

Growth, survival, and morphometric relationships of *Crassostrea corteziensis* cultivated during the nursery stage in oyster bags at different tidal levels, in Boca de Camichín, Nayarit, Mexico

Crecimiento, supervivencia y relaciones morfométricas de *Crassostrea corteziensis* cultivado en costales ostrícolas durante la etapa de preengorda, a diferentes niveles de marea en Boca de Camichín, Nayarit, México

Alfonso N Maeda-Martínez¹, Avicenia G García Murillo¹, Daniel Espinosa-Chaurand¹, Rodolfo Garza-Torres², Ricardo García-Morales^{1*}

¹ Unidad Nayarit, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste Tepic, Nayarit, Mexico.

² CONAHCYT - Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Tepic, Nayarit, Mexico.

* Corresponding author. E-mail: rgarcia@cibnor.mx

ABSTRACT. The optimal tide height at which the intertidal oyster bed system (IOBS) should be installed to cultivate *Crassostrea corteziensis* in Boca de Camichín (BC), Nayarit, Mexico, during the intermediate grow-out stage (39.3–60.2 mm in shell length) was determined. Temperature, salinity, chlorophyll *a* (Chl_a), and turbidity were recorded 3 times a day. A trophic state index (TSI) was calculated with Chl_a and turbidity data. Three treatments corresponding to tide levels were tested: (1) high level (14 cm above mean sea level [MSL], emersion time [ET] = 56.4% of the total duration of the experiment), (2) intermediate level (MSL, ET = 48.6%), and (3) low level (41 cm below MSL, ET = 32.1%). Gross growth rates and absolute and relative monthly growth rates were calculated to identify periods with highest growth relative to environmental conditions. Finally, the effect of the treatments on the dimensions and weight of the oysters was studied. The results indicate that BC water was mesotrophic in April–June and eutrophic in July–August. The low tide level was the best for IOBS operation, with growth rates of 0.15, 0.10, and 0.07 mm·d⁻¹ in shell length, width, and thickness, respectively, and 0.204 g·d⁻¹ wet weight. Cumulative mortality was lower in the low (18.5%) and intermediate (16.4%) treatments. Shell thickness was significantly reduced ($P < 0.05$) in the high treatment and total wet weight was reduced in the high and intermediate treatments. The results of this study offer a viable and different alternative to the cultivation of *C. corteziensis* in strings that is currently carried out in Boca de Camichín, Nayarit, Mexico.

Key words: gross growth rate, absolute growth rate, relative growth rate, trophic state index, pleasure oyster.

RESUMEN. Se determinó la altura de marea óptima a la que se debería instalar el sistema de camas ostrícolas intermareales (SCOI), para cultivar *Crassostrea corteziensis* en Boca de Camichín (BC), Nayarit, México, durante la etapa de preengorda (39.3–60.2 mm de longitud). La temperatura, salinidad, clorofila *a* (Cl_a) y turbiedad se registraron 3 veces al día. Se calculó un índice de estado trófico (IET) con datos de Cl_a y de turbiedad. Se probaron 3 tratamientos correspondientes a los niveles de marea: (1) nivel alto (14 cm por encima del nivel medio del mar [NMM], tiempo de emersión [TE] = 56.4% de la duración total del experimento), (2) nivel intermedio (NMM, TE = 48.6%) y (3) nivel bajo (41 cm por debajo del NMM, TE = 32.1%). Se calcularon las tasas de crecimiento bruto y las tasas de crecimiento mensual absoluto y relativo para identificar los periodos con mayor crecimiento en relación con las condiciones ambientales. Finalmente, se estudió el efecto de los tratamientos sobre las dimensiones y el peso de la concha. Los resultados indican que el agua de BC fue mesotrófica en abril-junio y eutrófica en julio-agosto. El nivel de marea bajo fue el mejor para la operación del SCOI, con tasas de crecimiento de 0.15, 0.10 y 0.07 mm·d⁻¹ en longitud, anchura y espesor de la concha, respectivamente, y 0.204 g·d⁻¹ de peso húmedo. La mortalidad acumulada fue más baja en los tratamientos bajo (18.5%) e intermedio (16.4%). Se observó una reducción significativa ($P < 0.05$) en el grosor de la concha en el nivel alto y una reducción del peso total húmedo en los tratamientos alto e intermedio. Los resultados del presente estudio ofrecen una alternativa viable y diferente al cultivo de *C. corteziensis* en sargas que actualmente se realiza en Boca de Camichín, Nayarit, México.

Palabras clave: tasa bruta de crecimiento, tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, índice de estado trófico, ostión de placer.



INTRODUCTION

The pleasure oyster *Crassostrea corteziensis* is a native species that is cultivated in the coasts of Nayarit with high potential for development. Nearly 80% of the production of this species is done via aquaculture in 500 rafts in Boca de Camichín Estuary from which 600 strings with inserted shells of *C. corteziensis* are hung from July to October each year to provide substrate for spat recruitment. The rafts are operated by 176 cooperative members and their families. Harvest starts in March and extends to October when the oysters reach 70 mm long and 55–63 g wet weight ($\approx 16\text{--}18$ oyster $\cdot\text{kg}^{-1}$). Therefore, the whole production cycle varies from 9 to 14 months (Pedro Alfonso López González *pers. comm.*). As a result, the annual production of this operation amounts 600 to 1,300 tons (CONAPESCA 2017). The cause of such variability is mainly due to the sinking and destruction of the rafts by tropical storms and hurricanes that occur in this region. In addition, spat recruitment varies due to changes in environmental conditions, such as water currents, temperature, and salinity, which affect growth and survival. Therefore, there is the need to test other culture systems such as the intertidal oyster bed system (IOBS) (Fig. 1a) that offers

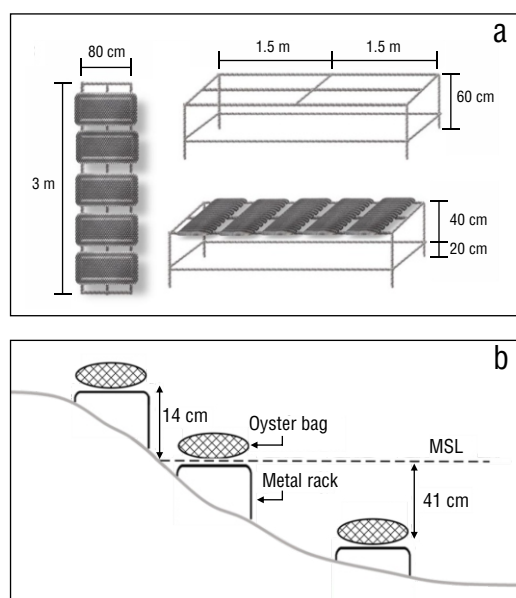


Figure 1. (a) Intertidal oyster bed system employed for the culture experiments of spat of *Crassostrea corteziensis* at 3 tidal levels in Boca de Camichín, Nayarit, Mexico. (b) Diagram showing the transversal section of the beds indicating the height with respect to the mean sea level (MSL).

Figura 1. (a) Sistema de criaderos de ostras empleado para los experimentos de cultivo de semilla de *Crassostrea corteziensis* en 3 niveles de marea en Boca de Camichín, Nayarit, México. (b) Diagrama que muestra la sección transversal de los lechos indicando la altura respecto al nivel medio del mar (MSL).

INTRODUCCIÓN

El ostión de placer *Crassostrea corteziensis* es una especie nativa que se cultiva en las costas de Nayarit con alto potencial de desarrollo. Cerca del 80% de la producción de esta especie se realiza vía acuicultura en 500 balsas en el estuario de Boca de Camichín de las cuales se cuelgan 600 cuerdas con conchas insertadas de la misma especie de julio a octubre de cada año para proporcionar sustrato para el reclutamiento de juveniles. Las balsas son operadas por 176 miembros de la cooperativa y sus familias. La cosecha comienza en marzo y se extiende hasta octubre cuando las ostras alcanzan los 70 mm de largo y 55–63 g de peso húmedo ($\approx 16\text{--}18$ ostra $\cdot\text{kg}^{-1}$). Por lo tanto, todo el ciclo de producción varía de 9 a 14 meses (Pedro Alfonso López González *com. pers.*). Como resultado, la producción anual de esta operación varía entre 600 y 1,300 toneladas (CONAPESCA 2017). La causa de tal variabilidad se debe principalmente al hundimiento y destrucción de las balsas por las tormentas tropicales y huracanes que ocurren en esta región. Además, hay un reclutamiento variable de semilla debido a cambios en las condiciones ambientales, como las corrientes de agua, la temperatura y la salinidad, que afectan el crecimiento y la supervivencia. Por lo tanto, existe la necesidad de probar otros sistemas de cultivo como el sistema de camas ostrícolas intermareales (SCOI) (Fig. 1a) que ofrece varias ventajas técnicas y económicas y es menos vulnerable a las tormentas en comparación con las balsas flotantes.

El SCOI se utiliza en muchas partes del mundo para cultivar ostras de diferentes especies (Cigarria y Fernández 1998, Cognie et al. 2006, Mallet et al. 2009). Este sistema utiliza semilla individual libre, que normalmente se produce en laboratorios de producción. El producto final después de varios meses de crecimiento es una ostra de forma y tamaño regular, el cual alcanza un precio más alto en el mercado. La operación y el mantenimiento se realizan a pie sin necesidad de una embarcación, debido a que las camas están instaladas en la zona intermareal, lo cual ahorra tiempo y dinero. Adicionalmente, las camas se instalan de manera intencional a una altura de marea en la cual quedan expuestas al aire por periodos cortos durante el día para reducir incrustaciones y permitir el endurecimiento de las conchas de ostras; esto aumenta la vida de anaquel sin comprometer el crecimiento ni la supervivencia. Por lo tanto, la profundidad a la que se colocan las camas de cultivo es de suma importancia (Mazón-Suástegui 1996). Como el SCOI produce endurecimiento de la concha, es importante determinar los cambios en las dimensiones de la concha (longitud, anchura y grosor) que pueden afectar el contenido de carne dentro de las valvas.

El objetivo de este trabajo fue determinar la altura de marea óptima en la zona intermareal en la que se debería instalar el SCOI para producir el mayor crecimiento y supervivencia de *C. corteziensis* durante la etapa de preengorda (39.3–60.2 mm de longitud de concha) con semilla silvestre recolectada de las cuerdas en Boca de Camichín.

several technical and economic advantages and is less vulnerable to storms compared to the floating rafts.

The IOBS is used in many parts of the world to cultivate oysters of different species (Cigarría and Fernández 1998, Cogne et al. 2006, Mallet et al. 2009). This system uses cultchless spat, which is normally produced in the hatchery. The final product after several months of grow-out is an oyster of regular shape and size, which attains a higher price in the market. The operation and maintenance of the beds are done on foot without the need of a boat because beds are installed in the intertidal zone, which saves time and costs. In addition, the beds are purposely installed at a tidal height where they emerge for short periods during the day to reduce fouling and allow hardening of the oyster shells; this increases shelf life without compromising growth and survival. Therefore, the depth at which the cultivation beds are installed is of utmost importance (Mazón-Suástegui 1996). As IOBS produces hardening of the shell, the changes in shell dimensions (length, width, and thickness) that could affect the meat content inside the valves need to be determined.

The aim of this work was to determine the optimum tidal height in the intertidal zone at which the IOBS should be installed to produce the highest growth and survival of *C. corteziensis* during the nursery stage (39.3–60.2 mm shell length), using wild spat collected from the strings in Boca de Camichín.

MATERIALS AND METHODS

Physicochemical variables and trophic state index at the study area

This study was carried out in the intertidal zone of Boca de Camichín Estuary during 5 months, from April to August 2017. The site selected for the study (21°43'58" N, 105°29'24" W) was located 3.2 km, in a straight line, from the town Boca Camichín. This site was representative of the conditions of other areas in Boca de Camichín with potential for the implementation of IOBS (i.e., substrate type, beach slope, current pattern, access routes, and social aspects to avoid impacts from human activities).

Water temperature, salinity, chlorophyll *a*, and turbidity were recorded 3 times a day (9:00–10:00, 13:00–14:00, and 17:00–18:00 h) adjacent to the beds of the low tide treatment. Temperature and salinity were measured with a handheld multiparameter monitor model YSI 556 MPS. The method of Strickland and Parsons (1972) was followed to determine chlorophyll *a*. Thus, water samples were filtered through Whatman glass fiber filters (GF/F 0.7 μ m) with a manual vacuum pump and, at the time of filtration, the samples were protected from light; subsequently, the filters were stored in an aluminum foil envelope, stored in ice for no more than 1 h in an icebox, and, finally, frozen at –20 °C until the pigment extraction. The extraction was carried out with 90% acetone for 24 h as recommended by Strickland and Parsons 1972,

MATERIALES Y MÉTODOS

Variables fisicoquímicas e índice de estado trófico en el área de estudio

Este estudio se realizó en la zona intermareal del estero de Boca de Camichín durante 5 meses, de abril a agosto de 2017. El sitio seleccionado para el estudio (21°43'58" N, 105°29'24" W) se ubicó a 3.2 km de distancia en línea recta del pueblo Boca de Camichín. Este sitio era representativo de las condiciones de otras áreas en Boca de Camichín con potencial para el uso del SCOI (tipo de sustrato, pendiente de la playa, patrón de corrientes, vías de acceso y aspectos sociales para evitar impactos de las actividades humanas).

La temperatura del agua, salinidad, clorofila *a* y turbiedad se registraron 3 veces al día (9:00-10:00, 13:00-14:00 y 17:00-18:00 h) junto a las camas del tratamiento de marea baja. La temperatura y la salinidad se midieron con un monitor multiparamétrico portátil modelo YSI 556 MPS. Para determinar la clorofila *a* se siguió el método de Strickland y Parsons (1972). Para esto, las muestras de agua se filtraron a través de filtros de fibra de vidrio Whatman (GF/F, 0.7 μ m de porosidad) con una bomba de vacío manual y se protegieron de la luz durante la filtración; posteriormente, los filtros se almacenaron en un sobre de papel de aluminio en hielo durante no más de 1 h en una hielera y, finalmente, se congelaron a –20 °C hasta que se extrajo el pigmento. La extracción se llevó a cabo con acetona al 90% durante 24 h según lo recomendado por Strickland y Parsons 1972, y las lecturas se realizaron a 664 nm con un espectrofotómetro. Las concentraciones de clorofila *a* se calcularon de acuerdo con las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey (1975). La turbiedad se estimó mediante un disco Secchi estándar de 30 cm de diámetro, pintado en cuadrantes alternantes blancos y negros. Posteriormente, para cada mes del estudio, se determinó el índice de estado trófico (IET) de Carlson (1977) y Carlson y Simpson (1996) para el agua en el sitio de cultivo con las mediciones de clorofila *a* y transparencia de la columna de agua. Carlson y Simpson (1996) definieron 4 categorías de acuerdo con los valores del IET; oligotróficos (IET < 30), mesotróficos (IET > 30 < 60), eutrófico (IET > 60 < 90) e hipereutrófico (IET > 90).

Sistema de cultivo y diseño experimental

La Figura 1a muestra las dimensiones y la disposición del SCOI. Este consistía en una cama hecha con un estante de varilla corrugada de ½" de 3 m de longitud \times 0.8 m de anchura \times 0.4 m de altura con 5 bolsas ostrícolas de polietileno de alta densidad (1.0 \times 0.5 m y malla de 0.5 cm de luz) atadas en la parte superior. La cama mantenía las bolsas horizontales a 0.4 m por encima del fondo. El mantenimiento se realizó quincenalmente, rotando las bolsas para evitar que los organismos se pegaran entre sí y se deformaran (Tapia-Vázquez et al. 2013).

and the readings were made at 664 nm with a spectrophotometer. Chlorophyll *a* concentrations were calculated according to the equations of Jeffrey and Humphrey (1975). Turbidity was estimated with a standard 30-cm diameter Secchi disk, colored with alternating black and white quadrants. Subsequently, the trophic state of the water at the culture site was determined for each month of the study using the trophic state index (TSI) of Carlson (1977) and Carlson and Simpson (1996), using the measurements of chlorophyll *a* and transparency of the water column. Carlson and Simpson (1996) defined 4 categories according to TSI values; oligotrophic (TSI < 30), mesotrophic (TSI > 30 < 60), eutrophic (TSI > 60 < 90), and hypereutrophic (TSI > 90).

Culture system and experimental design

Figure 1a shows the dimensions and arrangement of the IOBS. This consisted of a bed built with a ½"-corrugated rod rack that was 3 m long × 0.8 m wide × 0.4 m high with 5 high-density polyethylene oyster bags (1.0 × 0.5 m and 0.5-cm mesh) tied to the top. The bed kept the bags horizontal at 0.4 m from the bottom. Maintenance was carried out fortnightly, and bags were rotated to prevent the organisms from sticking together and deforming (Tapia-Vázquez et al. 2013).

Three beds with 5 oyster bags each were installed at 3 different tide levels (high, intermediate, and low) on the beach of the selected site (Fig. 1b). To determine the exact place of each level, the mean sea level (MSL) (corresponding to the intermediate treatment) was marked first with a wooden stake knocked into the substrate when the MSL was indicated on tide tables of San Blas, Nayarit (<https://tablademareas.com/mx/nayarit/san-blas>), during a spring tide of April 2017. This site has semi-diurnal tides of 9 h 8 min, with a maximum amplitude of just over 1 m and an average of 70 cm (DIGAOHM 2022). The high and low levels were marked with the same procedure at 14 cm and -41 cm from MSL, respectively (Fig. 1b). Because of the moderate slope of the beach selected, the distance between high and low beds was only 20 m.

Experimental organisms

A total of 4,500 *C. corteziensis* spat (39.3 ± 0.1 mm shell length, 32.2 ± 0.1 mm shell width, 14.7 ± 0.0 mm shell thickness, and 9.4 ± 0.3 g wet weight) that detached during harvesting were collected from the boats of oyster farmers. These were stocked in the bags at 100 spat per bag ($500 \cdot \text{bed}^{-1}$). As indicated previously, 3 replicates were used for treatment, giving a total of 15 bags per treatment and a total of 45 bags for the whole experiment. An extra bed with 5 bags containing 100 oysters was cultured at each tidal level to replace the dead oysters at each sampling date and eliminate the effect of lowering density on growth estimations throughout the experiment. The oysters used for replacements were

Se instalaron 3 camas con 5 bolsas de ostras cada una a 3 niveles diferentes de marea (alta, intermedia y baja) en la playa del sitio seleccionado (Fig. 1b). Para determinar el lugar exacto de cada nivel, primero se marcó el nivel medio del mar (NMM) (que correspondió al tratamiento de marea intermedia) enterrando en el substrato una estaca de madera en la orilla del agua cuando las tablas de mareas de San Blas, Nayarit (<https://tablademareas.com/mx/nayarit/san-blas>), indicaron el NMM durante una marea de primavera de abril de 2017. Este lugar presenta mareas semidiurnas de 9 h 8 min, con una amplitud máxima de poco más de 1 m y un promedio de 70 cm (DIGAOHM 2022). Los niveles alto y bajo se marcaron con el mismo procedimiento a 14 cm y -41 cm del NMM, respectivamente (Fig. 1b). Debido a la pendiente moderada de la playa seleccionada, la distancia entre camas de los tratamientos de marea alta y baja era de solo 20 m.

Organismos experimentales

Un total de 4,500 juveniles de *C. corteziensis* (39.3 ± 0.1 longitud de concha, 32.2 ± 0.1 anchura de concha, 14.7 ± 0.0 mm espesor de la concha y 9.4 ± 0.3 g de peso húmedo) que se desprendieron durante la cosecha se recolectaron de las embarcaciones de los ostricultores. Estos se almacenaron en las bolsas a 100 juveniles por bolsa ($500 \cdot \text{cama}^{-1}$). Como se indicó anteriormente, se utilizaron 3 réplicas para el tratamiento, dando un total de 15 bolsas por tratamiento y un total de 45 bolsas para todo el experimento. Se cultivó una cama adicional en cada nivel de marea con 5 bolsas que contenían 100 ostras para reemplazar las ostras muertas en cada fecha de muestreo y, con ello, eliminar el efecto de la reducción de la densidad en las estimaciones de crecimiento a lo largo del experimento. Las ostras utilizadas para los reemplazos fueron aproximadamente del mismo tamaño que la población modal en cada bolsa.

Tiempos de emersión a diferentes niveles de marea

Los periodos de exposición al aire de las bolsas de ostras se determinaron para cada mes del experimento, sumando el tiempo (h) durante el cual la marea fue inferior a 14 cm, NMM y -41 cm, para los tratamientos de marea alta, intermedia y baja, respectivamente, utilizando las tablas de mareas de San Blas, Nayarit (<https://tablademareas.com/mx/nayarit/san-blas>). Los tiempos totales de emersión (días) en cada tratamiento se dividieron por el tiempo de duración del experimento (140 días) y se multiplicaron por 100 para obtener el porcentaje del tiempo experimental durante el cual las ostras estuvieron expuestas al aire.

Crecimiento

La biometría se realizó cada 30 días con mediciones de 10 ostras seleccionadas al azar de cada una de las 15 bolsas por

selected to be of approximately the same size as the modal population in each bag.

Emerision times at different tidal levels

The periods of air exposure of the oyster bags were determined for each month of the experiment by adding up the time (h) during which the tide was lower than 14 cm, MSL, and -41 cm, for high, intermediate, and low treatments, respectively, with the tide tables of San Blas, Nayarit (<https://tablademareas.com/mx/nayarit/san-blas>). Total times of emersion (days) at each treatment were divided by the duration time of the experiment (140 days) and multiplied by 100 to obtain the percentage of the experimental time during which oysters were exposed to the air.

Growth

Biometrics were performed every 30 days with measurements from 10 oysters selected at random from each of the 15 bags per treatment. Considering the 3 treatments, a total of 45 bags were sampled on each occasion. Shell length, width, and thickness were measured with a Vernier caliper with 0.01-mm precision, and the weight was obtained with an electronic scale. Oysters were returned to their corresponding bags after the measurements were taken. With this data, monthly averages \pm SD were calculated and were plotted. The gross growth rate (GGR) ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$, $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) was obtained at the end of the experiment with the following formula (Rodríguez-Quiroz et al. 2016), considering 140 days of the experiment:

$$\text{GGR} = \frac{\text{FL} - \text{IL}}{t} \quad , \quad (1)$$

where: FL = average final shell dimension or wet weight on day t , IL = average initial shell dimension or wet weight on day 1, and t = number of days.

The absolute (AMGR) and relative (RMGR) monthly growth rates were also calculated for shell length and weight only. The former indicates the daily growth ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) in a restricted period (days) calculated every month to identify those months at which growth was maximum throughout the culture period. Similarly, RMGR shows the daily growth in a restricted period (days) which is calculated every month but expressed as percentage. Both indicators were related with the environmental conditions prevailing in that particular period and were calculated with the following equations:

$$\text{AMGR} = (Y_2 - Y_1)/(t_2 - t_1) \quad ; \quad (2)$$

$$\text{RMGR} = (Y_2 - Y_1/Y_1)(t_2 - t_1) \times 100 \quad , \quad (3)$$

where Y_2 is the shell dimension or weight at the end of the given period, Y_1 is the shell dimension or weight at the

tratamiento. Teniendo en cuenta los 3 tratamientos, se muestrearon un total de 45 bolsas en cada ocasión. La longitud, el ancho y el grosor de la concha se midieron con un calibrador Vernier de precisión de 0.01 mm, y el peso se obtuvo con una báscula electrónica. Las ostras fueron devueltas a sus bolsas correspondientes después de las mediciones. Con estos datos, se calcularon y graficaron los promedios mensuales \pm desviación estándar (DE). La tasa de crecimiento bruto (TCB) ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ o $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) se obtuvo al final del experimento con la siguiente fórmula (Rodríguez-Quiroz et al. 2016), considerando 140 días del experimento:

$$\text{TCB} = \frac{\text{DF} - \text{DI}}{t} \quad , \quad (1)$$

donde: DF es la dimensión final promedio de la concha o peso húmedo en el día t , DI es la dimensión inicial promedio de la cáscara o peso húmedo en el día 1 y t es el número de días.

Las tasas de crecimiento mensual absolutas (TCMA) y relativas (TCMR) también se calcularon solo para la longitud y el peso de la concha. El primero indica el crecimiento diario ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) en un periodo restringido (días) calculado cada mes para identificar aquellos meses en los que el crecimiento fue máximo durante todo el periodo de cultivo. Del mismo modo, la TCMR muestra el crecimiento diario en un periodo restringido (días) que se calcula cada mes, pero se expresa como porcentaje. Ambos indicadores se relacionaron con las condiciones ambientales prevalecientes en ese periodo en particular, y se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$\text{TCMA} = (Y_2 - Y_1)/(t_2 - t_1) \quad ; \quad (2)$$

$$\text{TCMR} = (Y_2 - Y_1/Y_1)(t_2 - t_1) \times 100 \quad , \quad (3)$$

donde Y_2 es la dimensión o peso de la concha al final del periodo dado, Y_1 es la dimensión o peso de la concha al inicio del periodo dado y $t_2 - t_1$ es la duración del periodo dado (días).

Dimensiones de la concha de las ostras y relaciones de peso

Para determinar el efecto de la exposición al aire en las dimensiones de la concha y el peso de la ostra, se trazaron todas las dimensiones de la concha (longitud, anchura y altura) y el peso húmedo de *C. corteziensis* cultivada en 3 niveles de marea. Se realizó un análisis de regresión para determinar la dispersión de los datos de una relación dada a través de los coeficientes de determinación (R^2) y las pendientes (b) de las líneas del modelo con mejor ajuste. Los valores de las pendientes de esas relaciones se consideraron isométricos ($b = 3$) o alométricos ($b < 0 > 3$) según Serrano-Guzmán (2003).

beginning of the given period, and $t_2 - t_1$ is the duration of the given period (days).

Oyster shell dimensions and weight relationships

To determine the effect of air exposure on shell dimensions and oyster weight, all shell dimensions (length, width, and height) and wet weight of *C. corteziensis* cultured at 3 tidal levels were plotted. A regression analysis was performed to determine the dispersion of the data of a given relationship through the determination coefficients (R^2) and the slopes (b) of the model lines with the best fit. The values of the slopes from those relationships were considered isometric ($b = 3$) or allometric ($b < \text{or} > 3$) according to Serrano-Guzmán (2003).

Mortality

Organism mortality per bag was recorded each fortnight throughout the experiment. The average mortality of all bags from a given treatment was calculated at each sampling event and converted to percentage values considering 100 oysters per bag. The mean cumulative mortality was calculated by adding up the number of dead organisms of all the bags of each treatment at each sampling throughout the experiment.

Statistics

A one-way analysis of variance (ANOVA) was applied to the temperature, salinity, chlorophyll *a*, and turbidity data of the water between the months of the experiment. An ANOVA was also applied to the growth data between treatments to calculate the gross growth rate, to the height and weight data between the treatments by month of the experiment and between the months of the experiment by treatment. A regression analysis was performed to determine the dispersion of data of shell dimensions and total wet weight. All analyses were performed after applying the Kolmogorov–Smirnov normality test ($\alpha = 0.05$) and Bartlett homogeneity of variances ($\alpha = 0.05$). Significant differences were determined using Tukey's multiple comparisons method, and the significance level considered was $P < 0.05$. All tests were performed with the statistical software SIGMASTAT V3.1 (2004).

RESULTS

Physicochemical variables and trophic state index

Figure 2a, b shows the average monthly values of the environmental variables of temperature, salinity, chlorophyll *a*, and turbidity. Mean temperature was 27.2 °C in April, peaked to 34.6 °C in July, and then declined to 31.9 °C in August. Salinity remained stable at 32 in April and May and then dropped to 14.7 and 13.6 in July and August, respectively.

Mortalidad

La mortalidad de los organismos se registró en cada bolsa quincenalmente durante todo el experimento. La mortalidad promedio de todas las bolsas de un tratamiento dado se calculó en cada evento de muestreo y se convirtió a valores porcentuales considerando 100 ostras por bolsa. La mortalidad acumulada media se calculó sumando el número de organismos muertos de todas las bolsas de cada tratamiento en cada muestreo, a lo largo del experimento.

Estadística

Se aplicó un análisis unidireccional de varianza (ANDEVA) a los datos de temperatura, salinidad, clorofila *a* y turbiedad del agua entre los meses del experimento. También se aplicó un ANDEVA a los datos de crecimiento entre tratamientos para el cálculo de la tasa de crecimiento bruto, a los datos de altura y peso entre los tratamientos por mes del experimento y entre los meses del experimento por tratamiento. Se realizó un análisis de regresión para determinar la dispersión de los datos de las dimensiones de la concha y el peso húmedo total. Todos los análisis se realizaron después de aplicar la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0.05$) y la homogeneidad de las varianzas de Bartlett ($\alpha = 0.05$). Las diferencias significativas se determinaron utilizando el método de comparaciones múltiples de Tukey, y el nivel de significancia considerado fue $P < 0.05$. Todas las pruebas se realizaron con el software estadístico SIGMASTAT V3.1 (2004).

RESULTADOS

Variables fisicoquímicas e índice de estado trófico

Los valores medios mensuales de las variables ambientales de temperatura, salinidad, clorofila *a* y turbiedad se muestran en la Figura 2a, b. La temperatura media en abril fue 27.2 °C, alcanzó su punto máximo en julio con 34.6 °C y disminuyó a 31.9 °C en agosto. La salinidad se mantuvo estable en 32 en abril y mayo y disminuyó a 14.7 y 13.6 en julio y agosto, respectivamente. La clorofila *a* fue baja (20 mg·m⁻³) de abril a junio, después se registró un aumento repentino a valores 7 veces mayores en los meses siguientes y alcanzó 154 mg·m⁻³ en agosto. Por el contrario, la turbiedad fue alta entre los 64 y 70 cm de profundidad del disco Secchi de abril a junio y, posteriormente, disminuyó rápidamente a 44 y 21 cm en julio y agosto, respectivamente. Se obtuvieron coeficientes de correlación negativos significativos ($P < 0.05$) entre la temperatura y salinidad y entre la clorofila *a* y turbiedad (Tabla 1). Se observó una correlación negativa pero no significativa entre la salinidad y la clorofila *a*, y se observó una correlación positiva pero no significativa entre la salinidad y la turbiedad. Los valores medios de clorofila *a* y profundidad del disco de Secchi en diferentes meses se usaron para

Chlorophyll *a* was low ($20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) from April to June, then a sudden 7-fold increase was recorded the following months and reached $154 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ in August. Conversely, turbidity remained high between 64 and 70 cm Secchi disk depth from April to June and then rapidly dropped to 44 and 21 cm in July and August, respectively. Significant ($P < 0.05$) negative correlation coefficients between temperature and salinity and between chlorophyll *a* and turbidity were obtained (Table 1). A negative but non-significant correlation was observed

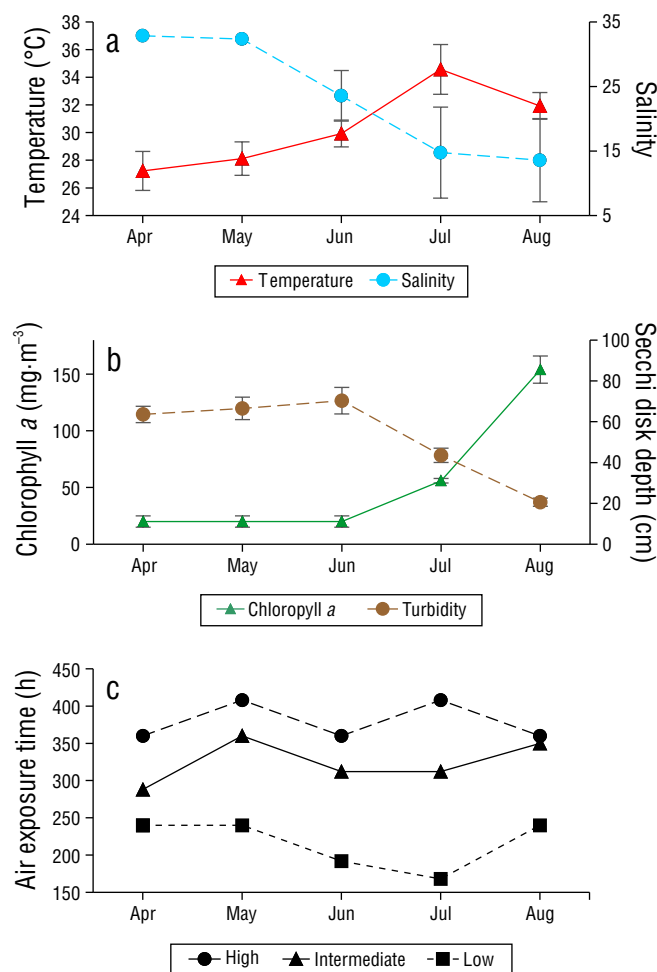


Figure 2. Environmental variables of the water in Boca de Camichín Estuary, Nayarit, from April to August 2017. (a) Temperature and salinity, (b) chlorophyll *a* concentration ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) and turbidity measured with the Secchi Disk (cm). Each value represents the mean of 90 readings \pm SD of the mean. (c) Monthly emersion times of the oyster bags at different tidal levels.

Figura 2. Variables ambientales del agua en el estero Boca de Camichín Nayarit, de abril a agosto de 2017. (a) Temperatura y salinidad, (b) concentración de clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y turbidez medidas con el Disco de Secchi (cm). Cada valor representa la media de 90 lecturas \pm desviación estandar de la media. (c) Tiempos de inmersión mensuales de las bolsas de ostras en diferentes niveles de marea.

determinar que el IET fue de 60 de abril a junio, lo que corresponde a un estado mesotrófico del agua. En julio y agosto, el IET aumentó a 70 y 80, respectivamente, lo que indica que el agua estaba en estado eutrófico.

Tiempos de emersión a diferentes niveles de marea

Los tiempos de emersión calculados basados en tablas de mareas (Fig. 2c) indican un tiempo total de emersión para los tratamientos alto, intermedio y bajo de 1,896 h (79 días), 1,632 h (68 días) y 1,080 h (45 días), respectivamente. Considerando 140 días de duración del experimento, estos tiempos indican que las ostras estuvieron expuestas al aire 56.4%, 48.6% y 32.1% del tiempo del experimento, respectivamente.

Crecimiento

La Figura 3 presenta el crecimiento en longitud, anchura, grosor y peso. El crecimiento de todas las dimensiones medidas fue más alto en el tratamiento de marea baja y más bajo en el tratamiento de marea alta. Estos resultados fueron confirmados por la obtención de las tasas de crecimiento bruto significativas ($P < 0.05$) en la longitud de la concha ($0.150 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$) y el peso húmedo ($0.204 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$) en el tratamiento de marea baja, seguido del tratamiento de marea intermedia ($0.095 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, $0.125 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$) y alta ($0.088 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, $0.107 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$) (Tabla 2). La Tabla 3 muestra los indicadores mensuales de longitud de la concha y crecimiento del peso húmedo. Para el tratamiento de marea baja, las tasas de crecimiento absoluto y relativo fueron más altas en abril; sin embargo, para los tratamientos de marea intermedia y alta, las tasas fueron más altas en junio. Sin embargo, si se considera el peso húmedo (Tabla 3), los valores más altos de ambos indicadores se obtuvieron en junio en todos los tratamientos.

Relaciones de las dimensiones de la concha y peso

Las relaciones de todas las dimensiones de la concha (longitud, anchura y altura) y el peso húmedo total de *C. corteziensis* cultivado en 3 niveles de marea se presentan en la Figura 4. Estas relaciones se usaron para el análisis de regresión realizado que produjo los coeficientes de determinación (R^2) y las pendientes (b) mostrados en la Tabla 4. Los coeficientes R^2 fueron superiores a 0.86, y no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre coeficientes de la misma relación en los diferentes niveles de marea. Sin embargo, las pendientes de las relaciones para los diferentes tratamientos muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) en la relación longitud-espesor de la concha en el tratamiento de marea alta, así como en la relación longitud de la concha-peso total en los tratamientos de marea alta e intermedia. Esto indica que la exposición al aire reduce el grosor de la concha y el peso de las ostras. Las relaciones longitud-anchura, longitud-espesor y anchura-espesor de todos los tratamientos y la relación espesor-peso de los tratamientos de

between salinity and chlorophyll *a*, and a positive but not significant correlation was observed between salinity and turbidity. The average chlorophyll *a* and Secchi disk depth values for different months were used to determine that the TSI was 60 from April to June, which indicated that the water was in a mesotrophic state. In July and August, the TSI increased to 70 and 80, respectively, which indicates that the water was in a eutrophic state.

Emersion times at different tidal levels

The calculated emersion times based on tide tables (Fig. 2c) indicate a total emersion time for the high, intermediate, and low treatments of 1,896 h (79 days), 1,632 h (68 days), and 1,080 h (45 days), respectively. Considering 140 days of the duration of the experiment, these times indicate that the oysters were exposed to the air 56.4%, 48.6%, and 32.1% of the time of the experiment, respectively.

Growth

Figure 3 shows growth in length, width, thickness, and wet weight. Growth of all dimensions measured was highest in the low tide treatment and lowest in the high tide treatment. These results were confirmed by the significant ($P < 0.05$) gross growth rates in shell length ($0.150 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and wet weight ($0.204 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) obtained with the low tide treatment, followed by the intermediate tide ($0.095 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, $0.125 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) and high tide ($0.088 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, $0.107 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) treatments (Table 2). Table 3 shows the monthly shell length and wet weight growth indicators. For the low tide treatment, the absolute and relative growth rates were highest in April; however, for the intermediate and high tide treatments, the rates were highest in June. Nevertheless, if wet weight is considered (Table 3), the highest values of both indicators were obtained in June for all treatments.

Oyster shell dimensions and weight relationships

Figure 4 shows the relationships of all shell dimensions (length, width, and height) and total wet weight of *C. corteziensis* cultured at 3 tidal levels. These relationships were used for the regression analysis performed that produced the determination coefficients (R^2) and the slopes (b) shown in Table 4. R^2 coefficients were higher than 0.86, and no significant ($P > 0.05$) differences were found between coefficients of the same relationship at the different tidal levels. However, the slopes of the relationships for different treatments showed significant ($P < 0.05$) differences in shell length–thickness relationship in the high tide treatment and in the shell length–total weight relationship in the high and intermediate tide treatments. This indicates that air exposure reduces shell thickness and weight of oysters. The length–width, length–thickness, and width–thickness relationships for all treatments and the thickness–weight relationship of

Table 1. Correlation coefficients between the 4 environmental variables studied.

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre las cuatro 4 variables ambientales estudiadas.

Variables	Temperature	Salinity	Chlorophyll <i>a</i>
Salinity	–0.93*		
Chlorophyll <i>a</i>	0.53	–0.76	
Turbidity	–0.65	0.81	–0.97*

(*) = Significance at $P < 0.05$

marea intermedia y baja presentaron pendientes alométricas negativas (Tabla 4). Se observaron relaciones isométricas para la longitud-peso en todos los tratamientos, el ancho-peso en los tratamientos de marea alta e intermedia y para el espesor-peso en el tratamiento de marea alta. Sólo la relación ancho-peso fue alométrica positiva.

Mortalidad

La mortalidad total registrada a lo largo del estudio fue mayor (28.0%) en el tratamiento de marea alta, seguida de los tratamientos de marea baja (18.5%) e intermedia (16.4%). La mortalidad fluctuó entre 0% y 3% en cada muestreo para todos los tratamientos. Sin embargo, la mortalidad alcanzó un máximo de ~8% en el primer muestreo en abril y 2 veces en julio y a mediados de agosto en el tratamiento de marea alta. El tratamiento de marea alta produjo la mayor tasa de mortalidad, mientras que los tratamientos de marea intermedia y baja produjeron prácticamente la misma mortalidad.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo ofrecen una alternativa viable a la acuicultura en balsa de *C. corteziensis* en Boca de Camichín, Nayarit, México. El SCOI se utilizó en este experimento con éxito y su uso podría aplicarse en otras áreas con condiciones ambientales similares. En Nayarit y otros estados del Pacífico mexicano, las ostras se cultivan tradicionalmente en balsas y en canastas Nestier en suspensión utilizando el sistema de palangre, pero a mayores costos y resultados variables. Ramírez-Filippini et al. (1990) compararon el crecimiento y la mortalidad de *Crassostrea gigas* cultivados en el SCOI vs. los cultivados en canastas suspendidas. Los autores encontraron tasas de crecimiento más altas, menor mortalidad y mayor resistencia al manejo en el SCOI en comparación con las canastas suspendidas. Es probable que el costo de operación de SCOI sea mucho más barato que el sistema de balsas debido al ahorro de combustible (las operaciones se pueden hacer caminando) con menor riesgo de pérdidas por hundimiento causadas por tormentas tropicales y huracanes. Además, la exposición al aire durante

the intermediate and low tide treatments had negative allometric slopes (Table 4). Isometric relationships were observed for length–weight in all treatments, width–weight in the high and intermediate treatments, and thickness–weight in the high treatment. Only the width–weight relationship was positive allometric.

Mortality

Total mortality recorded throughout the study was higher (28.0%) for the high tide treatment followed by the low

emersión disminuye o elimina la bioincrustación y reduce los costos de mantenimiento. Otra ventaja destacada por este trabajo es el uso de la semilla obtenida de las cuerdas colgantes en la cosecha para la producción de ostras. Actualmente, millones de juveniles de 1-3 cm se lanzan por la borda de las embarcaciones en Boca de Camichín, lo que resulta en bajos rendimientos de ostras buceadas, probablemente debido a la depredación y la falta de sustrato apropiado. Se descarta la idea de trasplantarlos a otras áreas para evitar la propagación de patógenos. Sin embargo, esta semilla podría ser aprovechada y cultivada en el SCOI como se ha demostrado

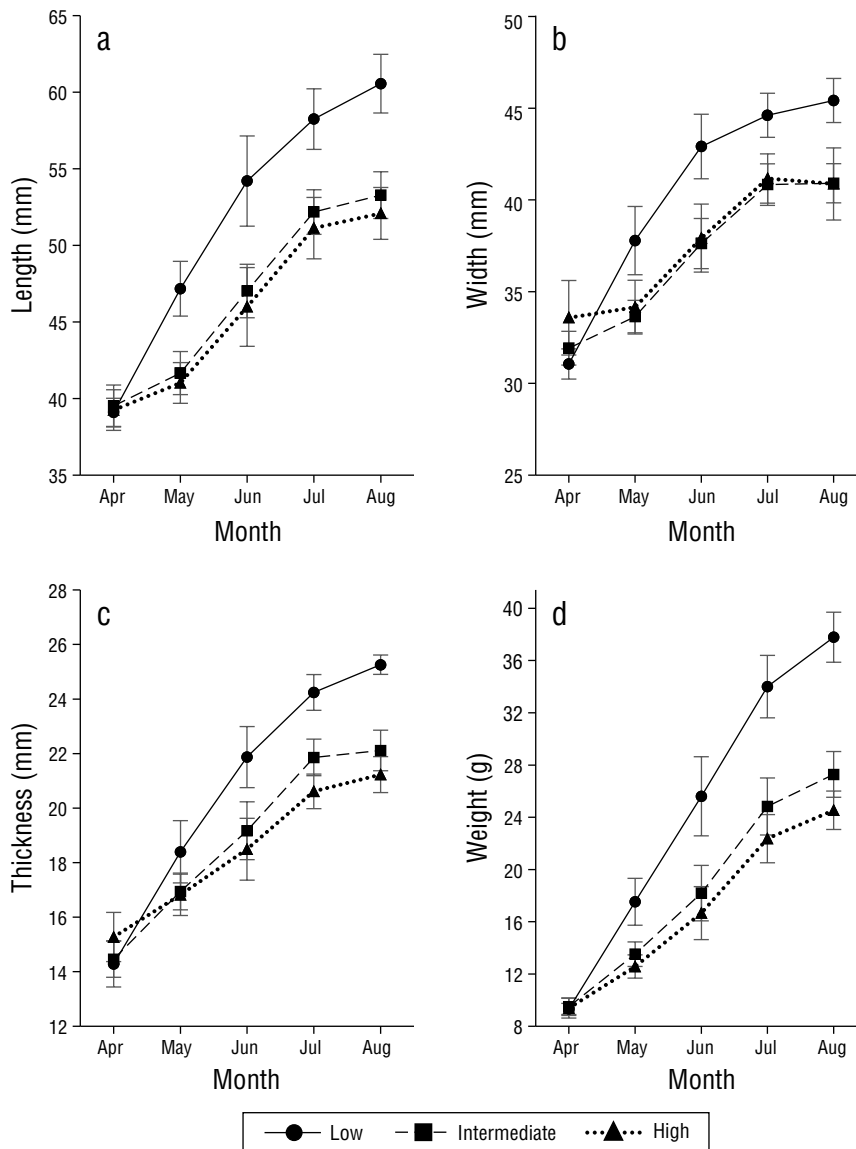


Figure 3. Growth in shell length (a), width (b), thickness (c), and wet weight (d) of *Crassostrea corteziensis* spat, cultured in bags of oyster bed system at 3 tidal levels from April to August 2017, in Boca de Camichín, Nayarit, Mexico. Each bag contained 100 oysters. Values are the mean ± SD, n = 150.

Figura 3. Crecimiento en longitud de concha (a), ancho (b) y espesor (c), y en peso húmedo (d) de semilla de *Crassostrea corteziensis*, cultivada en bolsas de sistema de criaderos de ostras en tres niveles de marea de abril a agosto de 2017, en Boca de Camichín, Nayarit, México. Cada bolsa contenía 100 ostras. Los valores son la media ± desviación estándar, n = 150.

Table 2. Monthly shell length and total wet weight growth indicators of *Crassostrea corteziensis* grown at different tidal levels from April to August 2017. Highest values of growth indicators of the different treatments are indicated in bold.

Tabla 2. Indicadores mensuales de crecimiento de longitud de concha y peso húmedo total de *Crassostrea corteziensis* cultivada en diferentes niveles de marea de abril a agosto de 2017. Los valores más altos de los indicadores de crecimiento de los diferentes tratamientos se indican en negrita.

Month	Length (mm)				Absolute growth rate (mm·d ⁻¹ × 10 ⁻³)				Relative growth rate (%·d ⁻¹)			
	High	Intermed.	Low	High	Intermed.	Low	High	Intermed.	Low	High	Intermed.	Low
Initial	39.3 ± 0.1 ^{Ad}	39.5 ± 0.0 ^{Ae}	39.1 ± 0.1 ^{Ad}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
April	40.3 ± 0.1 ^{Ae}	40.5 ± 0.0 ^{Ae}	45.8 ± 0.0 ^{Be}	4.6 ± 0.3	4.3 ± 0.3	30.6 ± 3.9	0.45 ± 0.28	0.43 ± 0.28	3.06 ± 0.39	0.45 ± 0.28	0.43 ± 0.28	3.06 ± 0.39
May	43.6 ± 0.1 ^{Ab}	45.0 ± 0.0 ^{Bb}	51.2 ± 0.1 ^{Cb}	10.8 ± 0.7	14.8 ± 0.9	17.3 ± 3.2	0.85 ± 0.29	1.08 ± 0.65	2.37 ± 0.26	0.85 ± 0.29	1.08 ± 0.65	2.37 ± 0.26
June	51.0 ± 0.0 ^{Aa}	51.8 ± 0.1 ^{Ba}	57.9 ± 0.1 ^{Ca}	24.7 ± 4.0	22.5 ± 2.1	22.4 ± 0.9	1.45 ± 0.13	1.52 ± 0.12	2.32 ± 0.48	1.45 ± 0.13	1.52 ± 0.12	2.32 ± 0.48
July	51.4 ± 0.0 ^{Aa}	52.4 ± 0.1 ^{Ba}	59.2 ± 0.1 ^{Ca}	1.2 ± 1.2	2.0 ± 0.02	4.2 ± 0.6	1.07 ± 0.59	1.14 ± 0.84	1.78 ± 0.18	1.07 ± 0.59	1.14 ± 0.84	1.78 ± 0.18
August	51.7 ± 0.0 ^{Aa}	52.9 ± 0.1 ^{Ba}	60.2 ± 0.1 ^{Ca}	1.4 ± 0.3	1.8 ± 0.6	3.7 ± 0.7	0.90 ± 0.43	0.96 ± 0.80	1.52 ± 0.20	0.90 ± 0.43	0.96 ± 0.80	1.52 ± 0.20
Total weight												
Month	Wet weight (g)				Absolute growth rate (g·d ⁻¹ × 10 ⁻³)				Relative growth rate (%·d ⁻¹)			
	High	Intermed.	Low	High	Intermed.	Low	High	Intermed.	Low	High	Intermed.	Low
Initial	9.4 ± 0.7 ^{Ad}	9.5 ± 0.1 ^{Af}	9.3 ± 0.3 ^{Ae}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
April	11.6 ± 0.6 ^{Ae}	12.2 ± 0.2 ^{Be}	15.4 ± 0.1 ^{Cd}	102.1 ± 5.6	120.6 ± 4.6	274.8 ± 8.5	10.2 ± 0.6	12.1 ± 0.5	27.5 ± 0.8	10.2 ± 0.6	12.1 ± 0.5	27.5 ± 0.8
May	14.6 ± 1.1 ^{Ab}	15.9 ± 0.3 ^{Bd}	22.2 ± 0.3 ^{Cc}	96.6 ± 15.8	120.3 ± 16.6	219.5 ± 8.7	10.3 ± 0.7	12.5 ± 0.8	25.2 ± 0.2	10.3 ± 0.7	12.5 ± 0.8	25.2 ± 0.2
June	20.8 ± 0.6 ^{Aa}	22.7 ± 1.2 ^{Bc}	31.8 ± 1.2 ^{Cb}	205.0 ± 16.9	227.0 ± 30.2	321.9 ± 28.5	14.1 ± 0.2	16.3 ± 1.6	27.8 ± 1.2	14.1 ± 0.2	16.3 ± 1.6	27.8 ± 1.2
July	24.0 ± 0.7 ^{Aa}	26.8 ± 1.2 ^{Bb}	36.9 ± 1.3 ^{Ca}	104.1 ± 3.7	134.1 ± 1.7	164.9 ± 2.2	12.9 ± 0.0	15.3 ± 1.2	24.4 ± 0.9	12.9 ± 0.0	15.3 ± 1.2	24.4 ± 0.9
August	24.4 ± 0.6 ^{Aa}	27.1 ± 1.4 ^{Ba}	37.9 ± 0.9 ^{Ca}	13.4 ± 4.5	9.6 ± 6.1	36.9 ± 14.8	10.8 ± 0.1	12.7 ± 1.1	20.6 ± 0.4	10.8 ± 0.1	12.7 ± 1.1	20.6 ± 0.4

Values are the mean ± standard deviation. $n = 100$. Different uppercase superscripts of the same indicator show statistical differences between treatments at a given month ($P < 0.05$). Different lowercase superscripts of the same indicator show statistical differences between months of the same treatment ($P < 0.05$).

Table 3. Determination coefficients (R^2) and slopes (b) of regressions of shell dimensions and weight of *Crassostrea corteziensis*, cultured at 3 tidal levels for 140 days from April to August 2017.

Tabla 3. Coeficientes de determinación (R^2) y pendientes (b) de regresiones de dimensiones y peso de concha de *Crassostrea corteziensis*, cultivadas en 3 niveles de marea durante 140 días de abril a agosto de 2017.

Treatment	Length–width	Length–thickness	Width–thickness	Length–weight	Width–weight	Thickness–weight
Determination coefficients (R^2)						
High	0.91 ± 0.03 ^a	0.87 ± 0.05 ^a	0.86 ± 0.00 ^a	0.94 ± 0.03 ^a	0.88 ± 0.01 ^a	0.94 ± 0.03 ^a
Intermediate	0.94 ± 0.03 ^a	0.91 ± 0.06 ^a	0.90 ± 0.01 ^a	0.94 ± 0.02 ^a	0.90 ± 0.02 ^a	0.95 ± 0.01 ^a
Low	0.95 ± 0.01 ^a	0.92 ± 0.04 ^a	0.91 ± 0.06 ^a	0.95 ± 0.03 ^a	0.91 ± 0.04 ^a	0.96 ± 0.01 ^a
Slopes of potential regressions (b)						
High	0.77 ± 0.02 ^{a*}	1.02 ± 0.12 ^{b*}	1.24 ± 0.10 ^{a*}	2.86 ± 0.03 ^{b⊕}	3.45 ± 0.09 ^{a⊕}	2.66 ± 0.24 ^{a⊕}
Intermediate	0.82 ± 0.03 ^{a*}	1.21 ± 0.06 ^{a*}	1.43 ± 0.03 ^{a*}	2.97 ± 0.10 ^{ab⊕}	3.49 ± 0.07 ^{a⊕}	2.37 ± 0.02 ^{a*}
Low	0.87 ± 0.06 ^{a*}	1.26 ± 0.07 ^{a*}	1.46 ± 0.11 ^{a*}	3.07 ± 0.07 ^{a⊕}	3.54 ± 0.11 ^{a+}	2.36 ± 0.10 ^{a*}

Different exponent literals in the same column indicate significant differences $P < 0.05$. Values are the mean ± SD; $n = 3$; * = negative allometric; + = positive allometric; ⊕ = isometric.

(18.5%) and intermediate (16.4%) tide treatments. Mortality fluctuated between 0% and 3% at each sampling for all treatments. However, mortality peaked to ~8% in the first sampling in April and twice in July and mid-August in the high tide treatment. The high tide treatment had the highest mortality rate, whereas the intermediate and low tide treatments had practically the same mortality.

DISCUSSION

The results of the present work offer a viable alternative to the raft aquaculture of *C. corteziensis* in Boca de Camichín, Nayarit, Mexico. IOBS was used in this experiment successfully and its use could be applied in other areas with similar environmental conditions. In Nayarit and other states in the Mexican Pacific, oysters are traditionally cultivated in rafts and in suspended Nestier trays using the long-line system, but at higher costs and variable results. Ramírez-Filippini et al. (1990) compared growth and mortality of *Crassostrea gigas* cultured in the IOBS vs. those cultivated in suspended baskets. They found higher growth rates, lower mortality, and higher resistance to handling in the IOBS compared to suspended baskets. The operational cost of IOBS would likely be far cheaper than the raft system due to savings on fuel (operations done on foot) and lower risk of losses from sinking caused by tropical storms and hurricanes. In addition, air exposure during emersion diminishes or eliminates biofouling and lowers maintenance costs. Another advantage highlighted by this work is the use of the spat that detached from the hanging strings at harvest for oyster production. Currently, millions of 1–3-cm spat are thrown overboard in

en el presente trabajo y en otras partes del mundo (Cigarria y Fernández 1998, Cognie et al. 2006, Mallet et al. 2009). En este sistema, las ostras se cultivan individualmente dando como resultado un producto con un valor más alto debido a su forma y tamaño regulares. Además, exponer las ostras al aire durante las mareas bajas, mejora significativamente la calidad del producto (Cáceres-Martínez et al. 1998).

La calidad del agua es esencial para el desarrollo del cultivo de moluscos (Mazón-Suástegui 1996, Wetzel 2001, Kalf 2002). En el presente estudio, la temperatura, la salinidad, la clorofila *a* y la turbiedad fueron monitoreadas cada 15 días, y los resultados indican una coincidencia del periodo de nuestro estudio con la transición de la estación seca a la estación lluviosa en el área, cuando se registraron enormes fluctuaciones de todas las variables. Se produjeron correlaciones negativas pero significativas (Tabla 1) entre la temperatura y salinidad y entre la clorofila *a* y turbiedad. En Boca de Camichín la temperatura promedio fue de 30.3 °C, pero varió de 27.2 °C en abril a 34.6 °C en julio. Hay publicaciones contradictorias sobre la temperatura óptima de crecimiento de *C. corteziensis*. Cáceres-Puig et al. (2007) encontraron valores de 28–30 °C a salinidades de 37 ± 1, mientras que Enríquez-Ocaña et al. (2012) reportaron un mejor desempeño a temperaturas más altas (29–32 °C) y a menor salinidad (35). Estas combinaciones de temperatura y salinidad no se registraron en nuestro estudio ya que la salinidad nunca fue superior a 32.8. Sin embargo, la combinación más cercana se registró en mayo (28.1 °C, 32.4) y junio (29.9 °C, 23.6), lo que coincidió con el mayor crecimiento absoluto y relativo en longitud de concha y peso húmedo (Tabla 3). La temperatura letal media superior (LT₅₀) reportada para *C. corteziensis*

Boca de Camichín, which results in low yields of dived oysters, probably because of predation and lack of appropriate substrate. The idea of transplanting them to other areas is ruled out to avoid the spread of pathogens. However, this spat could be grown-out in the IOBS as shown in the present work and in other parts of the world (Cigarría and Fernández 1998, Cognie et al. 2006, Mallet et al. 2009). In this system, the oysters are cultured individually, which produces a higher-value product because of its regular shape and size. In addition, exposing the oysters to the air during low tides significantly improves the quality of the product (Cáceres-Martínez et al. 1998).

Water quality is essential for the development of shellfish culture (Mazón-Suástegui 1996, Wetzel 2001, Kalff 2002).

es de 32 °C (Cáceres-Puig et al. 2007) cuando se expone durante 96 h. En este trabajo la temperatura máxima registrada en julio superó la LT_{50-96h} (34.6 °C) lo que puede explicar la mortalidad (8%) registrada en este trabajo en este mes particular del año. La mortalidad no fue superior al 8%, probablemente porque es poco probable que la temperatura se mantuviera constantemente tan alta, a 34.6 °C durante 96 h, debido a la dinámica (corrientes e intercambio de agua con el océano Pacífico) que ocurre en el área de estudio.

Las lluvias en Nayarit ocurren en el verano durante los meses de junio a octubre, con una precipitación media anual en San Blas de 1,452 mm, con la mayor precipitación durante junio, julio, agosto, septiembre y octubre con 150.4, 339.6, 389.9, 395.2 y 105.9 mm, respectivamente (INEGI 2000).

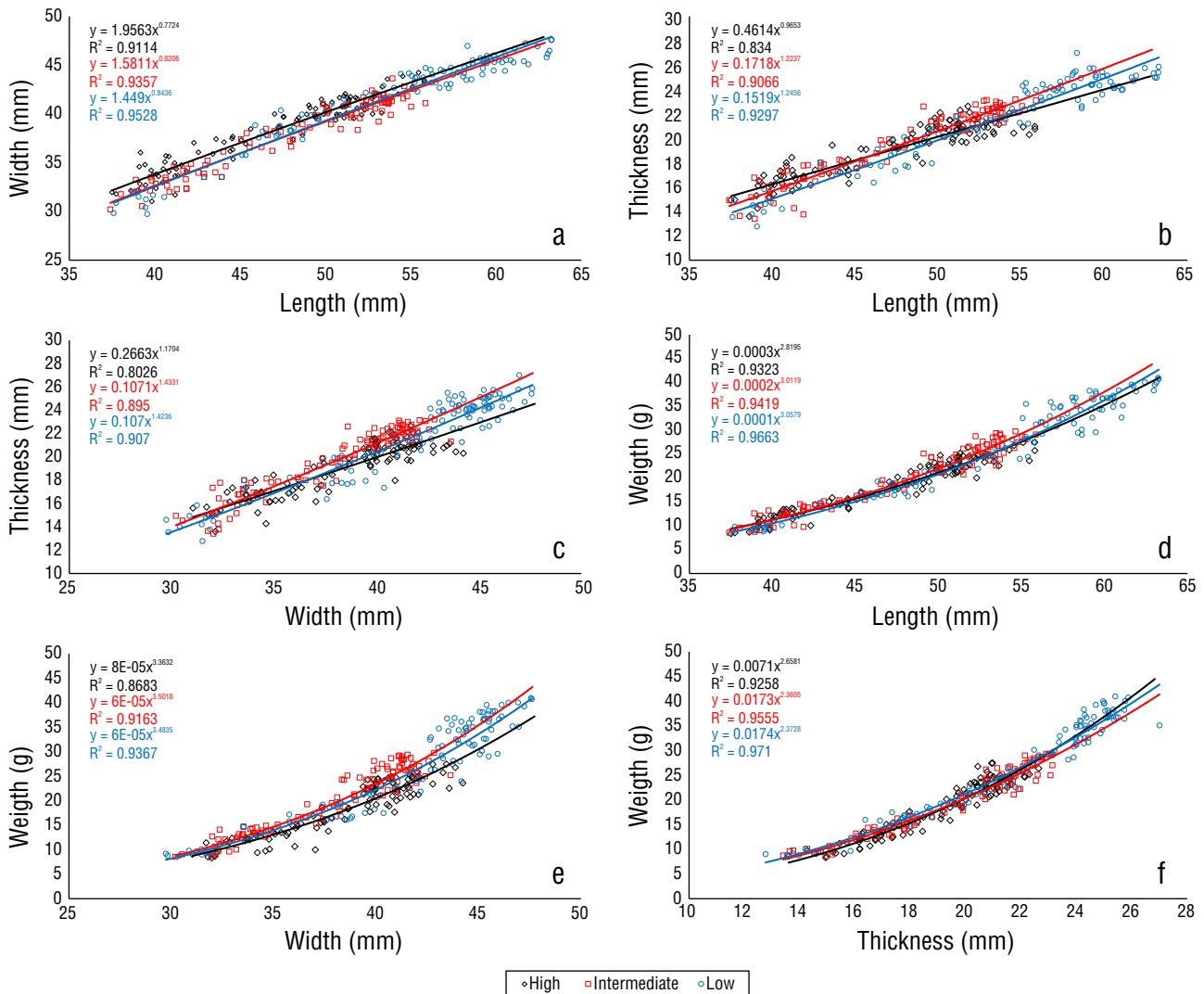


Figure 4. Relationships between shell dimensions and total wet weight of *Crassostrea corteziensis*, grown at different tidal levels in oyster bags, at a density of 100 oyster·bag⁻¹ during 140 days from April to August 2017, in Boca de Camichín, Nayarit, Mexico.

Figura 4. Relaciones entre las dimensiones de la concha y el peso húmedo total de *Crassostrea corteziensis*, cultivada a diferentes niveles de marea en bolsas de ostión, a una densidad de 100 ostra·bolsa⁻¹ durante 140 días de abril a agosto de 2017, en Boca de Camichín, Nayarit, México.

Tabla 4. Tasa de crecimiento bruto en dimensiones de concha y peso húmedo de semilla de *Crassostrea corteziensis* cultivada en 3 niveles de marea en bolsas del sistema de criaderos de ostras, durante la fase de cría de 140 días de abril a agosto de 2017 en Boca de Camichín, Nayarit, México.

Table 4. Gross growth rate in shell dimensions and wet weight of *Crassostrea corteziensis* spat grown at 3 tidal levels in the bags of the oyster bed system, during the nursery phase of 140 days from April to August 2017 in Boca de Camichín, Nayarit, Mexico.

Treatment	Shell length mm·d ⁻¹	Shell width mm·d ⁻¹	Shell height mm·d ⁻¹	Wet weight g·d ⁻¹
High	0.088 ^a	0.051 ^a	0.041 ^a	0.107 ^a
Intermediate	0.095 ^b	0.063 ^b	0.053 ^b	0.125 ^b
Low	0.150 ^c	0.100 ^c	0.079 ^c	0.204 ^c

Different letter superscripts between treatments of the same shell dimension and wet weight indicate significant differences ($P < 0.05$).

In the present study, temperature, salinity, chlorophyll *a*, and turbidity were monitored every fortnight, and the results indicate a coincidence of the period of our study with the transition from the dry season to the rainy season in the area, when huge variations of all variables were recorded. Negative but significant correlations occurred (Table 1) between temperature and salinity and between chlorophyll *a* and turbidity. In Boca de Camichín the average temperature was 30.3 °C, but it varied between 27.2 °C in April and 34.6 °C in July. There are conflicting reports about the optimal temperature for the growth of *C. corteziensis*. Cáceres-Puig et al. (2007) found values of 28–30 °C at 37 ± 1 salinity, whereas Enríquez-Ocaña et al. (2012) reported a better performance at higher temperatures (29–32°C) and lower salinity (35). These combinations of temperature and salinity were not recorded in our study since salinity was never higher than 32.8. However, the closest combination was recorded in May (28.1 °C, 32.4) and June (29.9 °C, 23.6), which coincided with the highest absolute and relative growth in shell length and wet weight (Table 3). The upper median lethal temperature (LT₅₀) reported for *C. corteziensis* is 32 °C (Cáceres-Puig et al. 2007) when exposed for 96 h. In this work the maximum temperature recorded in July exceeded the reported LT₅₀-96 h (34.6 °C), which may explain the mortality (8%) recorded in this work in this particular month of the year. Mortalities were not higher than 8%, probably because it is unlikely that temperature remained steadily high, at 34.6 °C during 96 h, because of the dynamics (currents and water exchange with the Pacific Ocean) occurring in the study area.

In Nayarit, the rainy season occurs in the summer months of June–October, with an average annual rainfall in San Blas of 1,452 mm, with the highest rainfall during June, July, August, September, and October with 150.4, 339.6, 389.9, 395.2, and 105.9 mm, respectively (INEGI 2000). As the rainfall increases in June, salinity drops from 32 (the oceanic salinity) in May to 13.8 in August because of the contribution

A medida que aumentan las precipitaciones en junio, la salinidad cae de 32 (la salinidad oceánica) en mayo a 13.8 en agosto debido a la contribución del río San Pedro. Este río carece de fuentes significativas de contaminación y su agua es de buena calidad para el riego de cultivos debido a su composición química y nutritiva (Can-Chulim et al. 2020). Esto provocó un aumento repentino de la productividad primaria cuando la clorofila *a* pasó de 20 a 154 mg·m⁻³ en solo 2 meses (junio a agosto). Como resultado, hubo una caída concomitante en la transparencia de 70 a 21 mm de profundidad de disco Secchi en el mismo periodo. El incremento repentino de clorofila *a* aparentemente es una característica particular del área de estudio, ya que este fenómeno no ocurre en otras áreas cercanas a Boca de Camichín. Por ejemplo, en Marismas Nacionales y bahía Banderas del estado de Nayarit y otras áreas del estado de Sinaloa como bahía de Santa María-La Reforma, Chiricahueto y Piaxtla-Urías la clorofila *a* nunca fue superior a 20 mg·m⁻³ (Robles-Tamayo et al. 2022). Considerando estas 2 variables, el IET del agua estuvo en estado mesotrófico de abril a junio (i.e., intermedio con respecto a la concentración de clorofila, claridad del agua y plantas acuáticas) y luego se volvió eutrófico de julio a agosto (i.e., aguas extremadamente ricas en nutrientes, con alta productividad biológica). Independientemente del estado eutrófico con alta productividad en julio y agosto, las tasas de crecimiento fueron mayores durante el periodo mesotrófico (abril a junio), probablemente debido a la combinación adversa de alta temperatura con baja salinidad registrada durante el periodo eutrófico.

No se conoce la salinidad letal media inferior en *C. corteziensis* y, por lo tanto, no fue posible relacionar la caída de la salinidad con la mortalidad registrada en julio. Enríquez-Ocaña et al. (2012) determinaron el efecto de 16 combinaciones de temperatura (23, 26, 29 y 32 °C) y salinidad (25, 30, 35 y 40) en la fisiología de alimentación de *C. corteziensis*. Dichos autores encontraron que

of the San Pedro River. This river lacks significant sources of contamination, and its water is of good quality for crop irrigation due to its chemical and nutrient composition (Can-Chulim et al. 2020). This caused a sudden increase of primary productivity when chlorophyll *a* went from 20 to 154 mg·m⁻³ in just 2 months (June to August). As a result, there was a concomitant drop in transparency from 70 to 21 mm Secchi disk depth in the same period. The sudden increment in chlorophyll *a* apparently is a particular feature of the study area, since this phenomenon does not occur in other areas close to Boca de Camichín. For instance, in Marismas Nacionales and Bahía Banderas of the Nayarit State and other areas of Sinaloa State such as Bahía de Santa María-La Reforma, Chiricahueto, and Piaxtla-Urías chlorophyll *a* was never higher than 20 mg·m⁻³ (Robles-Tamayo et al. 2022). Considering these 2 variables, the TSI of the water was in a mesotrophic state (i.e., intermediate with respect to chlorophyll concentration, water clarity, and aquatic plants) from April to June and then became eutrophic (i.e., waters extremely rich in nutrients, with high biological productivity) from July to August. Regardless of the eutrophic state with high productivity in July and August, growth rates were higher during the mesotrophic period (April to June), probably because of the adverse combination of high temperature with low salinity recorded during the eutrophic period.

The lower median lethal salinity in *C. corteziensis* is unknown and, therefore, it was not possible to relate the drop in salinity with the mortalities recorded in July. Enríquez-Ocaña et al. (2012) determined the effect of 16 combinations of temperature (23, 26, 29, and 32 °C) and salinity (25, 30, 35, and 40) on the feeding physiology of *C. corteziensis*. They found that *C. corteziensis* maintains its feeding physiology in the gradient of temperature and salinity evaluated, which characterizes the bivalve as an eurythermal and euryhaline organism, with a better performance at moderate temperatures (29–32°C) and salinities (~35). Nevertheless, the effect of lowered salinity could be masked since intertidal bivalves can isolate from the external media by closing their valves under adverse conditions. In some mollusks such as *Perna perna* and *Scrobicularia plana*, the closing behavior may last for days as a protection strategy (Akberali 1978, Salomão and Lunetta 1989). *Crassostrea corteziensis* probably uses this mechanism as protection when salinity in the estuary drops drastically. In this work, the highest growth and lowest mortality in the optimum tide level were obtained during the mesotrophic period; this indicates that food was available and the species had high plasticity that allowed it to withstand large fluctuations in environmental variables.

Regarding the effect of tidal height on growth and survival within the intertidal zone, oysters grew better at the lowest tide level tested (-41 cm from MSL), where shorter emersion times occur (32.1%), and worst at intermediate (MSL) and high tide level (14 cm from MSL), with emersion times of 48.6% and 56.4%, respectively. A possible explanation is that at lower tide levels, oysters have more time for feeding.

C. corteziensis mantiene su fisiología de alimentación en el gradiente de temperatura y salinidad evaluado, lo que caracteriza al bivalvo como un organismo euritérmico y eurihalino, con un mejor desempeño a temperaturas (29–32°C) y salinidades (~35) moderadas. Sin embargo, el efecto de la disminución de la salinidad podría enmascarse ya que los bivalvos intermareales pueden aislarse de los medios externos cerrando las válvulas en condiciones adversas. En algunos moluscos como *Perna perna* y *Scrobicularia plana* el comportamiento de cierre puede durar algunos días como estrategia de protección (Akberali 1978, Salomão y Lunetta 1989). Este mecanismo es probablemente utilizado por *C. corteziensis* como protección cuando la salinidad en el estuario disminuye drásticamente. En este trabajo, el mayor crecimiento y la menor mortalidad en el nivel óptimo de marea se obtuvieron durante el periodo mesotrófico; esto indica que no hubo limitación de alimentos y que la especie presenta una alta plasticidad que le permite soportar grandes fluctuaciones en las variables ambientales.

En cuanto al efecto de la altura de marea en el crecimiento y la supervivencia, las ostras crecieron mejor en el nivel más bajo de marea probado (-41 cm de NMM), donde ocurren tiempos de emersión más cortos (32.1%), y peor en el nivel intermedio (NMM) y alto (14 cm sobre el NMM), con tiempos de emersión de 48.6% y 56.4%, respectivamente. Una posible explicación es que, en los niveles de marea más bajos, las ostras tienen más tiempo para alimentarse. Quayle y Newkirk (1989) mencionan que las ostras mantenidas en la zona intermareal se ven favorecidas por la turbulencia producida por la marea, lo que aumenta la turbiedad y la disponibilidad de alimento y minimiza los bioincrustantes sobre las ostras y las bolsas. Sin embargo, el nivel de marea en el que se instala el SCOI es de gran importancia. Se demostraron efectos negativos de la emersión prolongada (Figura 4, Tabla 4); las conchas eran más delgadas en relación con la longitud y la anchura, y el peso húmedo disminuyó gradualmente a medida que aumentó el tiempo de emersión. Además, la mortalidad acumulada fue mayor en el tratamiento de marea alta que en los tratamientos de marea intermedia y baja.

En este trabajo, los 3 tratamientos se realizaron en la zona intermareal. Núñez et al. (2010) realizaron un cultivo intermareal y submareal (siempre sumergido) de *Crassostrea rhizophorae*. Estos autores encontraron una mayor tasa de crecimiento y una menor mortalidad en el tratamiento intermareal contra el cultivo submareal, lo que sugiere una ventaja adicional del SCOI sobre el sistema de balsas submareales en Boca de Camichín. En contraste, Chávez-Villalba (2014) encontró un crecimiento más rápido de *C. gigas* cultivada en sistemas sumergidos permanentemente como balsas (0.37 mm·d⁻¹) y bandejas Nestier suspendidas (0.29 mm·d⁻¹) que en el SCOI (0.22 mm·d⁻¹) en la zona intermareal. Se necesita un estudio comparativo para encontrar el mejor sistema específicamente para *C. corteziensis* en el área de estudio.

Según Chávez-Villalba (2014), la mortalidad de ostras resulta de causas naturales (e.g., depredación, enfermedades,

Quayle and Newkirk (1989) mention that oysters kept in the intertidal zone are favored by the turbulence produced by the tide, which increases turbidity and food availability and minimizes fouling over the oysters and bags. However, the tide level at which the IOBS is installed is of high importance. Negative effects of prolonged emersion were demonstrated (Figure 4, Table 4); shells were thinner in relation to length and width, and wet weight gradually decreased as emersion time increased. In addition, cumulative mortality was higher in the high tide treatment than in the intermediate and low tide treatments.

In this work, the 3 treatments were done in the intertidal zone. Nuñez et al. (2010) carried out an intertidal and subtidal (always submerged) culture of *Crassostrea rhizophorae*. These authors found higher growth rate and lower mortality in the intertidal treatment vs. the subtidal culture, which suggests an additional advantage of the IOBS over the subtidal raft system in Boca de Camichín. Conversely, Chávez-Villalba (2014) found faster growth of *C. gigas* cultivated in permanently submerged systems such as rafts ($0.37 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and suspended Nestier trays ($0.29 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) than in the IOBS ($0.22 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) in the intertidal zone. A comparative study is needed to find the best system specifically for *C. corteziensis* in the study area.

According to Chávez-Villalba (2014), oyster mortality results from natural (e.g., predation, diseases, extreme abiotic factors, etc.) and anthropogenic causes (e.g., prolonged exposure to air and sun, handling for maintenance and/or cleaning, fracture of shells due to blows, lack of food due to overcrowding, etc.). Although no precise comparisons could be made, the cumulative mortality in our work of 28.0%, 16.4%, and 18.5% at the high, intermediate, and low tide treatments, respectively, seem to be higher than those reported by Chávez-Villalba et al. (2005, 2008) (30%) for the same species in 13 and 25-month cultures, respectively. Castillo-Durán et al. (2010) reported 0.5% and 5.3% mortality of *C. corteziensis* cultivated in winter and summer, respectively, for 3 months. The mortality in our work, as mentioned before, was higher because of the large fluctuations of environmental variables rather than other factors. The occurrence of pathogenic agents has been reported in *C. corteziensis* from Nayarit (Cáceres-Martínez and Vázquez-Yeomans 2013, Martínez-García et al. 2017). These include *Perkinsus marinus* (Cáceres-Martínez and Vázquez-Yeomans 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012; Cáceres-Martínez et al. 2008, 2010; Navarro-Barrera 2011), Herpesvirus type 1 (OsHV-1) (Martínez-García et al. 2017), and *Marteilia refringens* (Grijalva-Chon et al. 2015). In all cases the intensity of the infections was slightly too moderate and no evidence of unusual mortalities were found in the area (Cáceres-Martínez and Vázquez-Yeomans 2013). This suggests that *C. corteziensis* is immune to those 3 pathogens that are highly virulent for other oyster species or that there is a low prevalence of them in the area. The continuation of the pathological study done by Cáceres-Martínez

factores abióticos extremos, etc.) y antropogénicas (e.g., la exposición prolongada al aire y al sol, la manipulación para mantenimiento y/o limpieza, la fractura de conchas debido a golpes, la falta de alimento debido al hacinamiento, etc.). Aunque no se pudieron hacer comparaciones precisas, la mortalidad acumulada en nuestro trabajo de 28.0%, 16.4% y 18.5% a niveles de marea alta, intermedia y baja, respectivamente, parece ser mayor que la reportada por Chávez-Villalba et al. (2005, 2008) (30%) para la misma especie en cultivos de 13 y 25 meses, respectivamente. Castillo-Durán et al. (2010) reportaron 0.5% y 5.3% de mortalidad en *C. corteziensis* cultivadas en invierno y verano, respectivamente, durante 3 meses. La mortalidad de nuestro trabajo, como se mencionó anteriormente, fue mayor debido a las grandes fluctuaciones de las variables ambientales en lugar de otros factores. Se han reportado casos de presencia de agentes patógenos en *C. corteziensis* de Nayarit (Cáceres-Martínez y Vázquez-Yeomans 2013, Martínez-García et al. 2017). Estos incluyen *Perkinsus marinus* (Cáceres-Martínez y Vázquez-Yeomans 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012; Cáceres-Martínez et al. 2008, 2010; Navarro-Barrera 2011), Herpesvirus tipo 1 (OsHV-1) (Martínez-García et al. 2017) y *Marteilia refringens* (Grijalva-Chon et al. 2015). En todos los casos, la intensidad de las infecciones fue de leve a moderada y no se encontró evidencia de mortalidad inusual en el área (Cáceres-Martínez y Vázquez-Yeomans 2013). Esto sugiere que *C. corteziensis* es inmune a esos 3 patógenos altamente virulentos para otras especies de ostras o que hay una baja prevalencia de ellos en el área. Se recomienda continuar con el estudio anatomopatológico realizado por Cáceres-Martínez y Vázquez-Yeomans (2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012) sobre la población de ostras de Boca de Camichín.

En conclusión, el nivel de marea óptimo para cultivar *C. corteziensis* durante la fase de vivero utilizando el SCOI como equipo de cultivo en Boca de Camichín se encuentra en el nivel más bajo de marea donde se obtuvieron mayores tasas de crecimiento en concha y peso y se registró una menor mortalidad acumulada. Quedan por hacer varios estudios derivados del presente trabajo. Sería interesante extender el periodo de estudio a un ciclo de un año para comparar el crecimiento, la supervivencia y la vida de anaquel de las ostras cultivadas en SCOI contra los obtenidos en balsas. También sería conveniente determinar el momento óptimo para el inicio del ciclo de cultivo debido a la mayor susceptibilidad de la semilla frente a las ostras adultas a altas variaciones ambientales como las registradas en el presente trabajo. Se necesita un estudio económico para comparar los rendimientos contra los costos de inversión y operación de cada sistema.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo técnico, logístico y administrativo de Biól. Rodolfo Navarro Murillo, David López Jiménez y Alejandro Patiño de Unidad Nayarit CIBNOR.

and Vásquez-Yeomans (2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012) on the oyster population from Boca de Camichín is recommended.

In conclusion, the optimum tidal level to cultivate *C. corteziensis* during the nursery phase using the IOBS as culture gear in Boca de Camichín is the lowest tide level, as this produced higher growth rates in shell and weight and lower cumulative mortality. It remains to make several studies derived from the present work. It would be interesting to extend the study period to a one-year cycle to compare growth, survival, and shelf life of oysters cultured in IOBS vs. rafts. In addition, it would be convenient to determine the optimum time to start the cultivation cycle because of the higher susceptibility of spat vs. juvenile or adult oysters to high environmental variations like those recorded in the present work. An economic study is needed to compare the yields vs. costs of investment and operation of each system.

ACKNOWLEDGMENTS

We appreciate the technical, logistical, and administrative support from Biol. Rodolfo Navarro Murillo, David López Jiménez, and Alejandro Patiño from Unidad Nayarit CIBNOR. AGGM thanks Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Tepic, Nayarit, for the facilities used during the data analysis. We also thank the Cooperative Ostricamichin for the field support in Boca de Camichín and Dr. Verónica Cristina García Hernández, M.Sc. Adrián Maldonado Gasca, Dr. Patricia Salazar Silva, Daney González Navarro, José Ángel Ceja González, and Martina Ponce Zavala for their advice and support.

English translation by the authors.

REFERENCES

- Akberali HB. 1978. Behaviour of *Scrobicularia plana* (Da Costa) in water of various salinities. *J Exp Mar Biol Ecol.* 33:237-249. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(78\)90011-4](https://doi.org/10.1016/0022-0981(78)90011-4)
- Cáceres-Martínez J, Macías P, Vásquez-Yeomans R. 1998. *Polydora* sp. infestation and health in the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* cultured in Baja California, NW Mexico. *J Shellfish Res.* 17(1):259-264.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R. 2006. Informes de resultados sanitarios en ostión de placer *Crassostrea corteziensis* al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit (CESANAY). (Internal reports): Instituto de Sanidad Acuícola, AC.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R. 2007. Informes de resultados sanitarios en ostión de placer *Crassostrea corteziensis* al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit (CESANAY). (Internal reports): Instituto de Sanidad Acuícola, AC.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R. 2008. Informes de resultados sanitarios en ostión de placer *Crassostrea corteziensis* al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit (CESANAY). (Internal reports): Instituto de Sanidad Acuícola, AC.
- AGGM agradece al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Tepic, Nayarit, por brindar facilidades durante el análisis de datos. También agradece a la Cooperativa Ostricamichín por el apoyo de campo en Boca de Camichín y a la Dra. Verónica Cristina García Hernández, M. en C. Adrián Maldonado Gasca, Dra. Patricia Salazar Silva, Daney González Navarro, José Ángel Ceja González y Martina Ponce Zavala por sus consejos y apoyo.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R. 2009. Informes de resultados sanitarios en ostión de placer *Crassostrea corteziensis* al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit (CESANAY). (Internal reports): Instituto de Sanidad Acuícola, AC.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R. 2010. Informes de resultados sanitarios en ostión de placer *Crassostrea corteziensis* al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit (CESANAY). (Internal reports): Instituto de Sanidad Acuícola, AC.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R. 2011. Informes de resultados sanitarios en ostión de placer *Crassostrea corteziensis* al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit (CESANAY). (Internal reports): Instituto de Sanidad Acuícola, AC.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R. 2012. Informes de resultados sanitarios en ostión de placer *Crassostrea corteziensis* al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit (CESANAY). (Internal reports): Instituto de Sanidad Acuícola, AC.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R. 2013. Enfermedades, parásitos y episodios de mortalidad de ostiones de importancia comercial en México y sus implicaciones para la producción. *Cienc Pesq.* 21:5-48.
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R, Padilla-Lardizábal G. 2010. Parasites of the pleasure oyster *Crassostrea corteziensis* cultured in Nayarit, Mexico. *J Aquat Anim Health.* 22(3):141-151. <https://doi.org/10.1577/H09-052.1>
- Cáceres-Martínez J, Vásquez-Yeomans R, Padilla-Lardizábal G, del Río-Portilla MA. 2008. *Perkinsus marinus* in pleasure oyster *Crassostrea corteziensis* from Nayarit, Pacific Coast of México. *J Invert Pathol.* 99(1):66-73. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.03.005>
- Cáceres-Puig JI, Abasolo-Pacheco F, Mazón-Suástegui 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(1-4):417-422. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.030>
- Can-Chulim Á, Martínez-Rodríguez ÓG, Ortega-Escobar HM, Cruz-Crespo E, Bojórquez-Serrano JI, García-Paredes JD, Madueño-Molina A. 2020. Calidad del agua para uso agrícola del río San Pedro, Nayarit = Water quality for agricultural use of the San Pedro River, Nayarit. *Rev Mex Cienc Agr.* 11(3):619-633. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2083>
- Carlson RE. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol Oceanogr.* 22(2):361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Carlson RE, Simpson J. 1996. *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods.* Madison (WI): North American Lake Management Society. 92 p.
- Castillo-Durán A, Chávez-Villalba J, Arreola-Lizarraga A, Barraza-Guardado R. 2010. 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. *Cienc Mar*. 36(1):29-39.
<http://doi.org/10.7773/cm.v36i1.1623>
- Chávez-Villalba J. 2014. Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México = Culture of the oyster *Crassostrea gigas*: Analysis of 40 years of activities in Mexico. *Hidrobiológica*. 24(3):175-190.
- Chávez-Villalba J, Hernández-Ibarra A, López-Tapia MR, Mazón-Suástegui JM. 2008. Prospective culture of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* from northwestern Mexico: Growth, gametogenic activity, and condition index. *J Shellfish Res*. 27(4):711-720.
[https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2008\)27\[711:PCOTCO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2008)27[711:PCOTCO]2.0.CO;2)
- Chávez-Villalba J, López-Tapia M, Mazón-Suástegui JM, Robles-Mungaray M. 2005. Growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in Sonora, Mexico. *Aquac Res*. 36(14):1337-1344.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01345.x>
- Cigarria J, Fernández J. 1998. Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) culture in oyster bags: Influence of density on survival, growth and biometric relationships. *J Mar Biol Assoc UK*. 78(2):551-560.
<https://doi.org/10.1017/S0025315400041618>
- Cognie B, Haure J, Barillé L. 2006. Spatial distribution in a temperate coastal ecosystem of the wild stock of the farmed oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*. 259(1-4):249-259.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.037>
- [CONAPESCA] Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. 2017. Anuario estadístico de acuicultura y pesca. Mexico: CONAPESCA. 227 p.
- [DIGAOHM] Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología. 2022. Cuestionarios, San Blas, Nayarit: [SEMAR] Secretaría de Marina; [accessed 2022 Oct 31]. 6 p. <https://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioSanblas.pdf>.
- Enríquez-Ocaña LF, Nieves-Soto M, Piña-Valdez P, Martínez-Cordova LR, Medina-Jasso MA. 2012. Evaluation of the combined effect of temperature and salinity on the filtration, clearance rate and assimilation efficiency of the mangrove oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951). *Arch Biol Sci Belgrade*. 64(2):479-488.
<https://doi.org/10.2298/ABS1202479O>
- Grijalva-Chon JM, Castro-Longoria R, Enríquez-Espinoza TL, Maeda-Martínez AN, Mendoza-Cano F. 2015. Molecular evidence of the protozoan parasite *Marteilia refringens* in *Crassostrea gigas* and *Crassostrea corteziensis* from the Gulf of California. *Lat Am J Aquat Res*. 43(4):776-780.
<https://doi.org/10.3856/vol43-issue4-fulltext-16>
- INEGI. 2000. Síntesis de información geográfica del estado de Nayarit. *Climas*. 4:5.
- Jeffrey SW, Humphrey GF. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem Physiol PFL*. 167(2):191-194.
[https://doi.org/10.1016/S0015-3796\(17\)30778-3](https://doi.org/10.1016/S0015-3796(17)30778-3)
- Kalff J. 2002. *Limnology*. Inland Water System: Prentice Hall. 592 p.
- Mallet LA, Carver CE, Hardy M. 2009. The effect of floating bag management strategies on biofouling, oyster growth and biodeposition levels. *Aquaculture*. 287(3-4):315-323.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.023>
- Martínez-García MF, Grijalva-Chon JM, Castro-Longoria R, Chávez-Villalba JE, Enríquez-Espinoza TL, Maeda-Martínez AN, Peña-Messina E. 2017. OsHV-1 and notifiable protozoa in healthy *Crassostrea corteziensis* cultured in two distant areas of the Gulf of California. *Lat Am J Aquat Res*. 45(4):699-707.
<http://doi.org/10.3856/vol45-issue4-fulltext-6>
- Mazón-Suástegui JM. 1996. Cultivo del ostión japonés *Crassostrea gigas*. In: Casas-Valdez M, Ponce Díaz G (eds.), *Estudio del Potencial Pesquero y Acuicola de Baja California Sur, México*. p. 625-650.
- Navarro-Barrera AA. 2011. Distribución, prevalencia e intensidad de *Perkinsus marinus*, parásito del ostión de placer *Crassostrea corteziensis*, en el estado de Nayarit, México [MSc thesis]. [Mexico]: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 66 p.
- Núñez MP, Lodeiros C, Ramírez E, Narváez N, Graziani C. 2010. Crecimiento y sobrevivencia de la ostra de mangle *Crassostrea rhizophorae* bajo condición de cultivo intermareal y submareal. *Zootec Trop*. 28(2):239-254.
- Quayle DB, Newkirk GF. 1989. *Farming bivalve molluscs: methods for study and development*. Baton Rouge (LA): The World Aquaculture Society. 294 p.
- Ramírez-Filippini D, Chávez-Villalba J, Cáceres-Martínez C. 1990. Cultivo de ostión en costales sobre estantes en la zona intermareal en Bahía de La Paz, B.C.S.: Estudio comparativo de crecimiento y resistencia, con el cultivo en suspensión. In: De la Lanza-Espino G, Arredondo-Figueroa JL (eds.), *La Acuicultura en México: de los Conceptos a la Producción*: UNAM-Instituto de Biología. México. p. 152-161.
- Robles-Tamayo CM, García-Morales R, Romo-León JR, Figueroa-Preciado G, Peñalba-Garmendia MC, Enríquez-Ocaña LF. 2022. Variability of Chl *a* concentration of Priority marine regions of the Northwest of Mexico. *Remote Sens*. 14:4891.
<https://doi.org/10.3390/rs14194891>
- Rodríguez-Quiroz G, García-Ulloa M, Domínguez-Orozco AL, Valenzuela-Hernández TN, Nava-Pérez E, Góngora-Gómez AM. 2016. Relación del crecimiento, condición y supervivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* y las variables ambientales, cultivado en suspensión en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México = Growth, condition and survival relationships of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and environmental variables, cultured in suspension in the Navachiste-Macapule lagoon system, Sinaloa, Mexico. *Rev Biol Mar Ocean*. 51(3):541-551.
<http://doi.org/10.4067/S0718-19572016000300006>
- Salomão LC, Lunetta J. 1989. The effects of salinity changes on the osmotic ionic concentrations in the hemolymph of *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia). *Bol Fisiol Anim*. 13:29-38.
- Serrano-Guzmán SJ. 2003. Análisis prospectivo de las relaciones morfométricas de *Pinna rugosa* Sowerby, 1835 (Bivalvia: Pinnidae) en Corralero-Alotengo, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*. 22:31-39.
- Strickland JDH, Parsons TR. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Ottawa (Canada): Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167, 1968. 293 p.
<https://doi.org/10.1002/iroh.19700550118>
- Tapia-Vázquez OM, García-Hirales R, Sáenz-Gaxiola LZ. 2013. *Sistemas de cultivo para la producción de ostión en Baja California, México*. Ensenada (BC): Comité Estatal de Sanidad Acuicola e Inocuidad de Baja California. Ensenada. 48 p.
- Wetzel RG. 2001. *Limnology*. Lake and river ecosystems. London (UK): Academic Press. 1006 p.