in hatcheries. Juvenile Cortez oysters were obtained for experimental purposes for the first time in the late 1990s; after that, the supply of juveniles came from hatcheries, but production was intermittent (Mazón-Suástegui *et al.* 2002). Since then, production of larvae and spat has improved (Cáceres-Puig *et al.* 2007, Rivero-Rodríguez *et al.* 2007, Ojeda-Ramírez *et al.* 2008, Pérez-Enríquez *et al.* 2008, Arcos *et al.* 2009, Hurtado *et al.* 2009) and the species is now produced commercially.

Cultivation of Cortez oysters is seen as the alternative to compensate for the heavy losses of Pacific oysters at commercial sites. The cultivation system proposed for *C. corteziensis* is the same as the one used for *C. gigas*: plastic trays assembled in modules and attached to a longline culture system. Experimental cultures of Cortez oysters using this system have shown satisfactory growth rates and survival (Chávez-Villalba *et al.* 2005, 2008). To promote cultivation of the native species, CREMES produces five million diploid spat per year from diploid organisms; this larval cultivation is carried out in parallel with the cultivation of Pacific oyster larvae to offer spat of both species at the same time. Spat of the native Cortez oyster and the introduced Pacific oyster are transported to cultivation sites during the same periods, but there are no studies directly comparing growth, yields, and survival of the two species. Surprisingly, there is limited information about the effects of variations of abiotic and biotic environmental factors on growth and survival that considers extreme temperature variations in the lagoons of this region, which are subject to high seasonal environmental variation (Arreola-Lizárraga 2003). Temperature is the overriding variable, ranging from ~34°C in late summer to ~11°C in winter (Chávez-Villalba *et al.* 2005). Since juvenile growth at production sites coincides with extreme temperatures, the physiological balance of oysters may be compromised. Furthermore, temperature variations are responsible

esta región proviene de un criadero comercial (CREMES). Esta institución cultiva un 10% de larvas diploides y un 90% de larvas importadas de ostiones triploides de Oregon (EUA), y produce ~80 millones de semillas anualmente (Hoyos-Chairez 2004). El criadero recibe las larvas de *C. gigas* en abril y septiembre, que se fijan en trozos de concha y luego se transfieren a un criadero en tierra hasta alcanzar un tamaño de 2–7 mm, para su posterior venta para la engorda. Las semillas se llevan a los sitios de engorda en mayo/junio y octubre/noviembre. Los productores reportan una alta mortalidad de juveniles en el verano, probablemente a causa del estrés causado por las altas temperaturas, y muertes masivas en el invierno. Los reportes de mortalidades existen desde 1997 (Cáceres-Martínez *et al.* 2004).

La mayoría de las actividades relacionadas con el cultivo de *C. corteziensis* consisten en la recolección de semillas en conchas vacías, las cuales se colocan en sartas que se cuelgan de postes de madera de mangle hasta que los ostiones adquieren el tamaño adecuado para su consumo (60–70 mm; Chávez-Villalba *et al.* 2005). Esta práctica se ha visto afectada por la explotación intensiva de la especie, que aunada a la reducción del aporte de agua dulce a las lagunas, ha mermado fuertemente los bancos naturales y la recolección de semilla natural. Consecuentemente, las semillas se han tenido que producir en criaderos. Por primera vez se obtuvieron juveniles de *C. corteziensis* para fines experimentales a finales de la década de los noventa. Posteriormente los juveniles provenían de criaderos, pero su producción resultaba intermitente (Mazón-Suástegui *et al.* 2002). Desde entonces la producción de larvas y semillas ha mejorado (Cáceres-Puig *et al.* 2007, Rivero-Rodríguez *et al.* 2007, Ojeda-Ramírez *et al.* 2008, Pérez-Enríquez *et al.* 2008, Arcos *et al.* 2009, Hurtado *et al.* 2009) y actualmente la especie se produce comercialmente.

El cultivo de *C. corteziensis* es considerado una alternativa para compensar las considerables pérdidas de *C. gigas* en los cultivos comerciales. El sistema de cultivo propuesto para *C. corteziensis* es el mismo que el utilizado para *C. gigas*: canastas de plástico agrupadas en módulos y suspendidas en un sistema de cultivo conocido como línea madre. Los cultivos experimentales de *C. corteziensis* mediante este sistema han mostrado tasas satisfactorias de crecimiento y supervivencia (Chávez-Villalba *et al.* 2005, 2008). Para promover el cultivo de esta especie nativa, CREMES produce cinco millones de semillas diploides por año a partir de organismos diploides cuyo cultivo larval se realiza en paralelo con el de larvas de *C. gigas*, para así ofrecer semillas de ambas especies al mismo tiempo. Las semillas de la especie nativa y la introducida son transportadas a los cultivos comerciales durante los mismos periodos, pero no se han hecho estudios en que se hayan comparado directamente crecimiento, rendimiento y supervivencia de ambas especies. Sorprendentemente, existe poca información sobre los efectos de las variaciones ambientales de factores abióticos y bióticos sobre el crecimiento y la supervivencia que

for other seasonal hydrological fluctuations, especially that of phytoplankton biomass (Valdez-Holguín 1994). The relative importance of temperature and food availability for the growth and condition of oysters, particularly during juvenile stages, is not precisely understood (Barraza-Guardado *et al.* 2008).

Our objective was to compare growth rates, condition index, and survival of *C. gigas* and *C. corteziensis* cultivated at a typical site (coastal lagoon of Las Guásimas, Sonora, Mexico) during the strongly contrasting seasons of summer and winter, coinciding with the time of juvenile cultivation at production sites.

## MATERIAL AND METHODS

### Experimental design and sampling

Oyster postlarvae (spat) of *C. gigas* and *C. corteziensis* were produced at a commercial hatchery (CREMES) in the state of Sonora, Mexico, in May 2005 for the summer trial and in October 2005 for the winter trial. The spat of both species were transferred for an intermediate grow-out phase to an oyster farm in Las Guásimas. The intermediate phase consisted of maintaining spat in 2-mm-mesh plastic bags (~1000 juveniles per bag) on plastic trays attached to a long-line system until they reached >20 mm in height. The juvenile specimens were then transferred to the study site (fig. 1) for the trials and stocked at an initial density of 100 oysters per tray. Maintenance was performed every 15 days by cleaning or replacing trays, reducing the density by 10%, and recovering and counting empty shells to estimate

considerare las extremas variaciones de temperatura en las lagunas de la región, sujetas a grandes cambios estacionales (Arreola-Lizárraga 2003). La variable principal es la temperatura, la cual oscila entre ~34°C a finales del verano y ~11°C en el invierno (Chávez-Villalba *et al.* 2005). Dado que el crecimiento de los juveniles en los sitios de producción coincide con las temperaturas extremas, el equilibrio fisiológico de los ostiones puede verse amenazado. Además, las variaciones de temperatura a su vez afectan otras variables hidrológicas estacionales, especialmente la biomasa fitoplanctónica (Valdez-Holguín 1994). No se sabe con precisión la importancia relativa de la temperatura y la disponibilidad de alimento sobre el crecimiento y la condición de los ostiones, en particular durante las etapas juveniles (Barraza-Guardado *et al.* 2008).

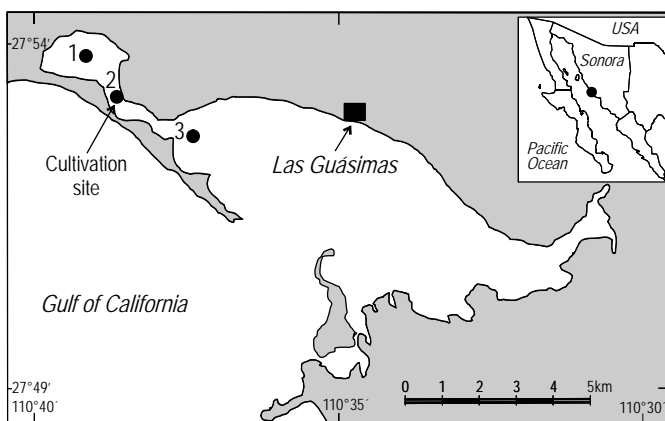
El objetivo de este trabajo fue comparar las tasas de crecimiento, el índice de condición y la supervivencia de *C. gigas* y *C. corteziensis* cultivados en un sitio típico (la laguna costera de Las Guásimas, Sonora, México) durante las temporadas contrastantes de verano e invierno, que coinciden con los periodos de desarrollo juvenil en los sitios de producción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño experimental y muestreo

Se cultivaron postlarvas (semillas) de *C. gigas* y *C. corteziensis* en un criadero comercial (CREMES) en el estado de Sonora, México, en mayo de 2005 para el ensayo de verano y en octubre del mismo año para el de invierno. Las semillas de ambas especies fueron transferidas a una granja ostionera en Las Guásimas para una fase de engorda intermedia, la cual consistió en mantener las semillas en bolsas de malla plástica de 2 mm de luz (~1000 juveniles por bolsa) en canastas de plástico sujetas a una línea madre hasta alcanzar una altura de >20 mm. Los juveniles fueron transportados al sitio de estudio (fig. 1) para los ensayos y se colocaron a una densidad inicial de 100 ostiones por canasta. Cada 15 días se limpiaron y cambiaron las canastas, reduciendo la densidad en 10%, y se retiraron y contaron las conchas vacías para estimar la mortalidad. Para los ensayos se utilizaron cuatro grupos de 1000 juveniles cada uno, dos en el verano (*C. gigas*, 41 ± 0.3 mm; *C. corteziensis*, 35 ± 0.3 mm) y dos en el invierno (*C. gigas*, 29.7 ± 2.3 mm; *C. corteziensis*, 23.9 ± 2.2 mm).

Cada temporada se recolectaron cinco muestras, empezando el 7 de julio en verano y el 21 de diciembre en invierno. Cada 15 días se transportaban 30 ostiones por especie al laboratorio, donde se limpiaron y se midieron su altura y peso seco. Se utilizaron los tejidos y las conchas de 15 especímenes para calcular el índice de condición (IC) descrito por Walne y Mann (1975). Los tejidos blandos fueron secados en un horno a 80°C por 48 h y luego se midió el peso seco. El IC se calculó como  $IC = P1 \times 1000/P2$ , donde P1 es



**Figure 1.** Location of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and Cortez oyster *C. corteziensis* cultivation site and sampling stations at Las Guásimas coastal lagoon (Sonora, Mexico). Aquatic primary productivity data were collected at station 2.

**Figura 1.** Localización del sitio de cultivo del ostión japonés *Crassostrea gigas* y el ostión de placer *C. corteziensis* y las estaciones de muestreo en la laguna costera de Las Guásimas (Sonora, México). Los datos sobre la productividad primaria acuática se recolectaron en la estación 2.

mortality. The trials used four batches of 1000 juveniles each; two were deployed in summer (*C. gigas*,  $41 \pm 0.3$  mm; *C. corteziensis*,  $35 \pm 0.3$  mm) and two in winter (*C. gigas*,  $29.7 \pm 2.3$  mm; *C. corteziensis*,  $23.9 \pm 2.2$  mm).

We collected five samples during each season, starting on 7 July in the summer trial and on 21 December in the winter trial. Every 15 days, 30 oysters of each species were transported to the laboratory for cleaning and measuring height and dry weight. The tissues and shells of 15 specimens were used to calculate the condition index (CI) described by Walne and Mann (1975). The soft tissues were oven-dried for 48 h at 80°C; dry weight was measured. The CI was calculated as follows:  $CI = P1 \times 1000/P2$ , where P1 is the dry weight of soft tissue and P2 is the dry weight of the shell.

### Environmental parameters

Three sampling stations were established to determine variations in environmental parameters: one station was at the cultivation site and the other two were located on each side of this site (fig. 1). Surface seawater temperature, salinity, dissolved oxygen, and pH were measured during each survey (every 15 days) using a multi-parameter probe (YSI, Yellow Springs, Ohio). At the same time, 4 L of seawater were collected to measure the concentration of chlorophyll *a* as described by Parsons *et al.* (1984) and of seston according to Chávez-Villaba *et al.* (2005). Aquatic primary productivity was estimated by analyses of biochemical oxygen demand (BOD) data (light and dark bottles) from station 2 as described by Strickland and Parsons (1972). With the exception of BOD, the data were expressed as the average of the three stations.

### Statistics

The data were checked for normality and homogeneity of variance. Analyses of variance were performed among environmental variables and CI, growth, and mortality to identify differences between seasons and species. *Post hoc* comparisons of means were conducted using Tukey's analysis. Statistical significance was set at  $P < 0.05$ .

## RESULTS

### Environmental parameters

Mean seawater temperature was very different between seasons at all stations, ranging from 30.4°C to 32.6°C in summer and from 13.3°C to 19.3°C in winter (fig. 2). Mean salinity was higher in summer, 38.8 to 41.1, than in winter, 35.8 to 37.6 (fig. 2). Significant differences in salinity occurred at stations 1 and 2. Mean oxygen concentrations in summer ranged from 4.5 to 7.8 mg L<sup>-1</sup>, and were lower than the winter concentrations of 5.6 to 8.8 mg L<sup>-1</sup>. Mean pH was similar in both seasons, from 8.2 to 8.5 in summer and from 8

el peso seco del tejido blando y P2 es el peso seco de la concha.

### Parámetros ambientales

Se establecieron tres estaciones de muestreo para determinar las variaciones de los parámetros ambientales: una estación se localizó en el sitio de cultivo y las otras dos a cada lado del sitio (fig. 1). Durante cada muestreo (cada 15 días) se realizaron mediciones de temperatura superficial del agua, salinidad, oxígeno disuelto y pH con una sonda multiparamétrica (YSI, Yellow Springs, Ohio). Al mismo tiempo se recolectaron 4 L de agua de mar para medir la concentración de clorofila *a* según lo descrito por Parsons *et al.* (1984) y la concentración de seston de acuerdo con Chávez-Villaba *et al.* (2005). Se estimó la productividad primaria acuática mediante el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (botellas claras y oscuras) según lo descrito por Strickland y Parsons (1972), a partir de datos tomados de la estación 2. Con excepción de este último análisis, los datos se expresan como el promedio de las tres estaciones.

### Estadística

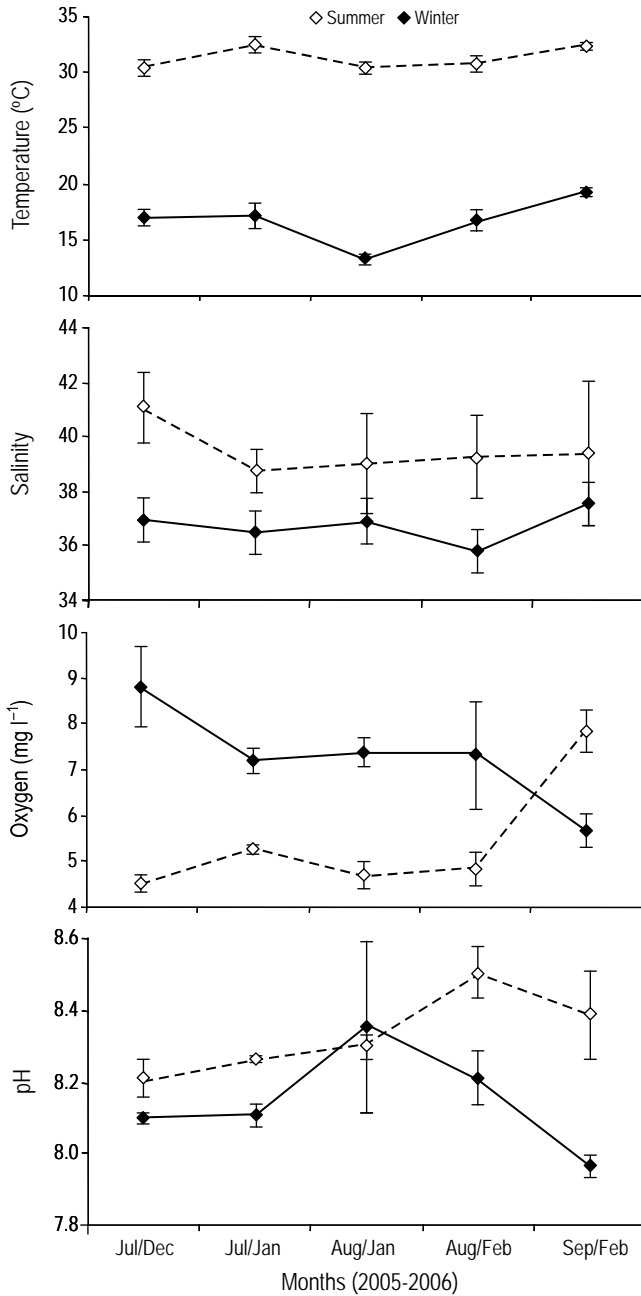
Se probó la normalidad y homogeneidad de varianza de los datos. El análisis de varianza se realizó entre las variables ambientales y el IC, el crecimiento y la mortalidad para identificar diferencias entre las estaciones del año y las especies. Se llevaron a cabo comparaciones *post hoc* entre medias con la prueba de Tukey. La significancia estadística se fijó en  $P < 0.05$ .

## RESULTADOS

### Parámetros ambientales

La temperatura media del mar resultó muy diferente entre temporadas en todas las estaciones de muestreo, variando de 30.4°C a 32.6°C en verano y de 13.3°C a 19.3°C en invierno (fig. 2). El promedio de salinidad fue mayor en verano, de 38.8 a 41.1, que en invierno, de 35.8 a 37.6 (fig. 2), con diferencias significativas en las estaciones 1 y 2. Las concentraciones medias de oxígeno en verano variaron de 4.5 a 7.8 mg L<sup>-1</sup>, y fueron menores que las de invierno, que oscilaron entre 5.6 y 8.8 mg L<sup>-1</sup>. El promedio de pH fue similar en ambas temporadas, de 8.2 a 8.5 en verano y de 8 a 8.4 en invierno (fig. 2). Se observaron diferencias significativas entre temporadas en la estación 3 en cuanto a oxígeno, y en las estaciones 1 y 3 en cuanto a pH.

Las concentraciones de materia orgánica particulada (MOP) y materia inorgánica particulada (MIP) mostraron tendencias similares durante ambas temporadas (fig. 3). La concentración media de MOP varió de 32.9 a 46 mg L<sup>-1</sup> en verano y de 24 a 34.3 mg L<sup>-1</sup> en invierno, y la de MIP de 140 a 169.3 mg L<sup>-1</sup> en verano y de 134 a 198 mg L<sup>-1</sup> en invierno.

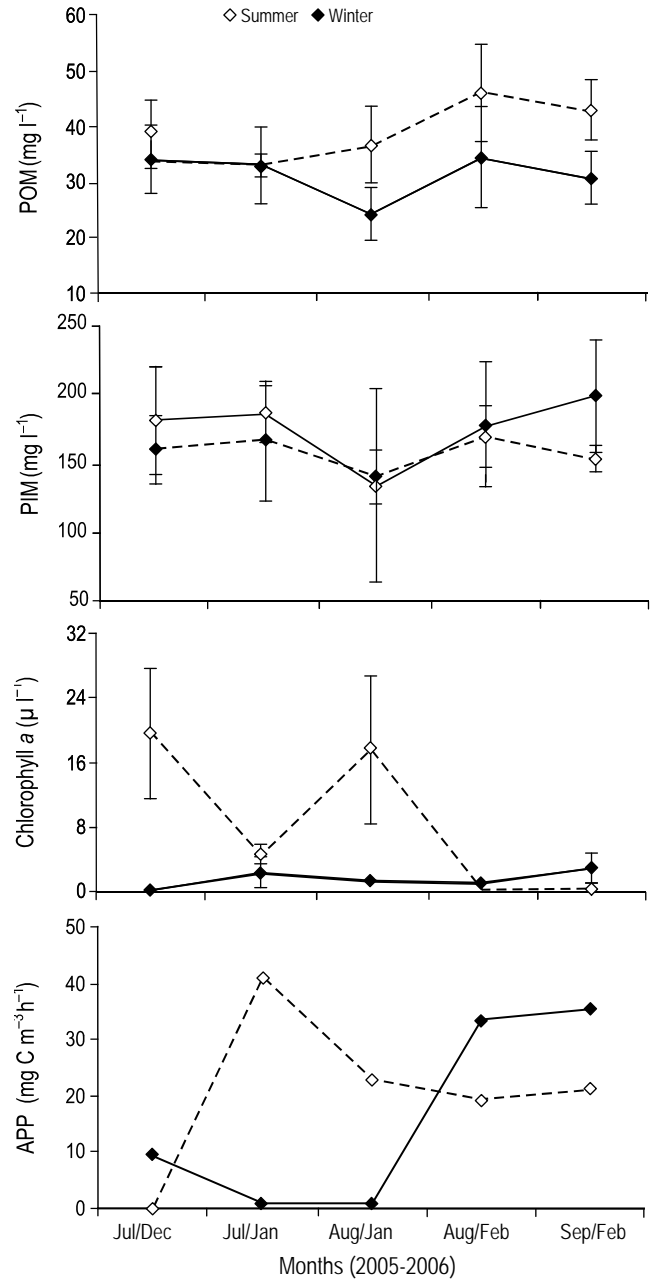


**Figure 2.** Temperature, salinity, oxygen, and pH data (mean  $\pm$  SD, pooled from three sampling stations) collected in summer (July–September) 2005 and winter (December–February) 2005/2006 at Las Guásimas coastal lagoon (Sonora, Mexico).

**Figura 2.** Datos de temperatura, salinidad, oxígeno y pH (media  $\pm$  DE, datos combinados de tres estaciones de muestreo) recolectados en el verano (julio–septiembre) de 2005 y el invierno (diciembre–febrero) de 2005/2006 en la laguna costera de Las Guásimas (Sonora, México).

to 8.4 in winter (fig. 2). Significant differences between seasons occurred at station 3 for oxygen and at stations 1 and 3 for pH.

Concentrations of particulate organic matter (POM) and particulate inorganic matter (PIM) showed similar trends during both seasons (fig. 3). Average POM ranged from 32.9 to



**Figure 3.** Particulate organic matter (POM), particulate inorganic matter (PIM), and chlorophyll *a* data (mean  $\pm$  SD, pooled from three sampling stations), and aquatic primary productivity (APP) data collected in summer (July–September) 2005 and winter (December–February) 2005/2006 at Las Guásimas coastal lagoon (Sonora, Mexico).

**Figura 3.** Datos de materia orgánica particulada (POM), materia inorgánica particulada (PIM) y clorofila *a* (media  $\pm$  DE, datos combinados de tres estaciones de muestreo), y de productividad primaria acuática (APP) recolectados en el verano (julio–septiembre) de 2005 y el invierno (diciembre–febrero) de 2005/2006 en la laguna costera de Las Guásimas (Sonora, México).

Se observaron diferencias significativas en la estación 1 en cuanto a MOP y en la estación 3 en cuanto a MIP. La

46 mg L<sup>-1</sup> in summer and from 24 to 34.3 mg L<sup>-1</sup> in winter. Average PIM ranged from 140 to 169.3 mg L<sup>-1</sup> in summer and from 134 to 198 mg L<sup>-1</sup> in winter. Significant differences between seasons occurred at station 1 for POM and at station 3 for PIM. Chlorophyll *a* showed two peaks in summer, the highest in July (19.5 µg L<sup>-1</sup>) and the other in August (17.6 µg L<sup>-1</sup>); the other recordings were low (<4.5 µg L<sup>-1</sup>; fig. 3). Chlorophyll *a* was less variable in winter, ranging from 0.04 to 2.3 µg L<sup>-1</sup>. Aquatic primary productivity peaked in July (41.2 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>), oscillating between 19.2 and 23 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> during the rest of the summer (fig. 3); in winter it ranged from 9.5 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> in December 2005 to 1 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> in January 2006, and in early February it rose rapidly and peaked (35.4 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>) at the end of the month. No significant differences between seasons were found for aquatic primary productivity and chlorophyll *a*.

### Growth and condition index

In summer (July–September 2005), *C. gigas* grew from 41 to 46.1 mm and *C. corteziensis* from 35 to 48 mm, which represents a daily growth rate of 0.098 and 0.250 mm d<sup>-1</sup>, respectively. In winter (December 2005–February 2006), *C. gigas* grew from 29.7 to 54.4 mm and *C. corteziensis* from 23.9 to 38.9 mm, representing a daily growth rate of 0.441 and 0.268 mm d<sup>-1</sup>, respectively (fig. 4). Statistical analyses indicated that *C. gigas* grew significantly more in winter than in summer, whereas *C. corteziensis* did not show significant differences in growth between seasons. Growth of *C. gigas* was significantly higher in winter, but significantly lower in summer than that of *C. corteziensis*. Cumulative mortality during summer reached 14% among Pacific oysters and 5.3% among Cortez oysters. Mortality during winter was 0% for Pacific oysters and 0.5% for Cortez oysters (table 1). There were significant differences in mortality between species during summer but not during winter.

The Walne-Mann CI for *C. gigas* showed little variation in summer, ranging from 46 to 52.3; in winter, the CI ranged from >85 to 104.1 at the end of January 2006 and varied little until the end of the trial. The CI for *C. corteziensis* in summer started at 70.6 and gradually declined to 46 on 12 September (fig. 5); the CI did not show a clear pattern during winter, ranging from 59.6 to 77.4. The CI for the Pacific oyster was significantly higher in winter and higher than the CI for the Cortez oyster during summer and winter. The CI for *C. corteziensis* showed no significant differences between summer and winter, though the values were significantly higher than the CI for *C. gigas* in summer.

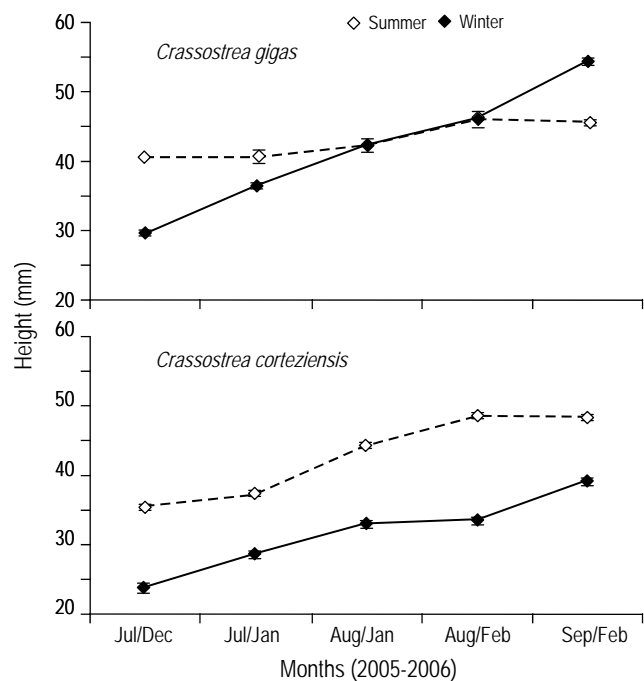
### DISCUSSION

This is the first comparative study to determine differences in growth, condition, and survival of juvenile *C. gigas* and *C. corteziensis* during cultivation in a lagoon in north-western Mexico, and to relate these differences to variations

de la clorofila *a* mostró dos máximos en verano, el mayor en julio (19.5 µg L<sup>-1</sup>) y uno menor en agosto (17.6 µg L<sup>-1</sup>); los demás registros fueron bajos (<4.5 µg L<sup>-1</sup>; fig. 3). La clorofila *a* presentó menor variación en invierno, de 0.04 a 2.3 µg L<sup>-1</sup>. La productividad primaria acuática mostró un máximo en julio (41.2 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>) y osciló entre 19.2 y 23 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> durante el resto del verano, mientras que en invierno varió de 9.5 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> en diciembre de 2005 a 1 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> en enero de 2006, incrementando rápidamente a principios de febrero con un máximo (35.4 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>) hacia el final del mes (fig. 3). No se encontraron diferencias significativas entre temporadas en cuanto a productividad primaria acuática y clorofila *a*.

### Crecimiento e índice de condición

En verano (julio a septiembre de 2005), *C. gigas* creció de 41 a 46.1 mm y *C. corteziensis* de 35 a 48 mm, lo que representa una tasa de crecimiento diaria de 0.098 y 0.250 mm d<sup>-1</sup>, respectivamente. En invierno (diciembre de 2005 a febrero



**Figure 4.** Average shell height ( $\pm$ SD) of *Crassostrea gigas* and *C. corteziensis* cultivated in summer (July–September) 2005 and winter (December–February) 2005/2006 at Las Guásimas coastal lagoon (Sonora, Mexico). Initial shell height of juveniles at the beginning of the summer and winter seasons were 41 and 29.7 mm for *C. gigas* and 35 and 23.9 mm for *C. corteziensis*, respectively.

**Figura 4.** Altura media de la concha ( $\pm$ DE) de *Crassostrea gigas* y *C. corteziensis* cultivados en el verano (julio–septiembre) de 2005 y el invierno (diciembre–febrero) de 2005/2006 en la laguna costera de Las Guásimas (Sonora, México). La altura inicial de las conchas de los juveniles al inicio del verano y el invierno fueron 41 y 29.7 mm para *C. gigas* y 35 y 23.9 mm para *C. corteziensis*, respectivamente.

**Table 1.** Cumulative mortality (%) of juvenile *Crassostrea gigas* and *C. corteziensis* oysters cultivated in summer 2005 and winter 2005/2006 at Las Guásimas coastal lagoon, Sonora, Mexico.**Tabla 1.** Mortalidad acumulada (%) de juveniles de los ostiones *Crassostrea gigas* y *C. corteziensis* cultivados en el verano de 2005 y el invierno de 2005/2006 en la laguna costera de Las Guásimas, Sonora, México.

Sample	<i>C. gigas</i>		<i>C. corteziensis</i>	
	Summer	Winter	Summer	Winter
1	0	0	0	0
2	1.2	0	0.2	0.3
3	3.4	0	1.1	0.4
4	6.0	0	2.8	0.5
5	14.0	0	5.3	0.5

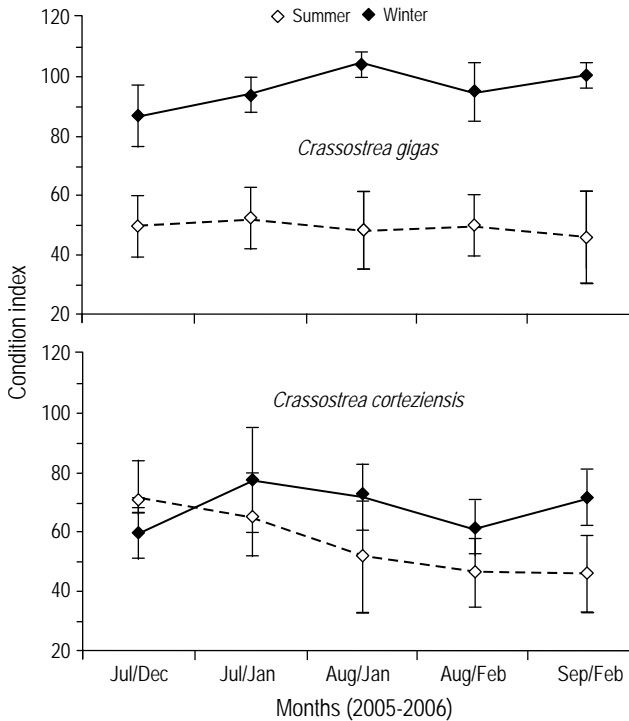
in environmental factors prevailing in summer and winter. Previous studies show that differences in bivalve growth rates reflect the interaction of environmental factors, particularly temperature and food supply (Wallace and Reinsnes 1985, Laing *et al.* 1987, Rupp *et al.* 2005). For example, surface seawater temperature at Las Guásimas had a marked

de 2006), *C. gigas* creció de 29.7 a 54.4 mm y *C. corteziensis* de 23.9 a 38.9 mm, lo que representa una tasa de crecimiento diaria de 0.441 y 0.268 mm d<sup>-1</sup>, respectivamente (fig. 4). Los análisis estadísticos mostraron que *C. gigas* creció significativamente más en invierno que en verano, mientras que *C. corteziensis* no mostró diferencias significativas en crecimiento entre temporadas. El crecimiento de *C. gigas* fue significativamente mayor en invierno, pero significativamente menor en verano que el de *C. corteziensis*. La mortalidad acumulada en verano fue de 14% para *C. gigas* y de 5.3% para *C. corteziensis*; en invierno ésta fue de 0% para *C. gigas* y de 0.5% para *C. corteziensis* (tabla 1). Se encontraron diferencias significativas en mortalidad entre las especies en verano pero no en invierno.

El IC de Walne-Mann para *C. gigas* mostró poca variación en verano, de 46 a 52.3, mientras que en invierno osciló entre >85 y 104.1 a finales de enero de 2006 pero varió poco hasta el final del ensayo. En verano el IC para *C. corteziensis* empezó en 70.6 y decreció gradualmente hasta 46 el 12 de septiembre (fig. 5), pero en invierno no presentó un patrón claro, variando de 59.6 a 77.4. El IC de *C. gigas* fue significativamente mayor en invierno y mayor que el de *C. corteziensis* en verano e invierno. El IC de *C. corteziensis* no mostró diferencias significativas entre verano e invierno, pero sus valores fueron significativamente mayores que los del IC de *C. gigas* en verano.

## DISCUSIÓN

Éste es el primer estudio comparativo que determina las diferencias en crecimiento, condición y supervivencia de especímenes juveniles de *C. gigas* y *C. corteziensis* durante su cultivo en una laguna del noroeste de México, y que relaciona estas diferencias con variaciones en los factores ambientales prevalecientes en verano e invierno. Trabajos previos han mostrado que diferencias en las tasas de crecimiento de bivalvos reflejan la interacción de factores ambientales, en particular la temperatura y la disponibilidad de alimento (Wallace y Reinsnes 1985, Laing *et al.* 1987, Rupp *et al.* 2005). Por ejemplo, la temperatura del agua superficial en Las Guásimas presentó una marcada variación anual de 20°C, similar a las oscilaciones de temperatura en las regiones templadas donde se cultiva *C. gigas* (Soletchnik *et al.* 1999, Gangnery *et al.* 2003), aunque mayor en alrededor de 5°C en sus límites inferior y superior. No obstante, en ambos ambientes 19°C es una temperatura óptima para el balance fisiológico; por arriba o por abajo de este nivel, los ostiones sufren estrés severo (Bougrier *et al.* 1995, Sicard *et al.* 2006). Las altas temperaturas de verano propician estrés fisiológico y el crecimiento disminuye. En contraste, el efecto de las temperaturas altas sobre el crecimiento de *C. corteziensis* es menos evidente; sin embargo, el menor crecimiento observado en el verano podría indicar que la especie nativa también se ve afectada, ya que según Cáceres-Puig *et al.* (2007) la tolerancia térmica superior de *C. corteziensis*

**Figure 5.** Average condition index ( $\pm$ SD) of *Crassostrea gigas* and *C. corteziensis* during summer (July–September) 2005 and winter (December–February) 2005/2006 at Las Guásimas coastal lagoon (Sonora, Mexico).**Figura 5.** Promedio del índice de condición ( $\pm$ DE) de *Crassostrea gigas* y *C. corteziensis* en el verano (julio–septiembre) de 2005 y el invierno (diciembre–febrero) de 2005/2006 en la laguna costera de Las Guásimas (Sonora, México).

annual variation of 20°C, similar to temperature oscillations in temperate regions where Pacific oysters are cultivated (Soletchnik *et al.* 1999, Gangnery *et al.* 2003), but shifted about 5°C higher at the lower and upper limits. In both environments, however, 19°C is an optimum temperature for physiological balance; below or above this level, the oyster is severely stressed (Bougrier *et al.* 1995, Sicard *et al.* 2006). Under high summer temperatures, physiological stress occurs and growth is reduced. In contrast, the effect of high temperatures on the growth of Cortez oysters is less evident. Still, the slower growth during summer may indicate that the native species is also affected, since according to Cáceres-Puig *et al.* (2007) the upper thermal tolerance of *C. corteziensis* is ~32°C; these authors also reported that optimal growth occurs at 28–30°C, which is similar to the results reported by Chávez-Villalba *et al.* (2005), with higher growth rates in summer. This is opposite to the results found in the present study.

Food availability is another factor influencing growth. At Las Guásimas, phytoplankton biomass was similar in both seasons and the levels of chlorophyll *a* were within the range of other lagoons in Sonora (Castro-Longoria and Grijalva-Chon 1991, Chávez-Villalba *et al.* 2005) and higher than localities where chlorophyll concentrations are not a limiting factor for juvenile bivalves (Rupp *et al.* 2005). We conclude that phytoplankton biomass at Las Guásimas did not limit the growth of oysters. What we did find was high seston concentrations during both seasons (83% PIM in summer, 85% PIM in winter). Paterson *et al.* (2003) found that the Sydney rock oyster *Saccostrea glomerata* showed lower growth rates at high concentrations of PIM. Pacific oysters at Las Guásimas had high rates of growth when PIM was high, indicating that the species can exploit food sources during winter and use the energy for growth and storage. The possible mechanisms used by Pacific oysters to maintain high absorption efficiency under high seston concentrations are probably the same as *Mulinia edulis* and *Mytilus chilensis*, which show increasing compensatory actions, pre-ingestion selection, stomach capacities, and production or activity of digestive enzymes (Velasco and Navarro 2003). In our study, however, high levels of PIM associated with high summer temperatures appear to have inhibited the growth of *C. gigas*, but feeding in *C. corteziensis* was less affected by high levels of PIM associated with either high or low temperatures. This may need to be tested with further experiments that measure growth under different combinations of temperature and PIM concentrations. The differences in growth between these two oysters, an imported species and a native species, suggest that the variability of temperature overrides the influence of food in this, subtropical body of water.

There is limited information about the mortality rates of *C. gigas* in Mexican production areas, although growers report 40–60% mortality over the cultivation cycle. Available data for experimental cultivation methods (oysters fixed on hanging shells, trays suspended from longlines, and plastic

llega a ~32°C. Estos autores también mencionan que el crecimiento óptimo ocurre a 28–30°C, lo que coincide con los resultados de Chávez-Villalba *et al.* (2005) en cuanto a mayores tasas de crecimiento en verano, pero contrasta con los resultados encontrados en el presente estudio.

La disponibilidad de alimento es otro factor que afecta el crecimiento. En Las Guásimas la biomasa fitoplanctónica fue similar en ambas temporadas y los niveles de clorofila *a* estuvieron dentro del intervalo de otras lagunas de Sonora (Castro-Longoria y Grijalva-Chon 1991, Chávez-Villalba *et al.* 2005), y fueron mayores que en sitios donde las concentraciones de clorofila no son un factor limitante para los bivalvos juveniles (Rupp *et al.* 2005). Concluimos que la biomasa fitoplanctónica en Las Guásimas no limitó el crecimiento de los ostiones. Lo que si encontramos fueron concentraciones altas de seston durante ambas temporadas (83% de MIP en verano, 85% de MIP en invierno). Paterson *et al.* (2003) encontraron menores tasas de crecimiento a altas concentraciones de MIP para el ostión de roca de Sydney *Saccostrea glomerata*. En Las Guásimas *C. gigas* presentó altas tasas de crecimiento a mayores concentraciones de MIP, lo que indica que la especie puede explotar fuentes de alimento durante el invierno y almacenar y utilizar la energía para su crecimiento. Los mecanismos que podría usar *C. gigas* para mantener una alta eficiencia de absorción ante concentraciones altas de seston probablemente sean los mismos que los de *Mulinia edulis* y *Mytilus chilensis*, que presentan un incremento en acciones compensatorias, selección preingestiva, capacidad estomacal y producción o actividad de las enzimas digestivas (Velasco y Navarro 2003). En nuestro estudio, sin embargo, los altos niveles de MIP asociados con las altas temperaturas estivales parecen haber inhibido el crecimiento de *C. gigas*, pero éstos tuvieron un menor efecto sobre la alimentación de *C. corteziensis* a temperaturas altas o bajas. Este resultado necesita comprobarse con experimentos adicionales que midan el crecimiento a diferentes combinaciones de temperatura y concentración de MIP. Las diferencias en crecimiento entre ambas especies, una introducida y la otra nativa, sugieren que la influencia de la variación de temperatura es mayor que la de la disponibilidad de alimento en este cuerpo de agua subtropical.

Existe poca información sobre las tasas de mortalidad de *C. gigas* en las áreas de producción en México; no obstante se ha informado de una mortalidad de 40–60% durante el ciclo de cultivo. Los datos disponibles para los métodos experimentales de cultivo (ostiones fijos a conchas suspendidas, canastas suspendidas de una línea madre y costales de malla plástica sobre camas de fierro) muestran una mortalidad acumulada de 15–52% (Gallo-García *et al.* 2001 y sus referencias). La mortalidad de *C. corteziensis* en cultivo experimental (sistema de línea madre) varía de 2–12% (datos no publicados) a 30% (Chávez-Villalba *et al.* 2005, 2008). Nuestros resultados indican niveles similares de mortalidad en ambas especies. Según los productores generalmente se presentan eventos de alta mortandad entre juveniles de



bags on iron tables) show cumulative mortality of 15–52% (Gallo-García *et al.* 2001 and references therein). Mortality of *C. corteziensis* under experimental cultivation (longline system) ranges from 2–12% (unpublished data) to 30% (Chávez-Villalba *et al.* 2005, 2008). Our results indicate similar levels of mortality in both species. Growers claim that high die-off events among adults generally occur in autumn and winter among juvenile Pacific oysters. We did not observe high die-offs in winter; differences in mortality rates in summer (14%) appear to be related to high temperatures, that is, to heat stress. Mortality rates for *C. corteziensis* indicate that the species is affected by high temperatures, but to a lesser degree, and that winter conditions are favorable for their metabolism.

Several authors recognize the importance of measuring the CI to assess the nutritional state of bivalves and their commercial quality, and to observe different pollutants or diseases (Bodoy *et al.* 1986, Crosby and Gale 1990, Mason and Nell 1995, Baghurst and Michell 2002). Boscolo *et al.* (2003) showed that variations in CI result from complex interactions of many factors, but that the gametogenic cycle remains the main cause, followed by food availability. Since POM and phytoplankton biomass did not vary seasonally at Las Guásimas, differences in CI, at least in the case of *C. gigas*, are related to factors other than food; for example, when the temperature was low, the oysters were able to use accessible energy for growth and storage. A positive relationship between seston and CI was detected for Pacific oysters during winter in a previous study (Chávez-Villalba *et al.* 2007). Flores-Vergara *et al.* (2004) showed that the high summer temperature (in the state of Baja California) is an important stressor of Pacific oysters, increasing energy costs and decreasing energy reserves. Under constant high temperatures, Pacific oysters reduce food acquisition and use the energy derived from phytoplankton and POM only for metabolic maintenance. Shumway (1982) stated that oysters subjected to high temperatures (>25°C) have difficulty maintaining vital functions at a constant rate. In contrast, the effect of temperature and food availability on the CI of *C. corteziensis* seems to be different. In summer, food availability was higher (less dilution of POM by PIM), but the CI diminished; it appears that energy coming from phytoplankton and other organic compounds is not stored and is used for growth. In winter, food availability was lower (greater dilution of POM by PIM), but the CI remained relatively high (>60), with slight variations that suggest that energy, apart from supporting oyster growth, as in summer, was accumulated and used for reproduction. Previous studies (Chávez-Villalba *et al.* 2005, 2008) reported that the CI of Cortez oysters starts to increase during winter, as a consequence of gametogenesis in young specimens (six months old).

Our study showed that the significant difference in temperature between summer and winter at Las Guásimas interferes with the growth of juvenile oysters, but that food

*C. gigas* en otoño e invierno. En este estudio no se observaron altas tasas de mortalidad en invierno y las diferencias en las tasas de verano (14%) parecen estar relacionadas con las temperaturas altas, esto es, con el estrés térmico. Las tasas de mortalidad de *C. corteziensis* indican que la especie es afectada por temperaturas altas, pero en menor grado, y que las condiciones invernales favorecen su metabolismo.

Varios autores reconocen la importancia de medir el IC para evaluar el estado nutricional de los bivalvos y su calidad comercial, así como para determinar diferentes contaminantes o enfermedades (Bodoy *et al.* 1986, Crosby y Gale 1990, Mason y Nell 1995, Baghurst y Michell 2002). Boscolo *et al.* (2003) mostraron que las variaciones en el IC se originaron de las interacciones complejas de muchos factores, pero que el ciclo gametogénico sigue siendo la causa principal, seguido por la disponibilidad de alimento. Dado que la biomasa fitoplanctónica y MOP no presentaron variación temporal en Las Guásimas, las diferencias en el IC, al menos en el caso de *C. gigas*, parecen estar relacionadas con otros factores más que con la alimentación; por ejemplo, con baja temperatura los ostiones pudieron utilizar la energía disponible para su crecimiento y almacenamiento de reservas. En un estudio previo (Chávez-Villalba *et al.* 2007), se detectó una relación positiva entre el seston y el IC en invierno para *C. gigas*. Flores-Vergara *et al.* (2004) mostraron que la alta temperatura estival (en el estado de Baja California) es una importante causa de estrés en *C. gigas*, incrementando los costos y reduciendo las reservas de energía. Sometido constantemente a altas temperaturas, *C. gigas* reduce su alimentación y utiliza la energía derivada del fitoplancton y la MOP sólo para mantener su metabolismo. Shumway (1982) afirmó que a los ostiones expuestos a temperaturas altas (>25°C) se les dificulta mantener funciones vitales a una tasa constante. En contraste, el efecto de la temperatura y la disponibilidad de alimento en el IC de *C. corteziensis* parece ser diferente. En verano, la disponibilidad de alimento fue mayor (menor dilución de MOP por MIP), pero el IC disminuyó; aparentemente la energía que proviene del fitoplancton y otros compuestos orgánicos no se almacena y se utiliza para crecimiento. En invierno, la disponibilidad de alimento fue menor (mayor dilución de MOP por MIP), pero el IC permaneció relativamente alto (>60), con ligeras variaciones que sugieren que la energía, además de sostener el crecimiento, como en el verano, se acumuló y se utilizó para su reproducción. Estudios previos (Chávez-Villalba *et al.* 2005, 2008) indican que el IC de *C. corteziensis* comienza a incrementarse en invierno como consecuencia de la gametogénesis de especímenes jóvenes (seis meses de edad).

El presente estudio mostró que la diferencia significativa en temperatura entre verano e invierno en Las Guásimas interfiere con el crecimiento de los ostiones juveniles, pero que la disponibilidad de alimento no es un factor limitante. Es posible que las diferencias en crecimiento estén relacionadas con variaciones locales a pequeña escala y no con la variabilidad de la laguna. Aun a pequeña escala la influencia

availability was not a limiting factor. It is possible that the differences in growth are related to small-scale variations at the site and not to variability of the lagoon. Even at a small scale, the negative influence of high summer temperatures was particularly strong for Pacific oysters, creating physiological stress leading to slower growth, lower condition, and increased mortality, although mortality (14%) does not appear to be related to the high die-off events during the summer that have been reported by growers in the region. The effect of seasonal temperature changes on Cortez oysters was less evident, with small variations in mortality. Overall, Pacific oysters exhibited better adaptation to variations in conditions at Las Guásimas, but high temperature is a limiting factor for cultivation. In terms of aquaculture strategies, autumn represents a favorable period to start cultivation of Pacific oysters, while the results demonstrated that native Cortez oysters can be cultivated year-round.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by a grant from the Mexican Council for Science and Technology (SEMARNAT-CONACYT 2002-C01-0147). The first author acknowledges receipt of a CONACYT fellowship. We thank MR López and A Hernández (CIBNOR) for laboratory and field assistance. Oysters were donated by the Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora.

#### REFERENCES

Arcos FG, Ibarra AM, Rodríguez-Jaramillo C, García-Latorre EA, Vázquez-Boucard C. 2009. Quantification of vitellin/vitellogenin-like proteins in the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein 1951) as a tool to predict the degree of gonad maturity. *Aquacult. Res.* 40: 644–655.

Arreola-Lizárraga JA. 2003. Bases de manejo costero: Patrones ecológicos en la laguna costera Las Guásimas, Territorio Yaqui, México. Ph.D. thesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, BCS, Mexico, 61 pp.

Baghurst BC, Mitchell JG. 2002. Sex-specific growth and condition of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquacult. Res.* 33: 1253–1263.

Barraza-Guardado RH, Chávez-Villalba J, Atilano-Silva H, Hoyos-Chairez F. 2008. Seasonal variation of the condition index of Pacific oyster postlarvae (*Crassostrea gigas*) in a land-based nursery in Sonora, Mexico. *Aquacult. Res.* 40: 118–128.

Bodoy A, Prou J, Berthome JP. 1986. Etude comparative de differents indices de condition chez l'huître creuse (*Crassostrea gigas*). *Haliotis* 15: 173–182.

Boscolo R, Cornello M, Giovanardi O. 2003. Condition index and air survival time to compare three kinds of Manila clam *Tapes philippinarum* (Adams and Reeve) farming systems. *Aquacult. Int.* 11: 243–254.

Bougrier S, Geairon P, Deslous-Paoli JM, Bacher C, Jonquières G. 1995. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture* 134: 143–154.

negativa de las altas temperaturas estivales fue particularmente importante en el caso de *C. gigas*, ocasionando estrés fisiológico que disminuye el crecimiento, reduce la condición e incrementa la mortalidad, aunque esta última (14%) no parece estar asociada con los eventos de alta mortandad que, según los productores de la región, se han presentado en el verano. El efecto de los cambios temporales de temperatura sobre *C. corteziensis* resultó menos evidente, con pequeñas variaciones en la mortalidad. En general *C. gigas* mostró una mejor adaptación a las variaciones en las condiciones de Las Guásimas, pero las altas temperaturas constituyen una limitante para su cultivo. En cuanto a estrategias acuícolas, el otoño representa un periodo favorable para iniciar el cultivo del ostión japonés, mientras que el ostión de placer del Mar de Cortés puede ser cultivado todo el año.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo recibió apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SEMARNAT-CONACYT 2002-C01-0147). El primer autor fue apoyado con una beca del CONACYT. Agradecemos a MR López y A Hernández (CIBNOR) su asistencia en el campo y el laboratorio. Los ostiones fueron donados por el Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora.

Traducido al español por Christine Harris.

Cáceres-Martínez J, Ramírez-Gutiérrez S, Vázquez-Yeomans R, Macías-Montes de Oca P. 2004. Reproductive cycle and mortality of the Japanese oyster *Crassostrea gigas* cultured in Bahía Falsa, Baja California, Mexico. *J. Shellfish Res.* 23: 795–801.

Cáceres-Puig JI, Abasolo-Pacheco F, Mazón-Suastegui JM, Maeda-Martínez AN, Saucedo PE. 2007. Effect of temperature on growth and survival of *Crassostrea corteziensis* spat during late-nursery culturing at the hatchery. *Aquaculture* 272: 417–422.

Castro-Longoria R, Grijalva-Chon M. 1991. Spatio-temporal variability of nutrients and seston in the coastal lagoon La Cruz, Sonora. *Cienc. Mar.* 17: 83–97.

Chávez-Villalba J, López-Tapia MR, Mazón-Suastegui JM, Robles-Mungaray M. 2005. Growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein 1951) in Sonora, Mexico. *Aquacult. Res.* 36: 1337–1344.

Chávez-Villalba J, Villelas-Ávila F, Cáceres-Martínez C. 2007. Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) along coastal Sonora, Mexico. *Aquacult. Res.* 38: 268–278.

Chávez-Villalba J, Hernández-Ibarra A, López-Tapia MR, Mazón-Suastegui JM. 2008. Prospective culture of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* from northwestern Mexico: Growth, gametogenic activity, and condition index. *J. Shellfish Res.* 27: 711–720.

Crosby MP, Gale LD. 1990. A review and evaluation of bivalve condition index methodologies with a suggested standard method. *J. Shellfish Res.* 9: 233–237.

- Flores-Vergara C, Cordero-Esquivel B, Cerón-Ortíz A, Arredondo-Vega B. 2004. Combined effects of temperature and diet on growth and biochemical composition of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) spat. *Aquacult. Res.* 35: 1131–1140.
- Gallo-García MC, García-Ulloa M, Godínez-Sordia D, Rivera-Gómez K. 2001. Estudio preliminar sobre el crecimiento y supervivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg 1873) en Barra de Navidad, Jalisco, México. *Univ. Cienc.* 17: 83–91.
- Gangnery A, Chabirand JM, Lagarde F, Le Gall P, Oheix J, Bachar C, Buestel D. 2003. Growth model of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured in Thau Lagoon (Méditerranée France). *Aquaculture* 215: 267–290.
- Hoyos-Chairez F. 2004. Ostricultura sonorensis. Antecedentes, presente y perspectiva de desarrollo sustentable. Memoria Foro Agricultura y Desarrollo Rural Sustentable, Hermosillo, Sonora, 29–30 April 2004, 11 pp.
- Hurtado MA, Ramírez JL, Rodríguez-Jaramillo C, Tovar D, Ibarra AM, Soudant P, Palacios E. 2009. Comparison of continuous and batch feeding systems on maturation, biochemical composition and immune variables of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein 1951). *Aquacult. Res.* 40: 464–472.
- Laing I, Utting SD, Kilada RWS. 1987. Interactive effect of diet and temperature on the growth of juvenile clams. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 113: 23–38.
- Maeda-Martínez AN. 2008. Estado actual del cultivo de bivalvos en México. In: Lovatelli A, Fariás A, Uriarte I (eds.), Taller Regional de la FAO sobre el Estado Actual del Cultivo y Manejo de Moluscos Bivalvos y su Proyección Futura: Factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Actas de Pesca de la FAO, No. 12, Rome, pp. 91–100.
- Mason CJ, Nell JA. 1995. Condition index and chemical composition of meats of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*) and Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) at four sites in Port Stephens, NSW. *Mar. Freshwat. Res.* 46: 873–881.
- Mazón-Suástegui JM, Robles-Mungaray M, Flores-Higuera F, Avilés-Quevedo A. 2002. Experiencias en la producción de semilla de ostión de placer *Crassostrea corteziensis* en el laboratorio. IV Simposio Nacional de Acuicultura y Pesca (Book of Abstracts), Antigua, Guatemala, pp. 16–18.
- Ojeda-Ramírez JJ, Cáceres-Puig JJ, Mazón-Suástegui JM, Saucedo P. 2008. Nutritional value of *Pavlova* spp. (Prymnesiophyceae) for spat of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* during late-nursery culturing at the hatchery. *Aquacult. Res.* 39: 18–23.
- Parsons TR, Maitia Y, Lalli CM. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Paterson KJ, Schreider MJ, Zimmerman KD. 2003. Anthropogenic effects on seston quality and quantity and the growth and survival of Sydney rock oyster (*Saccostrea glomerata*) in two estuaries in NSW, Australia. *Aquaculture* 221: 407–426.
- Pérez-Enríquez R, Ávila S, Ibarra AM. 2008. Population genetics of the oyster *Crassostrea corteziensis* in the Gulf of California. *Cienc. Mar.* 34: 479–440.
- Rivero-Rodríguez S, Beaumont AR, Lora-Vilchis MC. 2007. The effect of microalgal diets on growth, biochemical composition, and fatty acid profile of *Crassostrea corteziensis* (Hertlein) juveniles. *Aquaculture* 263: 199–210.
- Rupp GS, Parsons GJ, Thompson RJ, de Bem MM. 2005. Influence of environmental factors, season and size at deployment on growth and retrieval of postlarval lion's paw scallop *Nodipecten nodosus* (Linnaeus 1758) from a subtropical environment. *Aquaculture* 243: 195–216.
- Shumway SE. 1982. Oxygen consumption in oysters: An overview. *Mar. Biol. Lett.* 3: 1–23.
- Sicard MT, Maeda-Martínez AN, Lluch-Cota SE, Lodeiros C, Roldán-Carrillo LM, Mendoza-Alfaro R. 2006. Frequent monitoring of temperature: An essential requirement for site selection in bivalve aquaculture in tropical-temperate transition zones. *Aquacult. Res.* 37: 1040–1049.
- Soletchnik P, Le Moine O, Fauray N, Razet D, Geairon P, Gouletquer P. 1999. Mortalité de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron: Étude de la variabilité spatiale de son environnement et de sa biologie par un système d'informations géographiques (SIG). *Aquat. Living Resour.* 12: 131–143.
- Strickland JDH, Parsons TR. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fish. Res. Bd. Canada, Bull. 167, 310 pp.
- Valdez-Holguín JE. 1994. Daily variations of temperature, salinity, dissolved oxygen and chlorophyll *a* in a hypersaline lagoon of the Gulf of California. *Cienc. Mar.* 20: 123–137.
- Velasco LA, Navarro JM. 2003. Energetic balance of infaunal (*Mulinia edulis* King 1831) and epifaunal (*Mytilus chilensis* Hupé 1854) bivalves in response to wide variations in concentration and quality of seston. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 296, 79–92.
- Wallace JC, Reinsnes TG. 1985. The significance of various environmental parameters for growth of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (Pectinidae), in hanging culture. *Aquaculture* 44: 229–242.
- Walne PR, Mann R. 1975. Growth and biochemical composition in *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. In: Barnes H (ed.), 9th European Marine Biology Symposium. Aberdeen Univ. Press, Scotland, pp. 587–607.

*Recibido en julio de 2009;  
aceptado en enero de 2010.*