

Potencial ostrícola del brazo oeste de Bahía San Quintín:
Biomasa actual y estimación preliminar de la capacidad de carga

Oyster culture potential in the west arm of San Quintín Bay:
Current biomass and preliminary estimate of the carrying capacity

Zaul García-Esquivel^{1*}

Marco Aurelio González-Gómez¹

Francisco Ley-Lou²

Adán Mejía-Trejo²

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas

² Facultad de Ciencias Marinas

Universidad Autónoma de Baja California

Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada

Ensenada 22860, Baja California, México

*E-mail: sgarcia@uabc.mx

Recibido en julio de 2002; aceptado en julio de 2003

Resumen

De 1995 a 1998 se cuantificó la biomasa del ostión del Pacífico, *Crassostrea gigas*, cultivado en dos sitios del brazo oeste de Bahía San Quintín (BSQ). Adicionalmente se evaluaron *in situ* (1999–2000) las tasas de filtración e ingestión con el fin de estimar la capacidad de carga ostrícola del brazo oeste. Al final de nueve meses la producción por sarta varió entre 0.8 y 2.8 kg ostión, registrándose los valores más bajos en un año de intensa mortalidad (1998) y en las sartas con menor densidad de siembra inicial. Se estimó un máximo de 483 kg ostión estante⁻¹ año⁻¹, pero este valor debe reducirse hasta un 30% si únicamente se consideran ostiones de talla comercial (≥ 90 mm). El porcentaje de intercambio del agua entre el brazo oeste y el mar adyacente (6% al 76% del volumen total, referido al NMM) y la concentración media de seston total (2.5 a 14.3 mg L⁻¹) estuvieron fuertemente afectados por las mareas. No obstante, la tasa de ingestión neta de ostiones adultos (2.6 a 3.2 mg mat. org ostión⁻¹ h⁻¹) fue regulada y tendió a mantenerse independiente de la concentración de seston. Se sugiere que estableciendo un límite del 25% de reducción del alimento disponible para el ostión cultivado, la capacidad de carga ostrícola en el brazo oeste de BSQ oscila entre 1913 y 5974 t. Se sugiere que la reducción en las tasas de crecimiento de *C. gigas* observadas en 2000 podrían deberse a cambios en la cantidad/calidad del alimento disponible en BSQ y/o a competencia por alimento con otros filtroalimentadores.

Palabras clave: Bahía San Quintín, capacidad de carga, ostión, *Crassostrea gigas*, ingestión.

Abstract

Biomass production of cultured Pacific oysters, *Crassostrea gigas*, from the west arm of San Quintín Bay (SQB) was quantified from 1995 to 1998. Filtration and ingestion rates were also measured *in situ* (1999–2000) to estimate the oyster carrying capacity of the west arm. At the end of nine months oyster production varied between 0.8 and 2.8 kg oyster per string. Lower values were recorded for strings with a low initial density and during a year of high oyster mortality (1998). A maximum of 483 kg oyster rack⁻¹ yr⁻¹ was estimated, but this value should decrease by 30% if only commercial-sized oysters (≥ 90 mm) are considered. Percent water exchange (6% to 76% of total volume, referred to MSL) and seston levels (2.5 to 14.3 mg L⁻¹) were highly dependent on tides. However, adult oysters regulated their net ingestion rates (2.6 to 3.2 mg organic matter oyster⁻¹ h⁻¹), regardless of seston concentrations. It is suggested that establishing a 25% depletion limit for the available food, the carrying capacity of the west arm of SQB ranges from 1913 to 5974 t, and that the observed reduction of growth rates in cultured oysters during 2000 may have resulted from changes in the quantity/quality of the food available in SQB and/or competition for food with other filter-feeders.

Key words: San Quintín Bay, carrying capacity, oyster, *Crassostrea gigas*, ingestion rate.

Introducción

Bahía San Quintín (BSQ) es uno de los cuerpos costeros más productivos y estudiados de la costa noroccidental de México. Desde 1979 se desarrollaron exitosamente en BSQ cultivos piloto del ostión japonés *Crassostrea gigas* y, de acuerdo con cifras oficiales, su producción comercial aumentó desde 100 hasta 900 t en la década de los ochenta, cifra que no ha sido rebasada hasta ahora (Depto. Acuacultura, SAGARPA, Ensenada, BC).

Desde 1987 toda la producción de *C. gigas* en BSQ se ha basado en la fijación remota de larva pediveliger, obtenida principalmente de laboratorios estadounidenses (Héctor González, com. pers., Empresa Integradora Acuacultores de San Quintín). La metodología y estructuras de cultivo utilizadas fueron descritas detalladamente por Polanco *et al.* (1988). Brevemente, la fijación de larva pediveliger se realiza dentro de tanques de concreto provistos con aireación, utilizando como sustrato conchas de ostión contenidas en costales de malla. Una vez fijada la larva, los costales se trasladan a los canales del brazo oeste de Bahía San Quintín (Bahía Falsa, BF), donde permanecen por un periodo de, aproximadamente, dos meses. Posteriormente se fabrican sartas de 1.2 m con siete conchas madre, las cuales son suspendidas en estructuras rectangulares (estantes) hechas de plástico PVC y localizadas en la zona intermareal, en donde permanecen hasta el momento de la cosecha (Polanco *et al.*, 1988). A pesar de que el ostricultivo es una actividad comercial desde 1980, hasta ahora no está documentada la biomasa que, en promedio, se produce por estante. Tampoco se conoce la relación entre las distintas variables morfométricas del ostión cultivado en la laguna, aun cuando existe la posibilidad de realizar estimaciones rápidas de biomasa a partir de variables fácilmente medibles tales como la longitud de la concha.

Actualmente 21 empresas ostrícolas mantienen aproximadamente 9000 estantes de cultivo distribuidos a lo largo de las 730 ha concesionadas o permisionadas para la ostricultura, en el brazo oeste (Héctor González, com. pers., Acuacultores de San Quintín). Por lo anterior, es necesario estimar el impacto potencial que ejerce el ostión cultivado sobre el alimento disponible en esa porción de Bahía San Quintín. Dicha estimación no sólo requiere de información sobre la biomasa cultivada, sino también del volumen de renovación del agua y las tasas fisiológicas de los organismos (Carver y Mallet, 1990). Varios autores han realizado estimaciones del impacto de los filtroalimentadores sobre el alimento disponible en lagunas costeras, tomando como base la concentración de partículas orgánicas presentes (seston orgánico, clorofila *a*) y las tasas de filtración/ingestión de los organismos (Cabanas *et al.*, 1979; Hily *et al.*, 1991; Carver y Mallet, 1990; Uribe y Blanco, 2002). También se ha incorporado directamente la velocidad de las corrientes en las estimaciones de la cantidad de alimento disponible (Cabanas *et al.*, 1979), o indirectamente, incluyendo en las ecuaciones el prisma de mareas (Carver y Mallet, 1990) o el tiempo de residencia del agua (Uribe y Blanco, 2002).

Introduction

San Quintín Bay (SQB) is one of the most productive and studied coastal bodies on the northwestern coast of Mexico. Successful pilot cultures of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* have been conducted at SQB since 1979, and according to official data, commercial production increased from 100 to 900 t during the 1980s; this figure has not been exceeded to date (Depto. Acuacultura, SAGARPA, Ensenada, BC).

Since 1987, the production of *C. gigas* at SQB has been based on the remote setting of pediveliger larvae, obtained mainly from American laboratories (Héctor González, Empresa Integradora Acuacultores de San Quintín, pers. comm.). A detailed description of the culture methods and structures used can be found in Polanco *et al.* (1988). Briefly, settlement of pediveliger larvae occurs in concrete tanks with aeration, using mesh bags filled with oyster shells as substrate. Once the larvae have settled, the bags are transported to the channels of the west arm of SQB, known as Falsa Bay (FB), where they remain for approximately two months. Subsequently, 1.2-m-long strings with seven mother shells are suspended from rectangular structures (racks), made of plastic PVC tubes, and placed in the intertidal zone where they remain until they are harvested (Polanco *et al.*, 1988). Even though oysters have been commercially cultivated since 1980, the mean biomass produced per rack has not been documented to date. Also lacking is information on the relationship between the different morphometric variables of the oyster cultured in the lagoon, even though it is possible to obtain biomass estimates from variables that are easily measured, such as shell length.

At present, 21 oyster companies maintain around 9000 racks throughout the 730 ha that have been licensed for oyster culture in FB (Héctor González, Acuacultores de San Quintín, pers. comm.). It is therefore necessary to determine the potential effect of oyster culture on food availability in this part of the lagoon. This estimate not only requires information on the cultivated biomass, but also on the volume of water renewal and the physiological rates of the organisms (Carver and Mallet, 1990). Several authors have estimated the impact of filter-feeders on food availability in coastal lagoons, based on the concentration of organic particles (organic seston, chlorophyll *a*) and the filtration and ingestion rates of bivalve molluscs (Cabanas *et al.*, 1979; Hily *et al.*, 1991; Carver and Mallet, 1990; Uribe and Blanco, 2002). Current velocity has also been incorporated directly into the estimates of amount of food available (Cabanas *et al.*, 1979), or indirectly, including in the equations the tidal prism (Carver and Mallet, 1990) or water residence time (Uribe and Blanco, 2002).

This study aims to determine the oyster carrying capacity of FB, based on ingestion rates of cultured oysters and food availability. For this: (a) mortality and oyster biomass per string and rack in the internal and external parts of FB were quantified *in situ*; (b) the morphometric relationship of the oysters cultured in both parts of FB were identified; (c) available

El presente estudio tuvo como objetivo general estimar el potencial de carga ostrícola en Bahía Falsa, a partir de las tasas de ingestión del ostión cultivado y del alimento disponible. Para lo anterior, (a) se cuantificó *in situ* la mortalidad y la biomasa de ostión producida por sarta y por estante en la parte interna y externa del brazo BF; (b) se identificaron las relaciones morfométricas de los ostiones cultivados en ambos sitios de BF; (c) se estimó el alimento disponible y las tasas de ingestión *in situ* de ostiones adultos, a partir del método de biodepósitos; y (d) se estimó el potencial ostrícola del cuerpo de agua a partir de a, b y c, y del cálculo del prisma de mareas.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

Bahía San Quintín tiene una superficie aproximada de 42 km² referida al nivel medio del mar (Chávez-de-Nishkawa y Alvarez-Borrego, 1974). La comunicación al mar ocurre a través de una sola boca (fig. 1), y sólo los canales principales que corren a lo largo de ambos brazos presentan profundidades máximas entre 5 y 15 m, mientras que el resto de BSQ tiene una profundidad media de 2 m (Martori-Oxamendi, 1989). El factor más importante de la hidrodinámica es la marea astronómica de tipo semidiurno, la cual genera corrientes en la boca de hasta 1 m s⁻¹ (Ocampo-Torres, 1980). El transporte de propiedades fisicoquímicas entre los brazos oeste (BF) y este (BSQ) es menor del 10%. El cultivo de ostión se limita BF (fig. 1), donde los estantes de cultivo quedan expuestos al aire un promedio de 15% del tiempo, durante las mareas bajas (García-Esquivel *et al.*, 2000). Tradicionalmente, los estantes (6 × 1.2 m, largo × ancho) se ordenan formando líneas continuas, con una separación de 2 m entre estantes de la misma línea y con aproximadamente 40 m entre cada línea. Por lo tanto, la superficie efectiva ocupada por un estante es de aproximadamente 160 m² (6 × 20 m). Los tiempos de residencia estimados para BF a partir de balances de sal varían entre 4 y 6 días en los meses de primavera y verano, o alrededor de 12 días en invierno (Juárez-Villarreal, 1982; Hernández-Ayón *et al.*, este volumen). El brazo BF funciona típicamente como un sistema exportador neto de fósforo inorgánico e importador de nitrógeno inorgánico y carbono orgánico con respecto al océano; no obstante, en años El Niño mantiene una producción neta de nitrógeno inorgánico (Hernández-Ayón *et al.*, este volumen). Las surgencias parecen ser un fenómeno intermitentemente en la costa adyacente a BSQ y la principal causa de variabilidad temporal de biomasa fitoplanctónica (Lara-Lara *et al.*, 1980). Por lo anterior, las variaciones de clorofila y temperatura en BF siguen el mismo patrón que las mareas, siendo esto más evidente en la zona cercana a la boca (Hernández-Ayón *et al.*, este volumen).

Mortalidad, rendimiento y relaciones morfométricas

El diseño experimental y la metodología para evaluar el crecimiento y la mortalidad del ostión cultivado en BSQ

food and *in situ* ingestion rates of adult oysters were estimated, using the biodeposition method; and (d) the oyster culture potential of the water body was estimated based on a, b and c, and on the calculation of the tidal prism.

Material and methods

Study area

San Quintín Bay covers an approximate area of 42 km², at mean sea level (Chávez-de-Nishkawa and Alvarez-Borrego, 1974). It communicates with the sea through a single mouth (fig. 1), and the main channels that run along both arms have maximum depths of 5 to 15 m, while the rest of the lagoon has an average depth of 2 m (Martori-Oxamendi, 1989). Semidiurnal astronomical tides dominate the hydrodynamics, generating currents of up to 1 m s⁻¹ at the mouth (Ocampo-Torres, 1980). The flow of physicochemical properties between the west arm and the east arm is less than 10%. Oyster culture is limited to the west arm (BF, fig. 1), where the culture racks are exposed to the air 15% of the time, on average, during low tide (García-Esquivel *et al.*, 2000). Traditionally, the racks (6 m long × 1.2 m wide) are placed in a straight line, with a separation of 2 m between racks in the same line and of approximately 40 m

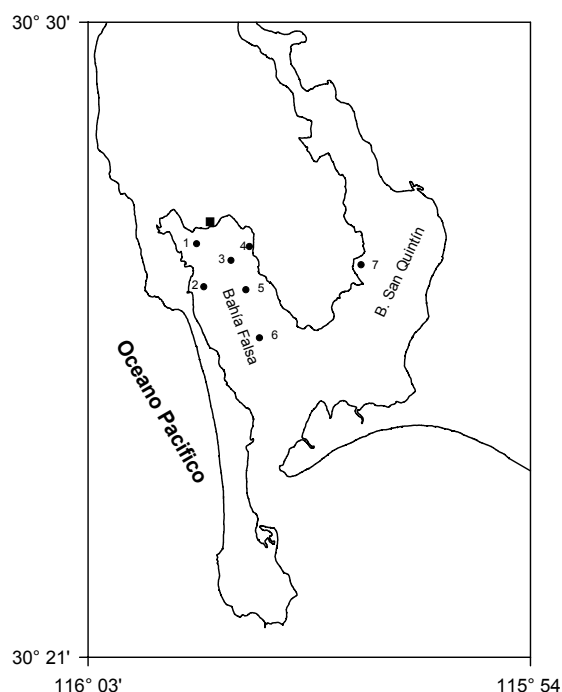


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en el brazo oeste (Bahía Falsa) de Bahía San Quintín, Baja California, México. Las zonas de la cabecera y la boca están señaladas con los números 1 y 6 respectivamente. (■) Zona donde se evaluaron las tasas de ingestión del ostión *Crassostrea gigas*.

Figure 1. Location of the sampling sites in the west arm (Falsa Bay) of San Quintín Bay, Baja California, Mexico. Sites 1 and 6 indicate the head and mouth, respectively. (■) Area where the ingestion rates of the oyster *Crassostrea gigas* were evaluated.

durante 1995–1996 fueron descritos por García-Esquivel *et al.* (2000). Brevemente, 5 sartas dedicadas para mortalidad (1 sarta/estante) y 60 sartas para crecimiento (12 sartas/estante) fueron marcadas y distribuidas tanto en la cabecera (sitio 1) como en la boca de BF (sitio 6, fig. 1). En cada sitio se usaron dos cohortes de ostión (larvas fijadas en abril y julio de 1995). Mensualmente y durante nueve meses se evaluó la mortalidad acumulativa *in situ*, en las sartas dedicadas para mortalidad mediante el conteo total de organismos vivos y muertos. Adicionalmente, cada mes se recolectaron cinco sartas por estante (sartas de crecimiento) con el fin de cuantificar la biomasa y determinar las relaciones morfométricas del ostión. En el laboratorio se desprendieron los organismos de cada sarta, y se seleccionaron al azar 15 organismos/sarta para medir la longitud máxima de la concha y el peso entero vivo. Los ostiones se desconcharon y se estimó el peso seco de sus tejidos secándolos a 100°C por 24 h. Con los datos obtenidos se generaron gráficas de distribución de tallas y se establecieron las relaciones morfométricas del ostión para cada sitio de cultivo. La biomasa total presente en cada sarta se estimó multiplicando el número de organismos vivos de una talla determinada presentes en la sarta por el peso entero vivo estimado a partir de las relaciones alométricas. El porcentaje de mortalidad acumulativa (M) se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación (García-Esquivel *et al.*, 2000):

$$M = [1 - (N_t/N_0)] \times 100$$

donde N_t = número de ostiones vivos al tiempo t , y N_0 = número inicial de ostiones vivos por sarta.

En 1998 se presentaron mortalidades masivas de ostión en BSQ, por lo que en noviembre de ese año se realizó una evaluación puntual de la mortalidad de una cohorte de ostión en 6 sitios de BF y uno adicional del brazo este (fig. 1). Los sitios de muestreo se seleccionaron con base a un registro de fechas de fijación y siembra mantenido por los ostricultores. En los lugares de muestreo se recolectaron cinco sartas con ostiones adultos (1 sarta/estante), en las cuales se cuantificó el total de organismos vivos y muertos. Asimismo, en cada sarta se midió (dependiendo de la densidad) la longitud de 30 organismos vivos y un número similar de organismos muertos, y se calcularon las fechas aproximadas de mortalidad del ostión de la siguiente manera: el incremento en longitud del ostión de BF es lineal durante los primeros nueve meses post-fijación (García-Esquivel *et al.*, 2000), por lo que se supuso que en 1998 los organismos del sitio 1 y 6 mantuvieron las mismas tasas de crecimiento lineal que en 1995–1996 (0.23 y 0.36 mm d⁻¹, respectivamente); una vez que se comprobó la coincidencia entre la longitud estimada (a partir de las tasas de crecimiento de 1995–1996) y la longitud de los ostiones vivos presentes en los sitios 1 y 6, se dividió la longitud de los organismos muertos entre la tasa de crecimiento “esperada” (0.23 mm d⁻¹ y 0.36 mm d⁻¹). Para el resto de los sitios se calculó la tasa “esperada” como sigue: (0.23 mm d⁻¹ + 0.36 mm d⁻¹)/2. El dato resultante representa el número total de días que los

between each line; hence, the effective surface occupied by a rack is approximately 160 m² (6 × 20 m). Estimated water residence time for FB, based on salt budgets, is 4–6 days in the spring and summer months, and 12 days during winter (Juárez-Villarreal, 1982; Hernández-Ayón *et al.*, this issue). The west arm typically exports inorganic phosphorus and imports inorganic nitrogen and organic carbon with respect to the ocean; however, during El Niño years it maintains a net production of inorganic nitrogen (Hernández-Ayón *et al.*, this issue). Upwelling seems to be an intermittent phenomenon off the coast of SQB and the main cause of the temporal variability of phytoplankton biomass (Lara-Lara *et al.*, 1980). Therefore, the variations of chlorophyll and temperature at FB follow the same pattern as the tides, and this is more evident in the zone near the mouth (Hernández-Ayón *et al.*, this issue).

Mortality, yield and morphometric relations

The experimental design and methods used to evaluate growth and mortality of the Pacific oyster cultivated in SQB during 1995–1996 have been described by García-Esquivel *et al.* (2000a). Briefly, 5 strings assigned to mortality (1 string/rack) and 60 strings assigned to growth (12 strings/rack) were marked and distributed in both the head (site 1) and mouth of FB (site 6, fig. 1). At each site, two batches of oysters were used (larvae settled in April and July 1995). Cumulative mortality was evaluated *in situ* every month, during nine months, by counting the total number of live and dead organisms on the mortality strings. Additionally, each month five growth strings were collected from each rack to quantify the biomass and determine the oyster’s morphometric relations. In the laboratory, the organisms were detached from the strings and 15 organisms/string were randomly selected to measure maximum shell length and whole live weight. The shell was removed and the tissues dried at 100°C for 24 h to determine the dry weight. The data obtained were used to plot size distribution graphs and establish the morphometric relations for each culture site. Each string’s total biomass was estimated by multiplying the number of live organisms of certain size on the string by the live weight determined from allometric relationships. The percentage of cumulative mortality (M) was calculated according to the following equation (García-Esquivel *et al.*, 2000):

$$M = [1 - (N_t/N_0)] \times 100$$

where N_t is the number of live oysters at time t , and N_0 is the number of initial live oysters per string.

Mass oyster mortalities occurred at SQB in 1998, so in November of that year oyster mortality was assessed on a single cohort at six sites in the west arm and one site in the east arm (fig. 1). The sampling sites were selected based on records of setting and seeding dates kept by oyster cultivators. Five strings with adult oysters (1 string/rack) were collected from the sites, and the total amount of live and dead organisms was

organismos permanecieron vivos desde el momento de la fijación, por lo que combinado con la fecha de siembra se pudo estimar la fecha probable de mortalidad de los mismos para cada sitio. La biomasa por sarta se estimó combinando los datos de distribución de frecuencias (1998) y relaciones alométricas.

Para determinar si el evento de mortalidad masiva persistía en 2000, en enero de ese año se repartieron cinco sartas en la boca y cinco en la cabecera de BF (1 sarta por estante) con juveniles de 20.6 ± 1.2 mm de longitud. Aproximadamente cada dos meses se realizaron mediciones de longitud y densidad de organismos vivos/muertos en cada una de las sartas marcadas, con lo cual se calculó la tasa de crecimiento y la supervivencia del ostión en cada sitio.

Tasas de ingestión y efecto del ostión sobre el alimento disponible

En julio y octubre de 1999, y en enero y abril de 2000 se realizaron series de tiempo de 6 a 8 h de duración con el fin de evaluar las tasas de ingestión y biodepositación de *C. gigas* en BSQ. Las determinaciones fueron realizadas en tierra firme, a una distancia aproximada de 5 m con respecto al canal principal (fig. 1). Se utilizó el sistema de charolas europeo (Hawkins *et al.* 1996; Iglesias *et al.*, 1998; Bayne *et al.*, 1999). Brevemente, este consistió en utilizar cuatro charolas de plástico con tres divisiones (celdas) individuales (fig. 2). Las charolas se mantuvieron con flujo abierto (150 a 200 mL min⁻¹) mediante bombeo del agua de mar desde una profundidad subsuperficial de 0.5 m del canal principal. En cada celda se colocó un ostión y un divisor de plástico en el sentido antero-posterior de los ostiones con el fin de separar las heces y pseudoheces producidas (fig. 2).

En cada fecha se utilizaron 12 ostiones de talla comercial (93 ± 14 mm) previamente aclimatados por 24 h en las charolas experimentales. Al final de ese período se limpiaron las celdas y se inició la colecta de biodepositos. Las heces y pseudoheces se colectaron cada 1.5 h (cada hora en julio) utilizando una manguera de plástico que funcionó como sifón. Las muestras (200 mL) fueron filtradas a través de filtros precombustionados de fibra de vidrio GF/C, enjuagadas con formato de amonio al 2.75% (para eliminar sales) y congeladas para su posterior procesamiento en el laboratorio. También cada hora se hicieron recolectas por triplicado del agua de entrada utilizando una llave de paso extra, y las muestras fueron filtradas en la forma indicada anteriormente. Al final de los experimentos se midió la longitud de los ejemplares con un vernier y se disectó el tejido, el cual se secó a 100°C durante 48 h para determinar el peso seco. Los filtros fueron secados a 90°C por 48 h para obtener el peso seco (material particulado total, TPM) de las heces (f), pseudoheces (ps) y seston (s). Posteriormente se combus-tionaron en una mufla a 450°C durante 4 h para obtener el peso de las cenizas (PIM, material inorgánico particulado). El material orgánico particulado (POM) de cada muestra se obtuvo por diferencia entre el peso seco y su correspondiente PIM.

quantified. The shell length of 30 live organisms and of a similar number of dead organisms was measured on each string (depending on density), and the approximate dates of mortality were calculated according to the following criterion: the increase in oyster length at FB is linear during the first nine months post-settlement (García-Esquivel *et al.*, 2000), so it was assumed that in 1998 the organisms from sites 1 and 6 maintained the same linear growth rates as in 1995–1996 (0.23 and 0.36 mm d⁻¹, respectively); once the coincidence between the estimated length (based on the 1995–1996 growth rates) and the length of the live organisms at sites 1 and 6 was verified, the length of the dead organisms was divided by the “expected” growth rate (0.23 and 0.36 mm d⁻¹). The “expected” rate for the other sites was calculated as follows: $(0.23 + 0.36 \text{ mm d}^{-1})/2$. The result represents the total number of days that the organisms remained alive from the moment of settlement, and together with the seeding date it was possible to estimate the probable date of their mortality at each site. Biomass per string was estimated by combining the frequency distribution data (1998) and allometric relationships.

To determine if the mass mortality event continued in 2000, in January of that year five strings were distributed in the mouth and five in the head of BF (1 string/rack) with juveniles of 20.6 ± 1.2 mm in length. The length and density of live and dead organisms on each of the marked strings were measured approximately every two months, and the growth rate and survival of the oyster at each site was then calculated.

Ingestion rate and effect of oyster on food availability

The ingestion rate and biodeposition of *C. gigas* in SQB was evaluated with time series of 6–8 h in July and October 1999, and in January and April 2000. The determinations were made on land at an approximate distance of 5 m from the main channel (fig. 1). The European tray system was used (Hawkins *et al.*, 1996; Iglesias *et al.*, 1998; Bayne *et al.*, 1999), which consists of four plastic trays with three divisions or individual cells (fig. 2). Seawater was pumped from a subsurface depth of 0.5 m from the main channel, and the trays were kept with a flow rate of 150–200 mL min⁻¹. One oyster was placed in each cell, together with a plastic divider that was positioned in an antero-posterior direction of the oyster in order to separate the faeces and pseudofaeces produced (fig. 2).

Twelve oysters of commercial size (93 ± 14 mm), previously acclimated for 24 h in the culture trays, were used on each occasion. After this period, the cells were cleaned and the biodeposits collected. The faeces and pseudofaeces were siphoned out with a plastic hose every 1.5 h (every hour in July). The samples (200 mL) were filtered through precombusted GF/C fiberglass filters, rinsed with 2.75% ammonium formate (to eliminate salts), and frozen until processed in the laboratory. Every hour, three samples of the inflowing water were collected from an extra faucet and filtered as mentioned above. At the end of the experiment, the length of the specimens was measured with a vernier, and the tissue was dis-

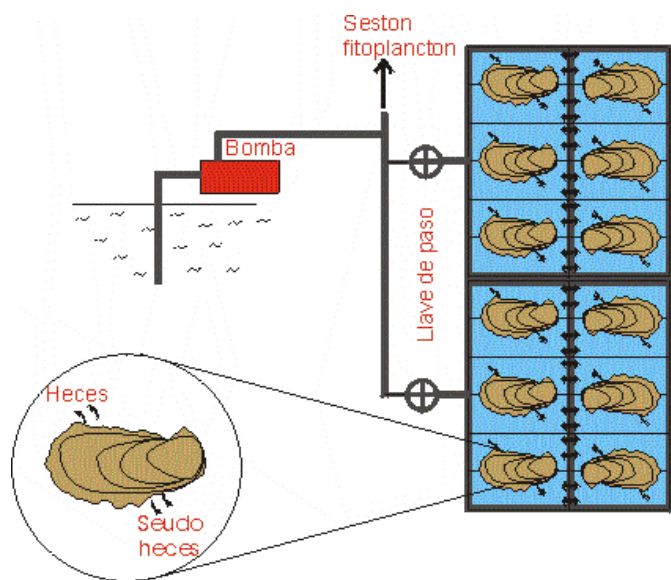


Figura 2. Sistema experimental usado para evaluar las tasas de ingestión de *Crassostrea gigas*, a partir de la recolección de heces, pseudoheces y seston.

Figure 2. Experimental system used to evaluate the ingestion rates of *Crassostrea gigas*, based on the collection of faeces, pseudofaeces and seston.

Las tasas de filtración (FR, mg POM h⁻¹) e ingestión orgánica neta (NOIR, mg POM h⁻¹) se calcularon para cada fecha de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Hawkins *et al.*, 1996, Bayne *et al.*, 1999):

$$FR = [(PIM_f + PIM_{ps})/t] \times (TPM_s / PIM_s)$$

$$NOIR = [FR \times (POM_s / TPM_s)] - (POM_{ps}/t)$$

donde t = período de medición (h). Para eliminar el efecto de la talla (peso), las tasas fisiológicas se estandarizaron mediante la ecuación alométrica (Bayne *et al.*, 1999):

$$Y_s = (W_s / W_e)^b Y_e$$

donde Y_s es la tasa fisiológica (FR, NOIR) estandarizada, W_s es el peso de un organismo estándar, W_e es el peso observado del ostión experimental, Y_e la tasa fisiológica observada y b es el exponente para la tasa de filtración. En este estudio se usó un peso estándar de 3.5 g tejido seco (equivalente al peso promedio de los organismos experimentales) y un valor de b de 0.439 (Bougrier *et al.*, 1995).

La superficie y profundidad del brazo BF se estimó en base a una carta batimétrica (Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Marina, México), corregida con mediciones de profundidad *in situ* durante el presente estudio. Las características de la marea se obtuvieron de datos históricos previamente reportados para BSQ (Ocampo-Torres, 1980). El prisma de mareas se calculó para BF como la diferencia de volumen entre la marea alta y baja (Dyer, 1997).

sected and dried at 100°C for 48 h to determine dry weight. The filters were dried at 90°C for 48 h to obtain the dry weight (total particulate matter, TPM) of the faeces (f), pseudofaeces (ps) and seston (s). They were then calcinated in a muffle furnace at 450°C for 4 h to obtain the weight of the ashes (particulate inorganic matter, PIM). The particulate organic matter (POM) of each sample was obtained by the difference between the dry weight and corresponding PIM.

The filtration rate (FR, mg POM h⁻¹) and net organic ingestion rate (NOIR, mg POM h⁻¹) were calculated for each date according to the following equations (Hawkins *et al.*, 1996, Bayne *et al.*, 1999):

$$FR = [(PIM_f + PIM_{ps})/t] \times (TPM_s / PIM_s)$$

$$NOIR = [FR \times (POM_s / TPM_s)] - (POM_{ps}/t)$$

where t is the time of measurement (h). To eliminate the effect of the size (weight), the physiological rates were standardized with the following allometric equation (Bayne *et al.*, 1999):

$$Y_s = (W_s / W_e)^b Y_e$$

where Y_s is the standardized physiological rate (FR, NOIR), W_s is the weight of a standard organism, W_e is the observed weight of the experimental oyster, Y_e is the observed physiological rate, and b is the exponent for the filtration rate. A standard weight of 3.5 g dry tissue (equivalent to the average weight of the experimental organisms) and a value of b of 0.439 were used in this study (Bougrier *et al.*, 1995).

The surface and depth of FB were estimated using a bathymetric chart (Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Marina, México), with corrections of *in situ* depth measurements made during this study. The characteristics of the tide were obtained from historical data previously reported for SQB (Ocampo-Torres, 1980). The tidal prism was calculated for FB as the difference in volume between the high and low tides (Dyer, 1997). The percentage of water exchange was calculated by dividing the volume of outflowing water by the total volume of the lagoon (18.7 × 10⁶ m³), referred to mean sea level (Carver and Mallet, 1990).

The available food at FB (A_d , g POM/m³) was calculated by multiplying the tidal prism by the concentration of POM. Finally, the biomass of oysters of a certain size that can occur at FB (B_o , Kg) was calculated using Carver and Mallet's (1990) approximation, modified with percentages that allow for adjustments on food availability:

$$B_o = (A_d \times 25\% \times Wwt) / (NOIR \times 85\% \times 1000)$$

where 25% is the maximum percentage of food available to the oyster, assuming that this value would not significantly decrease the food supply at FB (Uribe and Blanco, 2002); 85% is the adjusted percentage for the oysters' NOIR, because 15% of the time they do not ingest food (low tides); and Wwt is the live weight of the oyster.

El porcentaje de intercambio de agua se calculó dividiendo el volumen de agua de salida entre el volumen total de la laguna ($18.7 \times 10^6 \text{ m}^3$), referido al nivel medio del mar (Carver y Mallet, 1990).

El alimento disponible en BF (A_d , g POM/ m^3) se calculó multiplicando el prisma de mareas por la concentración de POM. Finalmente, la biomasa de ostiones de una talla dada que puede soportar BF (B_o , Kg) se calculó utilizando la aproximación de Carver y Mallet (1990), modificada con porcentajes que permiten ajustes en la disponibilidad de alimento:

$$B_o = (A_d \times 25\% \times \text{Wwt}) / (\text{NOIR} \times 85\% \times 1000)$$

donde 25% = máximo porcentaje de alimento permisible para el ostión, suponiendo que este valor no declinaría significativamente la oferta alimenticia en BF (Uribe y Blanco, 2002); 85% = porcentaje de ajuste para la NOIR del ostión, debido a que el 15% del tiempo (mareas bajas) no consumen alimento; Wwt = peso entero vivo del ostión (g) y 1000 = factor usado para expresar la biomasa en Kg..

Resultados

Biomasa y mortalidad

El patrón de dispersión de tallas fue similar en las sartas experimentales (fig. 3a, b) y comerciales (fig. 3c), con un patrón de distribución normal (prueba de Kolmogorov-Smirnov, $P > 0.20$) y una amplia dispersión. Al momento de la cosecha (12 meses post-fijación) las sartas comerciales de la boca contenían el 67% de los organismos con tallas ≥ 90 mm, mientras que solo el 21% de los ostiones cultivados en la cabecera alcanzaron esas tallas durante el mismo período (fig. 3c). Se encontró una relación alométrica de tipo potencial entre la longitud y el peso entero vivo o el peso del tejido seco del ostión (fig. 4a, c), y una relación lineal entre el peso entero vivo y el peso del tejido seco (fig. 4b). Estos patrones fueron similares en los ostiones cultivados en la boca y en la cabecera de BF, pero las magnitudes de las constantes fueron distintas. El exponente alométrico fue mayor en los ostiones de la boca ($b = 2.68$) que en los de la cabecera ($b = 2.49$ a 2.58). Asimismo, la pendiente de la relación longitud vs. peso vivo fue 1.5 veces mayor en los ostiones de la boca ($m = 0.037$) que en los de la cabecera ($m = 0.025$).

A partir de 1998 se presentaron mortalidades masivas de ostiones adultos en BF. La mayor mortalidad (57 a 67%) se observó en el centro (sitios 3 y 4) y la menor (16%) en la cabecera de BF (tabla 1). En el sitio 5 la mortalidad fue del 45%, y en el resto de los sitios los valores (16% a 35%) no fueron significativamente distintos entre sí (comparación múltiple de medias, SNK, $P > 0.05$). Basados en la longitud de los organismos muertos y las tasas de crecimiento esperadas (tabla 1), se estimó que la mayor mortalidad ocurrió en el segundo trimestre del año (abril-junio de 1998).

Results

Biomass and mortality

The size dispersion pattern was similar for the experimental (fig. 3a, b) and commercial (fig. 3c) strings, with a normal distribution pattern (Kolmogorov-Smirnov test, $P > 0.20$) and wide dispersion. At the moment of harvesting (12 months post-settlement), 67% of the organisms on the commercial strings at the mouth were ≥ 90 mm in size, while only 21% of the oysters cultured at the head reached this size during the same period (fig. 3c). An allometric power function was found between length and whole live weight or dry tissue weight of the oyster (fig. 4a, c), whereas a linear relation was obtained between whole live weight and dry tissue weight (fig. 4b). These patterns were similar for the oysters cultured at the mouth and head of BF, but the magnitude of the constants was different. The allometric exponent was greater for the oysters at the mouth ($b = 2.68$) than at the head ($b = 2.49$ to 2.58). Likewise, the slope of the length vs live weight relation was 1.5 times greater for the oysters at the mouth ($m = 0.037$) than at the head ($m = 0.025$).

Mass mortalities of adult oysters started at FB in 1998. Highest mortality (57–67%) was observed in the middle part (sites 3 and 4) and lowest (16%) at the head (table 1). Mortality at site 5 was 45%, while the values at the other sites (16–35%) were not significantly different (multiple comparison of means, SNK, $P > 0.05$). Based on the length of the dead organisms and the expected growth rates (table 1), it was estimated that the highest mortality took place from April to June 1998.

The oysters cultured at the mouth of FB reached mean commercial size (90 mm) 9 to 12 months post-settlement, and were 1.3 and 1.9 times larger than those at the head, respectively (table 2). Production per string decreased drastically in 1998 compared with 1995–1996 (table 2). At the mouth the average number of live organisms per string decreased from 24 (February) and 54 (April) in 1996, to 10 in 1998; likewise, at the head the number of organisms per string decreased from 66 (February) and 48 (April) in 1996, to 9 in 1998 (table 2). Biomass varied between 0.81 and 2.81 kg/string at the mouth (table 2), equivalent to 89 and 309 kg whole live weight/rack, respectively. Taking into account the number of racks (9000) installed in FB, the average maximum number of oysters produced per string (54 oysters) and the biomass at 12 months post-settlement (mean size of 10 cm), a potential production of 483 kg oyster/rack yr^{-1} or 4347 t yr^{-1} is obtained. The spatial pattern of the growth rates was similar in 1995 and 2000, with higher values at the mouth than at the head of FB (fig. 5). In 2000, however, the growth rates (0.18 and 0.08 mm d^{-1} for the mouth and head, respectively) decreased up to 50% and 60% relative to 1995–1996. Cumulative mortality of oysters larger than 2 cm was greater in 2000 (21–29%, fig. 5) than in 1995 (0–6%).

Los ostiones cultivados en la boca de BF alcanzaron la talla comercial media (90 mm) de los 9 a los 12 meses post-fijación, y fueron entre 1.3 y 1.9 veces más grandes que los de la cabecera, respectivamente (tabla 2). La producción por sarta disminuyó drásticamente en 1998, en comparación con 1995–1996 (tabla 2). En la boca de BF el promedio de organismos vivos por sarta disminuyó de 24 (febrero) y 54 (abril) en 1996, hasta 10 ostiones en 1998 (tabla 2). Asimismo, en la cabecera el número de organismos por sarta disminuyó de 66 (febrero) y 48 (abril) en 1996, hasta 9 ostiones en 1998. En términos de biomasa, ésta varió entre 0.81 y 2.81 kg/sarta en la boca de BF (tabla 2), equivalente a 89 y 309 kg peso entero vivo/estante, respectivamente. Al combinar la información del número de estantes instalados (9000) en BF, el promedio máximo de ostiones producidos por sarta (54 ostiones) y la biomasa a los 12 meses post-fijación (talla media de 10 cm) se obtiene un potencial productivo de 483 kg ostión estante⁻¹ año⁻¹ o 4347 t año⁻¹. El patrón espacial en las tasas de crecimiento se mantuvo similar entre 1995 y 2000, con valores más altos en la boca que en la cabecera de BF (fig. 5). No obstante, en 2000 las tasas de crecimiento (0.18 y 0.08 mm d⁻¹ para la boca y la cabecera de BF, respectivamente) disminuyeron hasta un 50%–60% con respecto a 1995–96. Asimismo, la mortalidad acumulada de ostiones mayores de 2 cm fue mayor en 2000 (21–29%, fig. 5) que en 1995 (0–6%).

Efecto del ostión sobre el alimento disponible

La concentración media de POM durante las fechas de medición de TF y NOIR varió entre 0.7 y 2.5 mg L⁻¹ (tabla 3), con un promedio general de 1.9 mg L⁻¹. Los porcentajes más altos de POM con respecto al seston total se observaron en octubre y abril (25.5% y 24%, respectivamente) y los más bajos (17.8%) en enero (tabla 3). A pesar de estas variaciones los ostiones regularon sus tasas de filtración y mantuvieron la tasa de ingestión orgánica neta (NOIR) relativamente constante en todos los muestreos (2.6 a 3.9 mg POM ostión⁻¹ h⁻¹), con un promedio general de 3.15 mg POM ostión⁻¹ h⁻¹ (tabla 3).

En el presente trabajo se estimó que el brazo BF tiene una profundidad media de 2.1 m; una superficie de 7.5×10^6 m², y un volumen de 18.7×10^6 m³, referidos al nivel medio del mar. La influencia de las mareas se vio reflejada en el volumen total de intercambio entre BF y el océano, con valores mínimos de 6% y máximos de 76% a lo largo de un ciclo quincenal. El prisma de mareas (P) estimado para el ciclo quincenal fue de 9.35×10^6 m³, mientras que los valores estimados separadamente para el período de mareas vivas y muertas fueron de 15.36×10^6 m³ y 4.92×10^6 m³, respectivamente. Utilizando la concentración media de POM (1.9 mg L⁻¹) y la NOIR media (3.15 mg POM ostión⁻¹ h⁻¹ = 75 mg d⁻¹) observada en ostiones de talla comercial (9 cm, 52.2 g peso entero vivo), se estimaron valores de B₀ = 5974, 1913 y 3636 t de ostión para mareas vivas, muertas y ciclo quincenal, respectivamente.

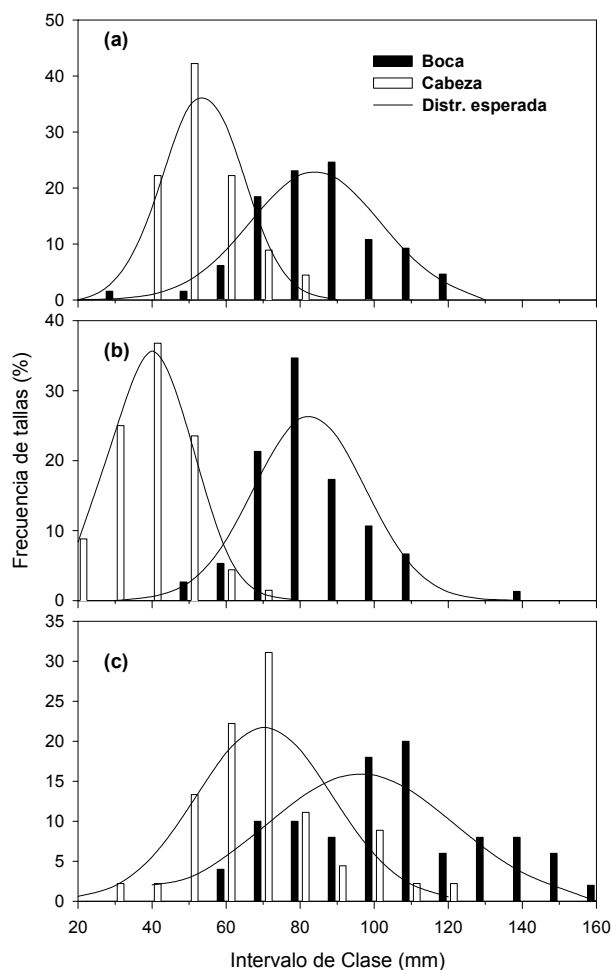


Figura 3. Distribución de frecuencias de tallas del ostión cultivado en sarts en los sitios 1 (cabecera) y 6 (boca) del brazo Bahía Falsa. Los datos corresponden a la cosecha después de 9 meses post-fijación en sarts experimentales sembradas en abril (a) y julio (b) de 1995, o de 12 meses post-fijación en sarts comerciales sembradas en noviembre de 1999 (c).

Figure 3. Size frequency distribution of the oyster cultured on strings at sites 1 (head) and 6 (mouth) of Falsa Bay. Data correspond to the harvest after 9 months post-settlement on experimental strings seeded in April (a) and July (b) 1995, and after 12 months post-settlement on commercial strings seeded in November 1999 (c).

Effect of oyster on food availability

The mean POM concentration during the dates when filtration and ingestion rates were sampled ranged from 0.7 to 2.5 mg L⁻¹ (table 3), with an overall average of 1.9 mg L⁻¹. The highest POM percentages relative to total seston were recorded in October (25.5%) and April (24%), and the lowest (17.8%) in January (table 3). Despite these variations, the oysters regulated their filtration rates and maintained their net ingestion rates relatively constant in all the samplings (2.6 to 3.9 mg POM oyster⁻¹ h⁻¹), with an overall average of 3.15 mg POM oyster⁻¹ h⁻¹ (table 3).

In this study, FB was found to have a mean depth of 2.1 m, surface of 7.5×10^6 m², and volume of 18.7×10^6 m³, referred

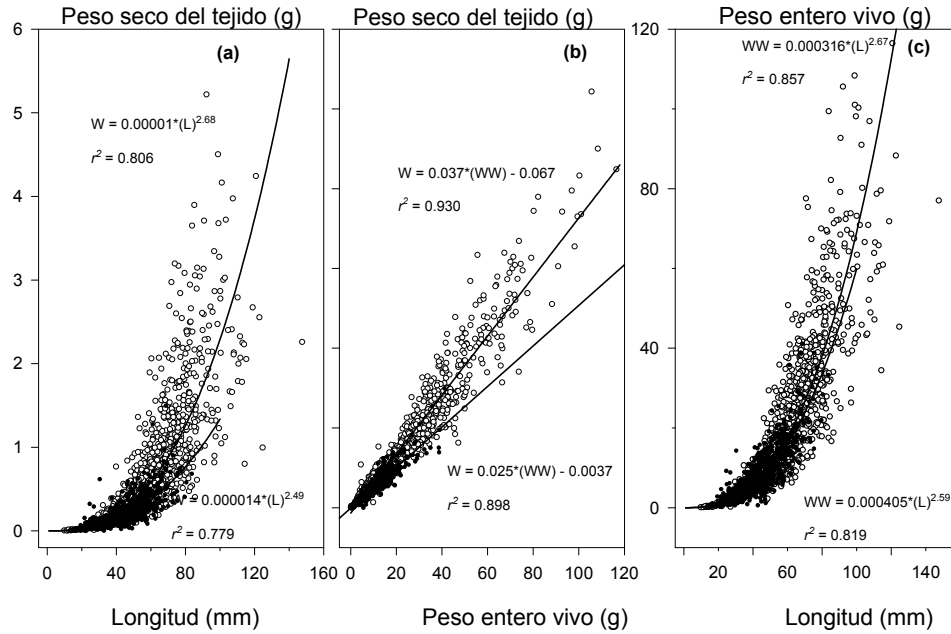


Figura 4. Relaciones alométricas (a, c) e isométricas (b) en *Crassostrea gigas* cultivado en la cabecera (●) y en la boca (○) de Bahía Falsa durante 1995–1996. L = longitud de la concha, W = peso seco del tejido, Wwt = peso entero vivo.

Figure 4. Allometric (a, c) and isometric (b) relationships in *Crassostrea gigas* cultured at the head (●) and mouth (○) of Falsa Bay during 1995–1996. L = shell length, W = tissue dry weight, and Wwt = whole live weight.

Discusión

Rendimiento y mortalidad

Los resultados del presente estudio coinciden con lo reportado previamente (García-Esquivel *et al.*, 2000) en relación al tiempo en que el ostión alcanza la talla media comercial en BSQ. No obstante, esta es la primera vez que se muestra la variabilidad de las tallas del ostión cosechado en ese lugar, y los resultados sugieren que es necesario aumentar el tiempo de

to mean sea level. The influence of the tides was reflected in the total volume of water exchange between FB and the ocean, with minimum values of 6% and maximum of 76% for a two-week cycle. The tidal prism estimated for the two-week cycle was $9.35 \times 10^6 \text{ m}^3$, while the values estimated separately for the spring and neap tides were $15.36 \times 10^6 \text{ m}^3$ and $4.92 \times 10^6 \text{ m}^3$, respectively. Using the mean POM concentration (1.9 mg L^{-1}) and mean NOIR ($3.15 \text{ mg POM oyster}^{-1} \text{ h}^{-1} = 75 \text{ mg d}^{-1}$) recorded for commercial-sized oysters (9 cm, 52.2 g whole live weight), values of $B_0 = 5974$, 1913 and 3636 t of oyster were

Tabla 1. Mortalidad acumulada y longitud media ($\pm$ error estándar) de ostiones (*Crassostrea gigas*) de 12 meses de edad post-fijación, recolectados en distintos sitios de Bahía Falsa en noviembre de 1998. Las fechas estimadas de mortalidad se calcularon dividiendo la longitud de los organismos muertos entre la tasa de crecimiento “esperada” y el número de días en un mes (30). Los sitios de muestreo se indican en la figura 1.

Table 1. Cumulative mortality and average length ($\pm$ standard error) of 12-month post-settlement oysters (*Crassostrea gigas*), collected from different sites at Falsa Bay in November 1998. The estimated dates of mortality were calculated by dividing the length of the dead organisms by the “expected” growth rate and the number of days in a month (30). The sampling sites are shown in figure 1.

Sitio	Longitud vivos (mm)	Longitud muertos (mm)	Tasa de crecimiento “esperada” (mm d ⁻¹)	Mortalidad acumulada (%)	Fecha estimada de máxima mortalidad
1	75 $\pm$ 2.7	44 $\pm$ 5.9	0.19	16 $\pm$ 4.3	06/98
2	72 $\pm$ 2.6	34 $\pm$ 5.4	0.19	26 $\pm$ 12.1	04/98
3	85 $\pm$ 3.9	50 $\pm$ 3.9	0.22	67 $\pm$ 8.9	06/98
4	111 $\pm$ 2.2	67 $\pm$ 2.1	0.29	57 $\pm$ 4.7	06/98
5	99 $\pm$ 2.4	47 $\pm$ 6.7	0.26	45 $\pm$ 7.2	05/98
6	101 $\pm$ 3.6	46 $\pm$ 4.6	0.26	31 $\pm$ 6.7	04/98
7	88 $\pm$ 1.9	26 $\pm$ 4.4	0.23	35 $\pm$ 10.2	02/98

Tabla 2. Concentrado de datos biométricos y rendimiento de ostiones cultivados en la boca y en la cabecera del brazo Bahía Falsa. El rendimiento de biomasa viva fue calculado a partir de las distribuciones de frecuencia de talla (fig. 4), las ecuaciones de peso húmedo-peso vivo (fig. 3) y el número total de ostiones vivos por sarta. Las fechas indican el momento del muestreo. La edad está referida al momento de la fijación de la larva; nd = no determinado.

Table 2. Biometric and yield data of oysters cultured in the mouth and head of Falsa Bay. Live biomass yield was calculated from the size frequency distribution (fig. 4), the wet weight-live weight equations (fig. 3), and the total number of live oysters per string. The dates indicate when sampling was done. The age is referred to the moment of larval settlement; nd = not determined.

Variable	Febrero/1996	Abril/1996	Noviembre/1998
Boca			
Edad (meses)	9	9	12
Talla media (cm $\pm$ EE)	8.9 $\pm$ 0.21	8.9 $\pm$ 0.1..7	10.1 $\pm$ 0.35
% mortalidad acumulada	88.4 $\pm$ 3.8	67.7 $\pm$ 2.5	nd
Número de ostiones vivos por sarta	24.3 $\pm$ 8.6	54.4 $\pm$ 8.0	10 $\pm$ 1.76
Porcentaje de organismos > 9 cm	49.2	36.0	68.0
Biomasa total viva por sarta (kg)	1.334	2.808	0.813
Cabecera			
Edad aproximada (meses)	9	9	12
Talla media (cm $\pm$ EE)	5.8 $\pm$ 0.19	4.5 $\pm$ 0.32	7.2 $\pm$ 0.49
% mortalidad acumulada	70.1 $\pm$ 2.9	75.6 $\pm$ 2.1	nd
Número de ostiones vivos por sarta	66.9 $\pm$ 8.9	48.4 $\pm$ 7.4	9 $\pm$ 1.58
Porcentaje organismos > 9 cm	0	0.0	17.8
Biomasa total viva por sarta (kg)	1.080	0.410	0.290

cultivo hasta 12 meses (boca) o más de 2 años (cabecera) para poder obtener una eficiencia del 70% de ostiones con talla comercial (90 mm). La gran variabilidad de las tallas al momento de la cosecha es una consecuencia natural del método de cultivo (sartas suspendidas), el cual requiere un mínimo de mantenimiento a lo largo de todo el período de engorda. A pesar de esa ventaja, el cultivo comercial de ostión

calculated for the spring tides, neap tides and two-week cycle, respectively.

Discussion

Yield and mortality

The results obtained in this study coincide with those reported previously (García-Esquivel *et al.*, 2000) in relation to the time in which the oyster attains mean commercial size at SQB. This is the first time, however, that the variability in the size of the oysters harvested has been shown, and the results suggest that it is necessary to increase the cultivation time to 12 months (mouth) or more than 2 years (head) to be able to obtain an efficiency of 70% of commercial-sized oysters (90 mm). The high variability of the sizes at the moment of harvesting is a natural consequence of the culture method (suspended strings), which requires minimum maintenance throughout the fattening period. Despite this advantage, the commercial cultivation of oysters at FB is faced with technical disadvantages that may affect the yield and production costs, such as: (1) poor control of densities at the moment of larval settlement (García-Esquivel *et al.*, 2000), which could result in underutilization of the substrate and culture surface; (2) increase in the culture time to obtain a suitable percentage (~70%) of commercial-sized oysters; and (3) reduced volumes of a uniformly-sized product. All together, these disadvantages represent a financial cost that needs to be re-evaluated. A

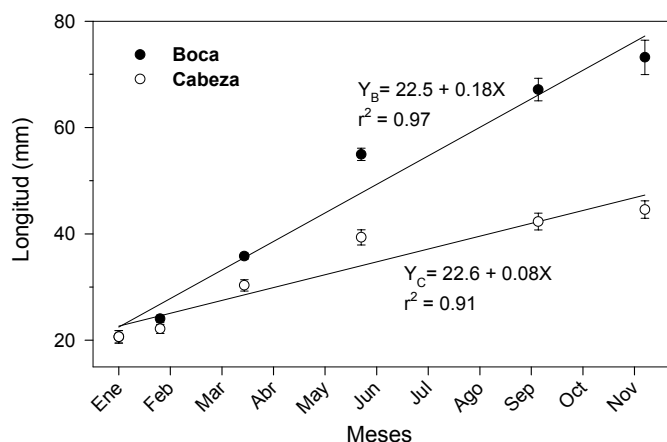


Figura 5. Cambios temporales en la longitud de *Crassostrea gigas*, cultivado en la cabecera y la boca de Bahía Falsa durante 2000. Se muestran las ecuaciones de ajuste lineal para los organismos de la cabeza y de la boca de Bahía Falsa.

Figure 5. Temporal changes in the length of *Crassostrea gigas*, cultured at the head (○) and mouth (●) of Falsa Bay in 2000. Linear fit equations are shown for the organisms at the head and mouth.

Tabla 3. Concentración media ($\pm$ error estándar) de seston total (TPM) y fracción orgánica del seston (POM) encontradas en el canal principal del brazo Bahía Falsa durante las evaluaciones de tasas de alimentación de *Crassostrea gigas*. Se muestran los valores medios de las tasas estandarizadas de filtración (FR) e ingestión neta (NOIR) y la biodeposición total (BR = heces + pseudoheces) de ostiones adultos (93 ± 14 mm) para cada fecha de evaluación.

Table 3. Average concentration ($\pm$ standard error) of total seston (TPM) and organic fraction of seston (POM) recorded in the main channel of Falsa Bay during the feeding rate evaluations of *Crassostrea gigas*. The mean values of the standardized filtration rates (FR) and net ingestion rates (NOIR), and total biodeposition (BR = faeces + pseudofaeces) of adult oysters (93 ± 14 mm) are shown for each date of evaluation.

Fecha	Seston		FR	NOIR	BR
	TPM (mg L ⁻¹)	POM (mg L ⁻¹)	(mg POM org ⁻¹ h ⁻¹)	(mg POM org ⁻¹ h ⁻¹)	(mg POM org ⁻¹ h ⁻¹)
07/1999	8.7 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 0.1	24.9 $\pm$ 1.4	2.9 $\pm$ 0.1	24.2 $\pm$ 1.4
10/1999	2.5 $\pm$ 0.2	0.7 $\pm$ 0.1	16.7 $\pm$ 3.2	3.2 $\pm$ 0.4	15.1 $\pm$ 0.3
01/2000	14.3 $\pm$ 3.3	2.5 $\pm$ 0.2	22.5 $\pm$ 1.6	2.6 $\pm$ 0.4	21.7 $\pm$ 2.0
04/2000	9.9 $\pm$ 0.5	2.3 $\pm$ 0.3	22.4 $\pm$ 1.0	3.9 $\pm$ 0.3	20.6 $\pm$ 0.9

en BF presenta serias desventajas técnicas que se reflejaron en el presente estudio, y que podrían incidir en el rendimiento y los costos de producción e incluyen: (1) control deficiente de densidades al momento de fijar la larva (García-Esquivel *et al.*, 2000), lo cual puede resultar en la subutilización del sustrato y de la superficie de cultivo; (2) aumento del tiempo de cultivo para obtener un porcentaje adecuado ($\sim 70\%$) de ostiones de talla comercial; (3) volúmenes reducidos de un producto de talla uniforme. En conjunto, estas desventajas representan un costo económico que necesita ser reevaluado. Un estudio comparativo llevado a cabo en la década de los ochenta sugirió que el estante era el arte de cultivo más rentable para BF, seguido de las canastas y balsas (Ramos-Amézquita, 1987). No obstante, las estimaciones del autor se basaron en el número total de organismos, por lo que es necesario un nuevo análisis en función del porcentaje de organismos que alcanzan la talla comercial al momento de la cosecha. Por otra parte, los valores consistentemente bajos de las constantes alométricas y lineales coinciden con los bajos índices de condición reportados previamente para los ostiones cultivados en la cabecera (García-Esquivel *et al.*, 2000). Lo anterior indica que los ostiones de la boca de BF no solo crecen más rápido, sino que contienen más carne (tejido) que los ostiones de talla similar cultivados en la cabecera de BF, por lo que se recomienda utilizar las ecuaciones correspondientes para realizar comparaciones de rendimiento sitio-específicas basadas en la talla del organismo.

Las mortalidades masivas de ostión ocurridas en BSQ a partir de 1998 son las de mayor intensidad que se tengan registradas hasta ahora, y se tradujeron en una caída significativa de la producción total. Estudios previos indican que la mortalidad “normal” del ostión cultivado en BSQ es cercana a cero para organismos mayores de 3 cm de longitud (García-Esquivel, 2000). Los valores de mortalidad observados en 1998 y 2000, así como las tallas en que ésta ocurrió (tabla 1) y su persistencia actual (Héctor González, Acuacultores de San Quintín, com. pers.) sugieren que este es un fenómeno extraordinario para BSQ cuya causa aún no ha sido identificada. Es de notar que la mayor mortalidad se presentó hacia el centro de BF (fig. 1, tabla 1) y coincidió con la zona donde se introdujeron

comparative study carried out in the 1980s suggested that racks were the most profitable culture gear for BF, followed by baskets and rafts (Ramos-Amézquita, 1987); however, the estimates were based on the total number of organisms, so a new analysis would be necessary based on the percentage of organisms that reach commercial size at the moment of harvesting. On the other hand, the consistently low values of the allometric and linear constants coincide with the low condition indices reported for the oysters cultured at the head of BF (García-Esquivel *et al.*, 2000). This indicates that the oysters at the mouth not only have a faster growth, but also have more meat (tissue) than the oysters of similar size at the head; therefore, the use of corresponding equations to compare site-specific yields based on the size of the organism is recommended.

The massive oyster mortalities in SQB since 1998 have been the most intense recorded to date and have significantly affected the total production. Previous studies report that “normal” mortality of the oyster cultured at SQB is close to zero for organisms greater than 3 cm in length (García-Esquivel, 2000). The mortality values obtained in 1998 and 2000, as well as the sizes when this occurred (table 1) and its persistence (Héctor González, Acuacultores de San Quintín, pers. comm.), suggest that this phenomenon is unusual for SQB and the cause has yet to be identified. Highest mortality occurred in the middle part of BF (fig. 1, table 1), in the same area where around 1000 t of clam (*Chione* sp.) from the Gulf of California were introduced during the study period (Dept. Acuacultura, SAGARPA, Ensenada, BC). Several factors have been proposed as possible causes of the mortality, including: (a) harmful pathogens associated with *Chione* sp. (García-Esquivel *et al.*, 1999); (b) reduced heterozygosity of the cultured oyster, resulting in a low capability to withstand changes in environmental temperature (Correa *et al.*, this issue); (c) changes in taxonomic composition and/or phytoplankton abundance because of El Niño (García-Esquivel *et al.*, 1999); and (d) competition for food with *Chione* sp. Even though it has been shown that the oyster cultivated at SQB presents reduced heterozygosity relative to natural populations

alrededor de 1000 t de almeja *Chione* sp. durante el período de estudio, proveniente del Golfo de California (Depto. Acuicultura, SAGARPA, Ensenada, BC). Hasta ahora se han sugerido varios factores como posibles responsables de la mortalidad en BF, incluyendo: (a) carga de patógenos nocivos asociados a *Chione* sp. (García-Esquivel *et al.* 1999); (b) heterozigocidad reducida del ostión cultivado, que se traduciría en una baja capacidad para amortiguar los cambios ambientales de temperatura (Correa *et al.*, este volumen); (c) cambios en la composición taxonómica y/o abundancia del fitoplancton, inducidos por El Niño (García-Esquivel *et al.*, 1999); y (d) competencia por alimento ejercida por *Chione* sp. A pesar de que se ha demostrado que el ostión cultivado en BSQ presenta una heterozigocidad reducida con respecto a poblaciones silvestres (Correa *et al.*, este volumen), hasta ahora no existe ningún reporte científico donde se haya probado alguna de las hipótesis mencionadas arriba, por lo que es necesario plantear una estrategia integral para evaluar la magnitud y persistencia de la mortalidad de ostión en BSQ, así como para identificar el o los factores responsables del fenómeno. También se reportaron mortalidades inusuales de juveniles-adultos de *Crassostrea gigas* durante 1998–2000 en Sonora (J. Isidro Flores, Gobierno del Estado de Sonora, México, com. pers.) y en la Bahía de Tomales, California (Martin Strain, Point Reyes Organic Oyster Co.; John Finger, Hog Island Oyster Co., com. pers.). Datos recientes reportados para la costa oeste de Estados Unidos (EUA) sugieren que existen diferencias ploidia-específicas y sitio-específicas en la magnitud de la mortalidad de *C. gigas*, con mayor mortalidad asociada a ostiones triploides (Cheney *et al.*, 2000). Asimismo, las diferencias sitio-específicas en la costa oeste de EUA parecen deberse no solo a la presencia/ausencia de microalgas tóxicas, sino también al estrés causado por episodios cortos de altas temperaturas y bajas concentraciones de oxígeno que cambian con el ciclo de mareas y la estación de año (Cheney *et al.*, 2000). Más recientemente se reportó que el origen/stock de progenitores también influyó en las mortalidades de *C. gigas* registradas en Puget Sound y Tomales Bay (Cheney *et al.*, 2001).

Efecto del ostión sobre el alimento disponible

Idealmente el cálculo de la capacidad de carga de una laguna costera debe considerar la evaluación *in situ* de varios factores hidrodinámicos, geoquímicos y biológicos que cambian en forma simultánea a lo largo del tiempo. Cuando la hidrodinámica es gobernada por corrientes de marea es posible estimar la influencia de los filtroalimentadores sobre el alimento disponible, una vez que se conocen el volumen de renovación del agua y la actividad fisiológica de los organismos (Ryther, 1969; Cabanas *et al.*, 1979; Carver y Mallet, 1990). El supuesto básico es que el alimento disponible en el volumen de entrada es independiente del alimento que sale en el ciclo mareal previo (Carver y Mallet, 1990).

En el presente estudio la variación en la concentración de seston tuvo una influencia mínima sobre la tasa de ingestión

(Correa *et al.*, this issue), no records have been published to date to test any of the above hypotheses; it is therefore necessary to develop an integral strategy to determine the magnitude and persistence of oyster mortality at SQB, and to identify the factor(s) responsible for this phenomenon. Unusual mortalities of juveniles and adults of *Crassostrea gigas* were also reported during 1998–2000 in Sonora (J. Isidro Flores, Gobierno del Estado de Sonora, Mexico, pers. comm.) and in Tomales Bay, California (Martin Strain, Point Reyes Organic Oyster Co.; John Finger, Hog Island Oyster Co., pers. comm.). Data reported recently for the west coast of the United States indicate that there are ploidy-specific and site-specific differences in the magnitude of *C. gigas* mortality, with higher mortality associated with triploid oysters (Cheney *et al.*, 2000). Likewise, the site-specific differences on the west coast of the United States seem to be due not only to the presence/absence of toxic microalgae, but also to stress caused by short episodes of high temperatures and low oxygen concentrations, which change with the tidal cycle and season (Cheney *et al.*, 2000). It was recently reported that the origin/stock of progenitors also played a role in the mortalities of *C. gigas* in Puget Sound and Tomales Bay (Cheney *et al.*, 2001).

Effect of oyster on food availability

Ideally, the calculation of the carrying capacity of a coastal lagoon should consider the *in situ* evaluation of several hydrodynamic, geochemical and biological factors that vary simultaneously in time. When the hydrodynamics is governed by tidal currents it is possible to estimate the influence of filter-feeders on food availability, once the volume of water renewal and physiological activity of the organisms are known (Ryther, 1969; Cabanas *et al.*, 1979; Carver and Mallet, 1990). The basic assumption is that the food available in the inflowing water is not related to the food carried away by the previous tidal cycle (Carver and Mallet, 1990).

In this study, the variation in the concentration of seston had a minimum effect on the ingestion rate (NOIR) of *C. gigas* (table 3), which remained relatively independent of the concentration of total seston. This differs with the observations of Barillé *et al.* (1997), who found that at *in situ* concentrations of seston below 25 mg L⁻¹, the ingestion rate of *C. gigas* was proportional to the particle load, but at concentrations between 25 and 100 mg L⁻¹, it remained constant. These discrepancies are probably due to the physiological plasticity of *C. gigas* to adapt to different environments, since the variation in mean seston concentration reported by the authors for a spring and neap tide cycle at Marens Oleron Bay (25–400 mg L⁻¹) is noticeably different from that of SQB (table 3). The data obtained in the present study indicate that the general mean ingestion rate used was appropriate for the carrying capacity calculations. Likewise, setting a maximum quota for the oyster of 25% of the available food in FB is justifiable if we consider that it should not decrease below 50% and that other important grazers occur

neta (NOIR) de *C. gigas* (tabla 3). Esto contrasta con las observaciones de Barillé *et al.* (1997), quienes encontraron que a concentraciones *in situ* de seston menores de 25 mg L⁻¹ la tasa de ingestión de *C. gigas* fue proporcional a la carga de partículas, pero a concentraciones entre 25 y 100 mg L⁻¹ se mantuvo constante. Las discrepancias probablemente se deban a la plasticidad fisiológica de *C. gigas* para adaptarse a distintos ambientes, ya que las variaciones en la concentración media de seston reportadas por los autores durante un ciclo de mareas vivas y muertas para la Bahía de Marennes-Oleron (25 a 400 mg L⁻¹) contrastan sensiblemente con las de BSQ (tabla 3). Los datos obtenidos en el presente estudio sugieren que el promedio generalizado de tasas de ingestión utilizado fue apropiado para los cálculos sobre la capacidad de carga. Asimismo, el establecimiento de una cuota máxima para el ostión del 25% del alimento disponible en BF es justificable si tomamos en cuenta que éste no debe disminuir por debajo de 50%, y que existen otros pastoreadores importantes en el medio (e.g., zooplankton) cuyo impacto aún no ha sido evaluado. Con este criterio, Uribe y Blanco (2002) establecieron una cuota de 8% del alimento disponible en Bahía Tongoy, Chile, para estimar la capacidad de carga de la almeja *Argopecten purpuratus* en esa bahía. Se sabe que el microzooplankton es capaz de reducir hasta en un 50% el alimento disponible en cuerpos costeros (Halvorse *et al.*, 2001; Susuki *et al.*, 2002). Es de notar que debido a que no se incluyó el tiempo de residencia del agua en el presente estudio, es deseable utilizar los valores de biomasa ostrícola estimados para mareas muertas (1913 t peso entero vivo), ya que esto reduciría el riesgo de subestimar el impacto de los filtroalimentadores. Dicho valor es cercano a las 2000 t de ostión que estimaron Camacho-Ibar *et al.* (2003) para BF a partir de balances de carbono, suponiendo una eficiencia de transferencia trófica del 10%.

Con todo lo anterior, el presente estudio sugiere que el potencial de producción de las artes de cultivo instaladas en BF (4300 t) está en el límite o por encima del límite de la capacidad de carga de BF. La disminución de hasta un 50% en la tasa de crecimiento de *C. gigas* observada en 2000 con respecto a 1995–1996 (tabla 3) también coincide con esta sugerencia. No obstante, la producción de ostión registrada durante el período de estudio no sobrepasó las 600 t año⁻¹ (Depto. Acuacultura, SAGARPA) por lo que la reducción de la tasa de crecimiento no podría ser explicada solamente por una capacidad de carga ostrícola rebasada, a menos de que la biomasa de otros filtroalimentadores no esté siendo considerada correctamente, o que la calidad del alimento disponible para el ostión haya cambiado. En este sentido, se desconoce de manera precisa la biomasa de almeja *Chione* sp. que se introdujo en la zona de cultivo durante el período de estudio, y no existen datos sobre la calidad del fitoplancton (tipo y abundancia de especies) en ese lapso, por lo que cualquier conclusión sobre la influencia de uno u otro factor sería especulativa. Por lo anterior, se recomienda mantener un monitoreo cercano de las tasas de crecimiento de *C. gigas*, ejercer un mayor control sobre el

in the environment (e.g., zooplankton), whose impact has still not been evaluated. With this criterion, Uribe and Blanco (2002) established a quota of 8% of the available food at Tongoy Bay, Chile, to estimate the carrying capacity of the clam *Argopecten purpuratus*. Microzooplankton are known to be able to reduce by 50% the food supply in coastal bodies (Halvorse *et al.*, 2001; Susuki *et al.*, 2002). Since water residence time was not included in this study, the oyster biomass values for neap tides should be used (1913 t whole live weight), because this reduces the risk of underestimating the impact of the filter-feeders. This value is similar to the 2000 t of oyster estimated by Camacho-Ibar *et al.* (2003) for BF using carbon budgets, assuming a trophic transference efficiency of 10%.

Based on the above, this study suggests that the production potential of the culture units installed in BF (4300 t) is at the limit or above the limit of the carrying capacity of the west arm. The decrease of up to 50% in the growth rate of *C. gigas* in 2000 relative to 1995–1996 (table 3) also supports this indication. However, the production of oyster during the study period was not more than 600 t yr⁻¹ (Dept. Acuacultura, SAGARPA), so the reduction in the growth rate cannot be explained by an exceeded oyster carrying capacity alone, unless the biomass of other filter-feeders is not being considered correctly or the quality of the food available for the oyster has changed. In this respect, there is a lack of information regarding the biomass of *Chione* sp. that was introduced into the culture zone during the study period, and there are no data on the quality of the phytoplankton (type and abundance of species) for this time; hence, any conclusion on the influence of one or another factor would be speculative. We recommend that the growth rates of *C. gigas* be closely monitored, that the management of molluscs at SQB be more rigorously controlled, and that the grazing rates of the most representative filter-feeders be more extensively measured in order to identify the impact of these groups on the carrying capacity of the lagoon.

Acknowledgements

This study was partially financed by SIMAC (ref. 80106020), UABC (ref. 4047), and the company Acuacultores de San Quintín S.A. The logistical support provided by the companies Acuicola San Quintín S.A., Ostiones Guerrero S.A., and J.C. Cota is gratefully acknowledged. Conrado Rivera, Salvador Galindo, Martín Hernández and Ricardo Vidal helped with the field work during parts of the study. The comments of three anonymous reviewers helped to improve this work.

English translation by Christine Harris.

manejo de moluscos en BSQ, y extender la medición de tasas de pastoreo en los filtroalimentadores más representativos del cuerpo de agua con el fin de identificar el impacto de esos grupos sobre la capacidad de carga de la laguna.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por los proyectos SIMAC (ref. 980106020) y UABC (ref. 4047), así como por la empresa integradora Acuacultores de San Quintín S.A. Se agradece especialmente el apoyo logístico recibido por las empresas Acuícola San Quintín S.A., Ostiones Guerrero S.A. y J.C. Cota. Conrado Rivera, Salvador Galindo, Martín Hernández y Ricardo Vidal apoyaron en los trabajos de campo durante algunas partes del estudio. El trabajo mejoró sustancialmente con las sugerencias de 3 revisores anónimos.

Referencias

- Barillé, L., Prou, J., Héral, M. and Razet, D. (1997). Effects of high natural seston concentrations on the feeding, selection, and absorption of the oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 212: 149–172.
- Bayne, B.L., Hedgecock, D., McGoldrick, D. and Rees, R. (1999). Feeding behaviour and metabolic efficiency contribute to growth heterosis in Pacific oysters [*Crassostrea gigas* (Thunberg)]. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 233: 115–130.
- Bougrier, S.P., Geairon, P., Deslous-Pauli, J.M., Bacher, C. and Jonqueres, G. (1995). Allometric relationships and effect of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, 134: 143–154.
- Cabanas, J.M., González, J.J., Marino, J., Perez, A. y Román, G. (1979). Estudio del mejillón y de su epifauna en los cultivos flotantes de la Ría de Arosa. III. Observaciones previas sobre la retención de partículas y la biodeposición de una batea. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 5: 44–52.
- Camacho-Ibar, V.F., Carriquiry, J.D. and Smith, S.V. (2003). Non-conservative P and N fluxes and net ecosystem production in San Quintin Bay, Mexico. *Estuaries* (aceptado).
- Carver, C.E. and Mallet, A.L. (1990). Estimating the carrying capacity of a coastal inlet for mussel culture. *Aquaculture*, 88: 39–53.
- Cheney, D.P., MacDonald, B.F. and Elston, R. (2000). Summer mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg): Initial findings on multiple environmental stressors in Puget Sound, Washington, 1998. *J. Shellfish Res.*, 19: 353–359.
- Chávez de Nishiwaka, A.G. y S. Alvarez Borrego. 1974. Hidrología de la Bahía de San Quintín, Baja California, en invierno y primavera. *Cienc. Mar.*, 1(2):31–62.
- Cheney, D.P., Elston, R., MacDonald, B., Kinnan, K. and Suhrbier, A. (2001). Summer mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*: Influences of culture methods, site conditions, and stock selection. *J. Shellfish Res.*, 20: 542 (abstract).
- Correa, F., Collins, E., Ocegüera, A., Domínguez, D. y Cordero, B. (2004). Variación alozímica del ostión japonés, *Crassostrea gigas* en la Bahía de San Quintín, BC, México. *Cienc. Mar.* 30(1A): 99–107.
- Dyer, K.R. (1997). *Estuaries*. 2nd ed., John Wiley, New York, 195 pp.
- García-Esquivel, Z., Galindo-Bect, M.S., González-Gómez, M.A., Hernández-Ayón, M., Ley-Lou, F. y Vidal-Talamantes, R.V. (1999). Mortandad de ostión en Bahía San Quintín durante 1998: Una evaluación puntual. Reporte Técnico, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, 22 pp.
- García-Esquivel, Z., González-Gómez, M.A., Galindo-Bect, S. and Hernández-Ayón, M. (2000). Microgeographic differences in growth, mortality and biochemical composition of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) from San Quintín Bay, northwest Mexico. *J. Shellfish Res.*, 19: 789–798.
- Halvorsen, E., Pedersen, O.P., Slagstad, D., Tande, K.S., Fileman, E.S. and Batten, S.D. (2001). Microzooplankton and mesozooplankton in an upwelling filament off Galicia: Modeling and sensitivity analysis of the linkages and their impact on the carbon dynamics. *Prog. Oceanogr.*, 51: 499–513.
- Hawkins, A.J.S., Smith, R.F.M., Bayne, B.L. and Heral, M. (1996). Novel observations underlying the fast growth of suspension-feeding shellfish in turbid environments: *Mytilus edulis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 131: 179–190.
- Hernández-Ayón, J. M., Galindo-Bect, M. S., Camacho-Ibar, V.F., García-Esquivel, Z., González-Gómez, M.A. y Ley-Lou, F. (2004). Dinámica de los nutrientes en el brazo oeste de Bahía San Quintín, Baja California, México, durante y después de El Niño 1997/1998. *Cienc. Mar.* 30(1A): 129–142.
- Hily, C. (1991). Is the activity of benthic suspension feeders a factor controlling water quality in the Bay of Brest? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 69: 179–188.
- Iglesias, J.I., Urrutia, M.B., Navarro, E. and Ibarrola, I. (1998). Measuring, feeding and absorption in suspension-feeding bivalves: An appraisal of the biodeposition method. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 219: 71–86.
- Juárez-Villarreal, M.M. (1982). Modelo de dispersión para un estuario ramificado y su aplicación a Bahía San Quintín. Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, BC, México. 79 pp.
- Lara-Lara, J.R., Alvarez-Borrego, S. and Small, L.F. (1980). Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 11: 613–637.
- Martori-Oxamendi, J.I. (1989). Variabilidad de la circulación y sus causas en Bahía San Quintín, BC. Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, BC, México, 110 pp.
- Ocampo-Torres, F.J. (1980). Análisis de mareas y predicción de velocidad mediante un modelo unidimensional en Bahía San Quintín, BC. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México.
- Polanco, J.E., Mimbela, S.R., Beléndez, M.L., Flores, M.A. y Reinoso-Alvarez, A.L. (1988). Situación actual del cultivo de ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en el noroeste de México. En: Situación Actual de las Principales Pesquerías Mexicanas. Secretaría de Pesca, México, pp. 219–248.
- Ramos-Amézquita, H.R. (1987). Determinación del arte más rentable para el cultivo a nivel comercial del ostión japonés (*Crassostrea gigas*), en la Bahía de San Quintín. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 157 pp.
- Ryther, J.H. (1969). The potential of the estuary for shellfish production. *Proc. Natl. Shellfisheries Assoc.*, 59: 18–22.
- Susuki, K., Tsuda, A., Kiyosawa, H., Takeda, S., Nishioka, J., Saino, T., Takahashi, M. and Wong, C.S. (2002). Grazing impact of microzooplankton on a diatom bloom in a mesocosm as estimated by pigment-specific dilution technique. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 271: 99–120.
- Uribe, E. y Blanco, J.L. (2002). Capacidad de los sistemas acuáticos para el sostenimiento del cultivo de pectínidos: El caso de *Argopecten purpuratus* en la bahía Tongoy, Chile. En: A.N. Maeda-Martínez (ed.), Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. CYTED, pp. 233–248.