

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS**



**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS SURGENCIAS EN
BAHÍA SAN QUINTÍN, BAJA CALIFORNIA.**

TESIS
QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS
NECESARIOS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PERSENTA

LAURA RODRÍGUEZ CARDOZO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. SEPTIEMBRE 2007.

Valoración económica de las surgencias en Bahía San Quintín, Baja California.

Las surgencias costeras son fenómenos oceanográficos que generan alta productividad debido a que una de sus características es la alta concentración de nutrientes. El agua subsuperficial fría y rica en nutrientes, al ser desplazada a la superficie, se calienta y se ocurren florecimientos fitoplanctónicos generándose así excelentes áreas para la acuicultura y la pesca, lo cual dentro de la economía ambiental se traduce en servicios ambientales que generan beneficios económicos para las sociedades humanas. Bahía San Quintín es una laguna costera que se localiza en las costas del Pacífico mexicano (zona de surgencias), en la que el cultivo de moluscos, especialmente del ostión Japonés, *Crassostrea gigas*, es una importante actividad económica. Para el desarrollo de la ostricultura en esta bahía no es necesario adicionar alimento externo, ya que la bahía y el mar adyacente se encargan de proporcionar el alimento necesario para el crecimiento y desarrollo de los ostiones. En este trabajo se realizó una valoración económica de las surgencias costeras en función de los beneficios que estas generan para la industria ostrícola en Bahía San Quintín. Para la valoración se utilizó el método de dosis-respuesta, en el que el valor económico estuvo dado por la contribución de las surgencias a la reducción en los costos de producción de los ostiones. Durante el periodo de estudio que abarcó de octubre 1996 a febrero 2002, las surgencias se presentaron con una intensidad media-baja en promedio ($100-150 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ m}$ de línea de costa). Se encontró una correlación negativa en la que el tiempo de cultivo disminuye cuando el índice de surgencia acumulado aumenta de 450 a $850 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ m}$ de línea de costa, con la cual se estimó un ahorro en el tiempo de cultivo entre 8 y 10 meses con respecto a un escenario sin surgencias. El costo de producir cada estante de la zona de cultivo es de aproximadamente 85 dólares, con lo cual se estimó la inversión anual y el ahorro en dólares por año. El ahorro calculado varió aproximadamente de 100,000 dólares en el 2001 hasta 200,000 dólares en 1999. Sin embargo, estos resultados podrían estar sobreestimados debido a que la inversión de 85 dólares por estante se consideró constante y no se tomó en cuenta que existen costos fijos como el de la semilla y la estructura de cultivo. La valoración económica de las surgencias a través de la industria ostrícola realizada en este estudio es solamente una primera aproximación, ya que se presentaron varias limitaciones en la disponibilidad de información, tanto ambiental como económica.

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

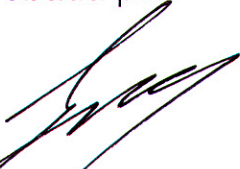
**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS SURGENCIAS EN BAHÍA
SAN QUINTÍN, BAJA CALIFORNIA.**

TESIS
QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS
NECESARIOS PARA OBTENER EL GRADO DE

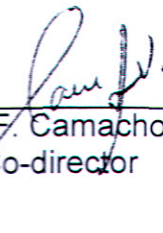
MAESTRO EN CIENCIAS
PRESENTA

Laura Rodríguez Cardozo

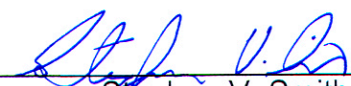
Aprobada por:



Roberto R. Enriquez Andrade
Presidente del jurado



Victor F. Camacho Ibar
Co-director



Stephen V. Smith
Sinodal

Agradecimientos

A mi comité de tesis, los doctores Víctor F. Camacho Ibar, Roberto R. Enríquez Andrade y Stephen V. Smith, por sus contribuciones a este trabajo y por todo su apoyo y comprensión.

A la empresa Agromarinos S.A. de C.V., en especial a Vicente Guerrero, a su familia y al Dr. Alfonso Aguirre, por ayudarme a entender como funciona la industria ostrícola, por su paciencia y por la información proporcionada.

A CONACYT por la beca otorgada para realizar mis estudios de posgrado.

A la UABC por la beca otorgada por parte del proyecto “Contribución a la valoración económica del sistema lagunar de Bahía San Quintín” en la 10ª convocatoria.

Y a todos mis amigos que, desde lejos o cerca, siempre estuvieron conmigo.

¡Gracias!

Índice

Antecedentes y justificación-----	1
Hipótesis-----	9
Objetivo general-----	9
Objetivos particulares-----	9
Área de estudio-----	10
Metodología -----	14
Procesos que afectan la producción del ostión <i>Crassostrea gigas</i> -----	14
Información de la industria ostrícola -----	14
Índices de surgencia -----	17
Correlación entre el tiempo de cultivo y el índice de surgencia -----	18
Efecto de las surgencias en la reducción de costos de producción -----	18
Resultados -----	20
Factores que afectan la producción del ostión <i>Crassostrea gigas</i> -----	20
Tiempo de cultivo -----	22
Anomalías e índices de surgencia históricos -----	24
Relación entre el tiempo de cultivo y el índice de surgencia -----	27
Efecto de las surgencias en los costos de producción -----	30
Discusiones -----	35
Procesos que afectan la producción del ostión <i>Crassostrea gigas</i> -----	35
Tasa de crecimiento -----	35
Tasas de filtración, ingestión y expulsión -----	37
Disponibilidad de alimento -----	39
Hidrodinámica -----	42

Balance de energía -----	43
Diferencias sitio-específicas -----	46
Arte de cultivo -----	47
Mortalidad -----	48
Relación entre las surgencias costeras y la producción de ostiones en Bahía San Quintín -----	51
Valor económico de las surgencias costeras para la industria ostrícola en Bahía San Quintín -----	54
Conclusiones -----	58
Recomendaciones -----	59
Anexo-----	61
Literatura Citada -----	63

Lista de Figuras

Figura 1. Bahía San Quintín -----	11
Figura 2. Ubicación de la estación de la NOAA de la cual se extrajeron las anomalías y los índices de surgencia (30°N – 119°O) -----	17
Figura 3. Tiempo de cultivo (meses) para cada fecha de fijación con tendencia (A) y sin tendencia (B). -----	23

Figura 4. Serie de tiempo del índice de surgencia histórico en 30° N y 119° O ---	
-----	25
Figura 5. Serie de tiempo de la anomalía del índice de surgencia histórico en 30° N y 119° O -----	26
Figura 6. Crecimiento promedio instantáneo del ostión japonés cultivado con cuatro diferentes artes de cultivo en Bahía San Quintín en el periodo de mayo a diciembre de 1985 (tomado de Ramos-Amézquita, 1987) -----	27
Figura 7. Relación entre el tiempo de cultivo y el índice de surgencia acumulado de seis meses-----	29
Figura 8. Relación entre el tiempo de cultivo y el índice de surgencia acumulado de seis meses hasta 850 m ³ /s/100 m de línea de costa -----	29
Figura 9. Serie del índice de surgencia mensual durante el periodo de estudio --	
-----	31
Figura 10. Cantidad de estantes cosechados desde enero de 1998 hasta diciembre del 2001 -----	34
Figura 11. Esquema de los principales factores que influyen en el crecimiento de los ostiones (modificado de Kobayashi <i>et al.</i> , 1997) -----	36
Figura 12. Relación del efecto de la temperatura y de la disponibilidad de alimento en la supervivencia de los ostiones (tomado de Bougrier, <i>et al.</i> , 1995) -	
-----	45

Figura 13. Producción anual de ostión en Baja California, tomada del Anuario Estadístico de Pesca (2003) ----- 57

Figura 14. Estimación de la cantidad de dólares ahorrados por año debido a la disminución del tiempo de cultivo por la influencia de las surgencias ----- 57

Lista de tablas

Tabla I. Asignación de número de fijación a cada fecha de fijación -----15

Tabla II. Ejemplo de la forma de organización de los datos proporcionados por la empresa Agromarinos ----- 16

Tabla III. Principales factores que afectan la producción del ostión *Crassostrea gigas* y variables ambientales de las cuales dependen ----- 21

Tabla IV. Variación del tiempo de cultivo con relación al índice de surgencia mediante tres escenarios ----- 32

Tabla V. Intensidad de surgencia y número de meses de producción ahorrados correspondientes a cada año de estudio ----- 33

Tabla VI. Número de estantes cosechados, inversión anual, inversión mensual y ahorro en dólares para cada uno de los años de estudio ----- 34

Tabla VII. Características importantes en la producción de ostiones ----- 62

Antecedentes y justificación

La economía es la ciencia que se encarga del estudio de la satisfacción de las necesidades humanas, mediante bienes que siendo escasos tienen usos alternativos entre los cuales hay que optar (Robbins, 1932, en Méndez, 1996). En el contexto de la economía ambiental, el ambiente y los recursos naturales son considerados desde una perspectiva utilitaria. Las decisiones que se toman respecto a su uso, se justifican o no con base en el efecto que estos tienen en la calidad de vida de las personas. En general, esta rama de la economía estudia las opciones para lograr que las personas vivan con altos estándares de vida y en armonía con el ambiente (Enríquez-Andrade, 2004).

Las actividades humanas provocan cambios en el capital natural y en la calidad de los servicios de los ecosistemas de tal forma que los flujos de costos y beneficios para el bienestar humano son alterados. Los servicios de los ecosistemas consisten en flujos de materiales, energía e información que provienen del capital natural, el cual al ser combinado con el capital manufacturado y el capital humano pueden producir bienestar. Los bienes (como el alimento) y servicios (como la degradación de desechos) representan ejemplos de los beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas (Pagiola *et al.* 2004).

Los beneficios económicos generados por los ecosistemas naturales son ampliamente reconocidos y, sin embargo, pobremente entendidos. Los ecosistemas naturales se encuentran bajo grandes presiones porque la dependencia de materia y energía de la sociedad humana va en aumento. El crecimiento de las poblaciones humanas ha provocado el cambio de los ecosistemas naturales a usos como el de la agricultura, la industria o el residencial. Además, también se ha incrementado la demanda de materia prima proveniente de los ecosistemas naturales, como por ejemplo: agua dulce, fibras y alimento. Por consiguiente, la presión sobre la capacidad de los ecosistemas para asimilar nuestros desechos, incluyendo la contaminación del aire y del agua, así como los desechos sólidos también ha aumentado. En pocas palabras, las sociedades humanas transforman cada vez más los ecosistemas naturales y con ello están reduciendo la capacidad de estos para satisfacer nuestras necesidades (Constanza, 1999).

Con relación a la fragilidad ambiental, en 1999, Levin menciona que los sistemas naturales son sistemas complejos que se adaptan y que se pueden transformar en nuevos sistemas debido al estrés ambiental. Sin embargo, el mantenimiento de los servicios ambientales que ofrecen los sistemas naturales y de los cuales depende la sociedad humana es sumamente frágil. Por lo tanto, los ecosistemas deben ser explotados cuidadosamente.

En este contexto, la valoración económica de los ecosistemas representa el proceso de expresar un valor para los bienes y servicios de los ecosistemas desde el punto de vista de las preferencias de las personas. Por ejemplo, la biodiversidad tiene un valor, no sólo por los usos directos potenciales, conocidos y desconocidos, de algunas especies en particular para proveer servicios a la humanidad, sino además por su contribución al control de la estabilidad y la elasticidad de los ecosistemas (Constanza, 2000).

Generalmente, los servicios que son directamente comercializables en el mercado adquieren el precio de intercambio como valor económico. Sin embargo, existen gran cantidad de casos en los que los servicios no son directamente comercializables, como por ejemplo, el caso de muchos de los servicios generados por los bosques de manglares. En ellos, la madera refleja únicamente una porción del valor económico de un mangle, ya que además puede proveer una serie de servicios como son hábitat y refugio, mantenimiento de la diversidad biológica y genética, reciclamiento de nutrientes, control del clima, recreación y turismo, e investigación y educación, entre otros (Barbier, 2000). Para estimar el valor de este último tipo de servicios se han desarrollado una serie de métodos de valoración económica. En el recuadro I se presenta una síntesis de los métodos más importantes para valorar económicamente los distintos beneficios que se derivan de los ecosistemas naturales.

Recuadro I. Principales métodos de valoración económica de los beneficios generados por los ecosistemas (tomado de Enríquez-Andrade, 2005)

Técnicas basadas en preferencias reveladas:

El valor de algunos servicios ambientales puede ser estimado usando los precios en los mercados.

- **Precios en el mercado:** se usa para los bienes derivados de los ecosistemas como el pescado, madera y minerales que son intercambiados en el mercado.
- **Precios en mercados asociados:** algunos servicios ecológicos no son comprados ni vendidos directamente en mercados. Sin embargo, para estimar su valor económico se pueden utilizar los precios que la gente está dispuesta a pagar en mercados relacionados con estos servicios:
 - **Costo de viaje:** el gasto que una persona está dispuesta a realizar para observar ballenas grises en Baja California puede ser utilizado como una aproximación al valor asignado por el usuario a dicha experiencia.
 - **Precios hedónicos:** algunas personas están dispuestas a pagar más por un bien inmueble que tiene acceso a una vista panorámica, revelando con esto que valora el acceso de dicha amenidad del ambiente.

Técnicas de preferencias expresadas:

Muchos servicios ecológicos no están sujetos a transacciones en el mercado. En estos casos, se le puede preguntar a la gente su disposición a pagar presentándoles situaciones hipotéticas de calidad ambiental.

- **Valoración contingente:** en este caso se presentan escenarios hipotéticos a personas y se les pide que expresen su disposición a pagar.
- **Elección contingente:** esta técnica consiste en presentar a las personas un paquete de alternativas hipotéticas y se les pide que elijan una de ellas, de aquí se puede estimar su disposición a pagar.

Técnicas de preferencias imputadas:

Se puede estimar el valor de algunos de los servicios ecológicos a partir de las erogaciones que la gente realiza en actividades defensivas ante daños al ambiente. Por ejemplo, el costo de muros reflectores de ruido para proteger zonas residenciales del ruido producido por un aeropuerto.

- **Costo evitado**
- **Costo de sustitución o reemplazo**

Extrapolación de beneficios:

Los valores económicos de un ecosistema se estiman con base en estudios realizados en otros ecosistemas o contextos similares.

Métodos basados en la función de producción:

Se usan para estimar el valor de los servicios ambientales que entran como insumos en los procesos de producción. El valor está dado por la contribución que hace dicho servicio en las utilidades generadas por el producto final.

En 1997, Constanza y colaboradores realizaron un trabajo para obtener el valor económico en dólares de los servicios de los ecosistemas y del capital natural en el ámbito mundial mediante la valoración económica de 17 servicios ecológicos (regulación de gases, regulación del clima, regulación de disturbios, regulación del agua, abastecimiento de agua, control de erosión y retención de sedimento, formación de suelos, reciclamiento de nutrientes, tratamiento de aguas, polinización, control biológico, refugio, producción de alimento, materiales crudos, fuentes genéticas, recreación y cultural) para los siguientes ecosistemas marinos y terrestres: océano abierto, zona costera, bosques, praderas, humedales, ríos y lagos, desiertos, tundra, glaciares, zonas de cultivo y zonas urbanas. Obtuvieron que el valor total de la biosfera se encuentra en un intervalo de 16-54 trillones (10^{12}) de dólares por año, con un promedio de 33 trillones de dólares por año. De esta cantidad cerca del 63% es aportado por los sistemas marinos y, dentro de los sistemas marinos, el 60% por la zona costera y el 40% por el océano abierto.

En el ecosistema marino ocurren fenómenos conocidos como surgencias. Los beneficios de las surgencias, un ejemplo de servicio ecológico difícil de valorar económicamente, se deben a fenómenos oceanográficos que ocurren principalmente en las costas oeste de los continentes y en los océanos Pacífico y Atlántico ecuatorial. Se generan cuando el viento sopla sobre la superficie oceánica durante un tiempo, dirección e intensidad determinada, provocando un desplazamiento horizontal del agua superficial, la cual es reemplazada por agua

de la subsuperficie. El agua subsuperficial se caracteriza por ser más fría y por contener mayor cantidad de nutrientes que el agua superficial. Por lo tanto, en presencia de surgencias se favorece la producción biológica al aumentar la disponibilidad de alimento, ya que en superficie habitan mayor cantidad de productores primarios, los cuales necesitan luz y nutrientes para llevar a cabo su actividad bioquímica (Blanton *et al.*, 1987). Por lo tanto, como consecuencia del desplazamiento vertical de agua, ocurren florecimientos fitoplanctónicos al promoverse una alta productividad en la zona, generándose así excelentes áreas para la acuicultura y la pesca, lo cual dentro de la economía ambiental se traduce en servicios ambientales que generan beneficios económicos para las sociedades humanas.

Bahía San Quintín es una laguna costera que se localiza a los 30° 27' N y 116° 00' W en las costas del Pacífico mexicano. Esta laguna es un importante polo de desarrollo acuícola en el Noroeste de México, donde el cultivo de moluscos y la pesca deportiva se han consolidado como actividades de importancia económica dentro de la bahía y en su costa adyacente. Para el desarrollo de la ostricultura en Bahía San Quintín no es necesario adicionar alimento externo, ya que la bahía y el mar adyacente se encargan de proporcionar el alimento necesario para el crecimiento y desarrollo de los ostiones, los cuales son organismos filtroalimentadores que se alimentan de fitoplancton, bacterias y detritus proveniente de fuentes tanto autóctonas como alóctonas (Newell y

Jordan, 1983). El principal producto en Bahía San Quintín es el ostión Japonés *Crassotrea gigas*, también conocido como ostión del Pacífico.

La alta productividad de Bahía San Quintín se debe principalmente a las características del océano lindante, en el que ocurren eventos de surgencia con mayor intensidad en primavera y verano, de tal forma que las surgencias son una fuente importante de nutrientes para la bahía (Millán-Núñez *et al.*, 1982). Existen algunos estudios en los que se sugiere una relación directa entre la producción de moluscos bivalvos y las surgencias. Por ejemplo, Blanton y colaboradores (1987) encontraron una correlación anual entre la intensidad de las surgencias y la calidad de los moluscos bivalvos (mejillones) producidos en las rías del oeste de España. Por lo tanto, las surgencias costeras son un servicio ecológico y generan beneficios tanto para la industria ostrícola de Bahía San Quintín como para las comunidades humanas asociadas a dicha actividad.

La valoración económica de las surgencias podría facilitar la toma de decisiones en Bahía San Quintín. Por ejemplo, podría ayudar a escoger entre dos actividades económicas importantes en la zona, la acuacultura y el turismo, ya que si se decidiera explotar intensamente alguna de ellas probablemente la otra se vería desplazada. Es decir, si se decidiera hacer de Bahía San Quintín un puerto turístico se tendría que construir una marina, lo cual cambiaría la morfología de la línea de costa y probablemente el agua rica en nutrientes proveniente de las surgencias que ocurren en el mar adyacente ya no entraría

en la bahía como lo hace actualmente, provocando potencialmente una disminución en la productividad e incluso el colapso de la acuicultura del ostión. Por ello, para calcular los costos y beneficios de ambas actividades económicas y así poder escoger la mejor opción, es necesario valorar cada uno de los factores que las afectan, entre ellos las surgencias, que de otra manera podrían dejarse fuera del análisis de decisiones económicas por no tener un valor de uso directo en el mercado.

Hipótesis

Las surgencias costeras tienen un beneficio económico en la industria ostrícola, por lo tanto se les puede asignar un valor económico con base en la disminución en los costos de producción.

Objetivo general

Identificar y cuantificar económicamente algunos de los beneficios que las surgencias costeras ofrecen a la sociedad a través del desarrollo de la industria ostrícola en Bahía San Quintín.

Objetivos particulares

Describir bibliográficamente los factores físicos, químicos, biológicos y económicos que afectan la producción del ostión *Crassostrea gigas*.

Determinar la relación existente entre la intensidad de las surgencias costeras y la producción de ostiones en Bahía San Quintín.

Estimar el valor económico de las surgencias costeras para la industria ostrícola en Bahía San Quintín.

Área de estudio

Bahía San Quintín (figura 1) es una laguna costera localizada en la costa noroeste de la península de Baja California ($30^{\circ} 27' N$, $116^{\circ} 00' W$). Tiene dos brazos: el brazo este es conocido como Bahía San Quintín y el brazo oeste como Bahía Falsa. Cubre un área aproximada de 42 km^2 , con una profundidad media de 2 m, tiene una amplitud de marea de 2.4 m durante mareas vivas, la temperatura del agua varía entre $11\text{-}22^{\circ}\text{C}$ en la boca y $13\text{-}27^{\circ}\text{C}$ al final de brazo este (Álvarez-Borrego y Álvarez-Borrego, 1982). Se encuentra en una región templada que presenta una precipitación anual promedio de 150 mm (con mayor frecuencia e intensidad en invierno) y una evaporación anual promedio de 1400 mm. Presenta intrusión salina hacia los mantos acuíferos, ya que la cantidad de agua que se extrae del subsuelo para los cultivos agrícolas es mucho mayor que la recarga, invirtiéndose el flujo normal del subsuelo; por esta razón los acuíferos no parecen ser fuentes de nutrientes hacia esta laguna costera (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2001).

Bahía San Quintín es un sistema hipersalino con clima mediterráneo que presenta evaporación neta durante todo el año. Es considerada como un sistema bien mezclado verticalmente, es decir, que no hay gradientes verticales significativos de propiedades disueltas en la mayor parte de la bahía (Millán-Núñez *et al.*, 1982). El océano adyacente a este sistema está influenciado por la corriente de California, los vientos dominantes provienen del noroeste y

generan los eventos de surgencia. Las surgencias con mayor intensidad ocurren en primavera y a principios de verano, sin embargo, persisten durante todo el año (Bakun y Nelson, 1977).

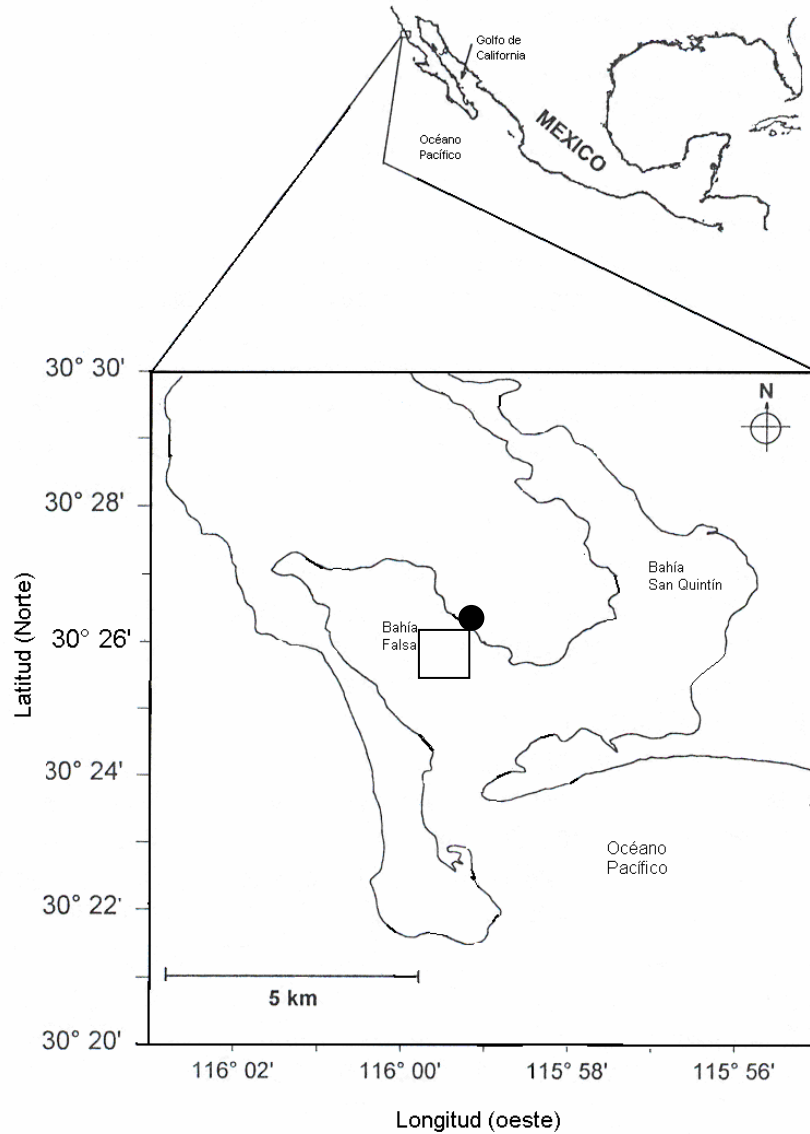


Figura 1. Bahía San Quintín. El punto negro indica la localización de la empresa Agromarinos y el recuadro muestra la zona de cultivo utilizada para la valoración en este trabajo.

En los años 70's y a principios de los 80's se hicieron algunos estudios oceanográficos en este sistema debido al desarrollo de la acuicultura del ostión. Lara-Lara *et al.* (1980) concluyen que la alternancia de los eventos de surgencia es la principal causa de la variabilidad temporal de parámetros biológicos y químicos como clorofila a, abundancia de especies fitoplanctónicas, productividad primaria y nutrientes en la boca de la bahía. Por lo anterior, las variaciones de clorofila y temperatura en Bahía Falsa siguen el mismo patrón que las mareas, siendo esto más evidente en la zona cercana a la boca (Hernández-Ayón *et al.*, 2004).

La acuicultura del ostión es una actividad económica muy importante en Bahía San Quintín que está restringida únicamente al brazo oeste de la laguna, conocido como Bahía Falsa, y cubre un área aproximada de 300 ha o el 33% de dicho brazo. Los estantes de cultivo quedan expuestos al aire en promedio el 15% del tiempo, durante las mareas bajas (García-Esquivel *et al.*, 2000). Tradicionalmente, los estantes (6 x 1.2 m, largo x 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 (García-Esquivel *et al.*, 2004). Esta actividad no requiere un suplemento de alimento por el humano, debido a la disponibilidad de alimento natural que es sostenido por la producción primaria interna (limitada por la luz y algunas veces por nutrientes) y por el intercambio de agua y material orgánico entre la bahía y el océano adyacente. Se ha estimado que la acuicultura del ostión utiliza aproximadamente el 40% del

suplemento externo de alimento, por lo tanto, esta actividad en la bahía está operando de forma sustentable (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2001). Camacho y colaboradores (2003) encontraron que la demanda por alimento de la acuicultura del ostión se encuentra muy cerca del balance con los aportes netos de carbono orgánico hacia Bahía Falsa; la magnitud de la heterotrofia neta estimada por dichos autores puede deberse al consumo y respiración de carbono orgánico por los ostiones. Los tiempos de residencia estimados para Bahía Falsa a partir de balances de sal varían entre 4 y 6 días en los meses de primavera y verano, y alrededor de 12 días en invierno (Hernández-Ayón *et al.*, 2004).

Metodología

Procesos que afectan la producción del ostión *Crassostrea gigas*

Con la finalidad de describir los procesos físicos, químicos, biológicos y económicos que afectan la producción del ostión *Crassostrea gigas*, se realizó una investigación bibliográfica de los artículos publicados sobre el tema en revistas científicas como: Aquaculture, Marine Ecology Progress Series, Journal of Shellfish Research, Journal of Marine Systems, Journal of Oceanography y Ciencias Marinas, entre otras.

Información de la industria ostrícola

Los datos para la realización de este trabajo fueron proporcionados por la empresa ostrícola Agromarinos S.A. de C.V. (figura 1) de la Bahía de San Quintín, la cual es la única empresa calificada por la FDA (Food and Drug Administration) para la exportación de ostiones a EUA de esa zona.

Se utilizaron datos de fechas de fijación y de cosecha entre octubre de 1996 y febrero del 2002. Con ellos se calculó el tiempo que los ostiones vivieron dentro del agua de la bahía y durante el cual estuvieron bajo la influencia de sus características, como son alimento y temperatura, hasta ser cosechados al alcanzar la talla comercial (generalmente 9 cm). Este periodo es reconocido en

este trabajo como “tiempo de cultivo” y está presentado en meses. Para facilitar el manejo de los datos se le asignó un número de fijación a cada fecha de fijación (Tabla I).

Tabla I. Asignación de número de fijación a cada fecha de fijación.

No. de fijación	Fecha de fijación	No. de fijación	Fecha de fijación	No. de fijación	Fecha de fijación
1	02-Oct-96	20	18-Jun-98	39	11-Feb-99
2	23-Oct-96	21	30-Jun-98	40	13-May-99
3	14-Mar-97	22	16-Jul-98	41	27-May-99
4	17-Abr-97	23	30-Jul-98	42	14-Jul-99
5	08-May-97	24	06-Ago-98	43	22-Jul-99
6	22-May-97	25	13-Ago-98	44	04-Ago-99
7	03-Jun-97	26	27-Ago-98	45	18-Ago-99
8	18-Jun-97	27	03-Sep-98	46	02-Sep-99
9	03-Jul-97	28	16-Sep-98	47	15-Sep-99
10	01-Ago-97	29	24-Sep-98	48	20-Oct-99
11	19-Sep-97	30	01-Oct-98	49	19-Ene-00
12	01-Oct-97	31	08-Oct-98	50	25-Feb-00
13	04-Oct-97	32	15-Oct-98	51	13-Abr-00
14	15-Oct-97	33	03-Nov-98	52	27-Abr-00
15	30-Abr-98	34	06-Nov-98	53	18-May-00
16	07-May-98	35	19-Nov-98	54	08-Jun-00
17	14-May-98	36	03-Dic-98	55	22-Jun-00
18	21-May-98	37	16-Dic-98	56	07-Jul-00
19	11-Jun-98	38	28-Ene-99		

Para simplificar la información, en función de las unidades cosechadas, se calculó un promedio ponderado de los tiempos de cultivo correspondientes a cada fijación, con la finalidad de darle un mayor peso a los tiempos de cultivo en los que se cosechó mayor producto (ver ejemplo en la tabla II).

Debido a que no se cuenta con información sobre la demanda de ostiones del mercado para la empresa Agromarinos S.A. de C.V. durante el periodo de estudio, dicha demanda se consideró constante para este trabajo. La aseveración anterior puede generar un sesgo en los resultados de esta investigación, ya que un tiempo de cultivo corto podría ser resultado de dos escenarios: (1) que las condiciones ambientales fueron las ideales para el crecimiento y desarrollo de los ostiones y, por o tanto, alcanzaron la talla comercial en menor tiempo, y (2) que la demanda en el mercado fue tal que se decidió cosechar los ostiones aunque estos todavía no alcanzaran la talla comercial. En este trabajo no se tomó en consideración el escenario (2) y para minimizar este posible sesgo se calculó el promedio ponderado de los tiempos de cultivo para cada fijación en función de las unidades cosechadas.

Tabla II. Ejemplo de la forma de organización de los datos proporcionados por la empresa Agromarinos. En la última columna aparece el promedio ponderado (Pp) del tiempo de cultivo para la fijación uno.

($Pp = \frac{\sum(\text{tiempo de cultivo} * \text{unidades cosechadas})}{\sum \text{unidades cosechadas}}$).

Número de fijación	Fecha de fijación	Fecha de cosecha	Tiempo de cultivo (meses)	Unidades cosechadas	Promedio ponderado (mensual)
1	02-Oct-96	18-Oct-97	13.5	19200	14.2
1	02-Oct-96	25-Oct-97	13.8	18800	14.2
1	02-Oct-96	01-Nov-97	14.0	20140	14.2
1	02-Oct-96	08-Nov-97	14.3	24620	14.2
1	02-Oct-96	15-Nov-97	14.5	20100	14.2
1	02-Oct-96	22-Nov-97	14.8	23580	14.2

Indices de surgencia

Se extrajeron las anomalías y los índices de surgencia mensuales correspondientes a la latitud 30 Norte y longitud 119 Oeste (figura 2) de la base de datos de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration www.pfeg.noaa.gov). Se analizaron datos históricos desde 1946 hasta el 2005 para comparar la temporada del presente estudio con años anteriores.

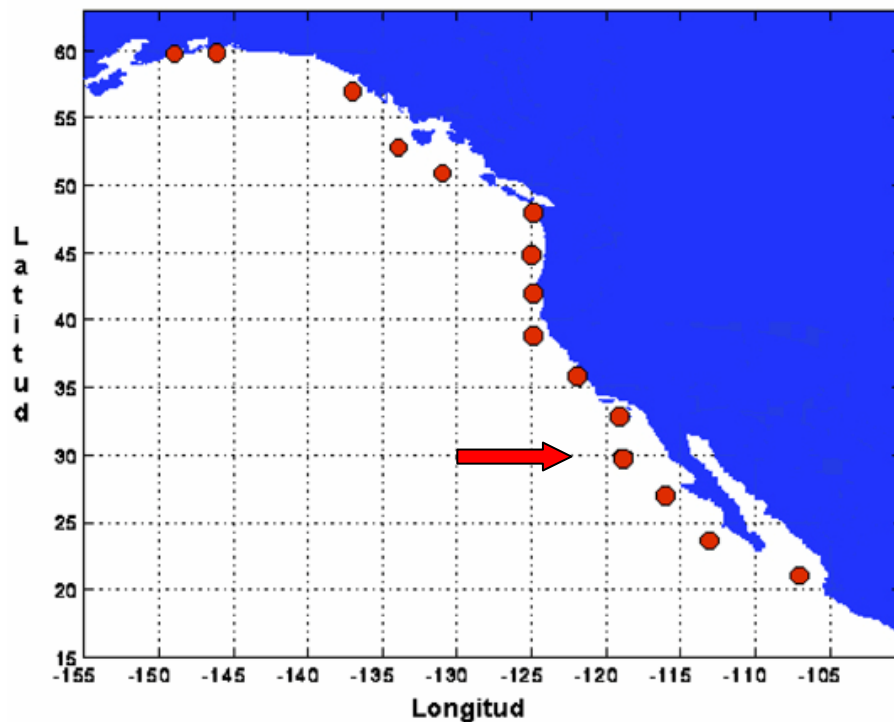


Figura 2. Ubicación de la estación de la NOAA de la cual se extrajeron las anomalías y los índices de surgencia (30°N – 119°O).

Correlación entre el tiempo de cultivo y el índice de surgencia

En general, los seres vivos presentan una mayor tasa de crecimiento al comienzo de su vida, por lo tanto, necesitan consumir gran cantidad de alimento y de la mejor calidad posible. De acuerdo con un estudio realizado por Ramos-Amézquita (1987), para los ostiones de Bahía San Quintín esta fase dura aproximadamente 6 meses. Se calculó el índice de surgencia acumulado de 6 meses para tener un valor representativo de las surgencias que influenciaron el crecimiento de los ostiones en esta fase exponencial. Se obtuvo el tipo de relación entre el tiempo de cultivo de los ostiones y el índice de surgencia acumulado de seis meses, así como el coeficiente de correlación y su significancia estadística mediante una prueba de hipótesis, el valor crítico de correlación se consultó directamente de la tabla B-17 de Zar (1984).

Efecto de las surgencias en la reducción de los costos de producción

De acuerdo con la serie histórica de surgencias obtenida de la NOAA, se clasificó a las surgencias de la temporada de estudio en surgencias de intensidad baja, media y alta. Se calculó el cambio en el tiempo de cultivo (meses) al aumentar la intensidad de las surgencias mediante la relación obtenida en la sección anterior. Se calculó el promedio anual del índice de surgencia para los años de estudio y estos se clasificaron en tres escenarios: (1) sin surgencia, (2) surgencia con intensidad baja y (3) surgencia con

intensidad media-baja. Finalmente, se obtuvo el valor en dólares de los días de producción ahorrados a partir de los estantes cosechados por año. Según Vicente Guerrero, socio y encargado principal de la planta de Agromarinos S.A. de C.V., para producir un estante de ostiones en Bahía San Quintín es necesario invertir aproximadamente 85 dólares, en los cuales se incluyen gastos como: salarios para el personal, material para la reparación y construcción de los estantes, gasolina y la compra de las semillas principalmente. Por lo tanto es posible calcular la cantidad de dinero invertida para obtener la cosecha anual del periodo de estudio y la inversión diaria. Con esta información se obtuvo la cantidad de dinero ahorrado al disminuir el tiempo de cultivo. También se realizó el cálculo de dólares ahorrados por tonelada producida por año, y a partir de este dato se extrapolo a dólares ahorrados para el estado de Baja California en la década de los 90's utilizando la información del Anuario Estadístico de Pesca (2003).

Resultados

Factores que afectan la producción del ostión *Crassostrea gigas*

A partir de la investigación bibliográfica se encontró que existe gran variedad de factores que afectan la producción del ostión *Crassostrea gigas* y que, en general, todos están interrelacionados, por lo tanto hay que analizarlos de manera integral. En la tabla III se muestran los principales factores, así como las variables ambientales de las que dependen dichos factores.

Además de estos factores ambientales, hay factores económicos que afectan la producción de los ostiones como son la oferta y la demanda del mercado de ostiones nacional e internacional (EU). La demanda a nivel internacional varía de acuerdo a la oferta de las empresas ostrícolas del Este de EU, ya que ellos pueden fijar el precio debido a que el gasto de producción es menor porque cosechan ostiones silvestres y, por lo tanto, venden más barato (se ahorran el gasto del cultivo). Las empresas del Pacífico, incluyendo a Agromarinos, compiten usando como base el precio fijado por las empresas del Este de EU. La demanda a nivel nacional no es tan variable, es probable que la mayor variación se deba a la temporada de cuaresma, donde la demanda de ostiones es mayor.

Tabla III. Principales factores que afectan la producción del ostión *Crassostrea gigas* y variables ambientales de las cuales dependen.

Factor	Variables ambientales
Tasa de crecimiento	-disponibilidad de alimento -temperatura -salinidad
Tasas de filtración, ingestión y expulsión	-concentración del material particulado total -temperatura
Disponibilidad de alimento	-variación temporal -variación espacial -prisma de mareas -tiempo de residencia -fuentes de alimento
Hidrodinámica	-mareas -tiempo de residencia
Balance de energía	-consumo de O ₂ -tasa de clareamiento
Diferencias sitio-específicas	-mareas -temperatura -concentración de alimento
Mortalidad	-sobrepoblación -virus y bacterias -temperatura -introducción de otras especies -calidad del agua y del alimento -parásitos

Tiempo de cultivo

En la figura 3 se muestra la relación del tiempo que los ostiones tardaron en crecer hasta alcanzar la talla comercial y el número de fijación. Se observa una tendencia a aumentar el tiempo de cultivo con relación al número de fijación (figura 3A). Aun cuando se visualizan variaciones interanuales, también se alcanza a distinguir el mínimo al inicio de la serie (fijaciones número 3, 4, 5 y 6) que corresponde al periodo de la primavera de 1997, y el máximo en el último otoño de la serie, septiembre y octubre de 1999 (fijaciones número 47 y 48). Para hacer un análisis interanual se extrajo dicha tendencia (figura 3B) y, en general, se observa que cuando se fija en las temporadas de otoño e invierno (círculos verdes) el crecimiento es más lento que en las temporadas de primavera y verano (círculos naranjas).

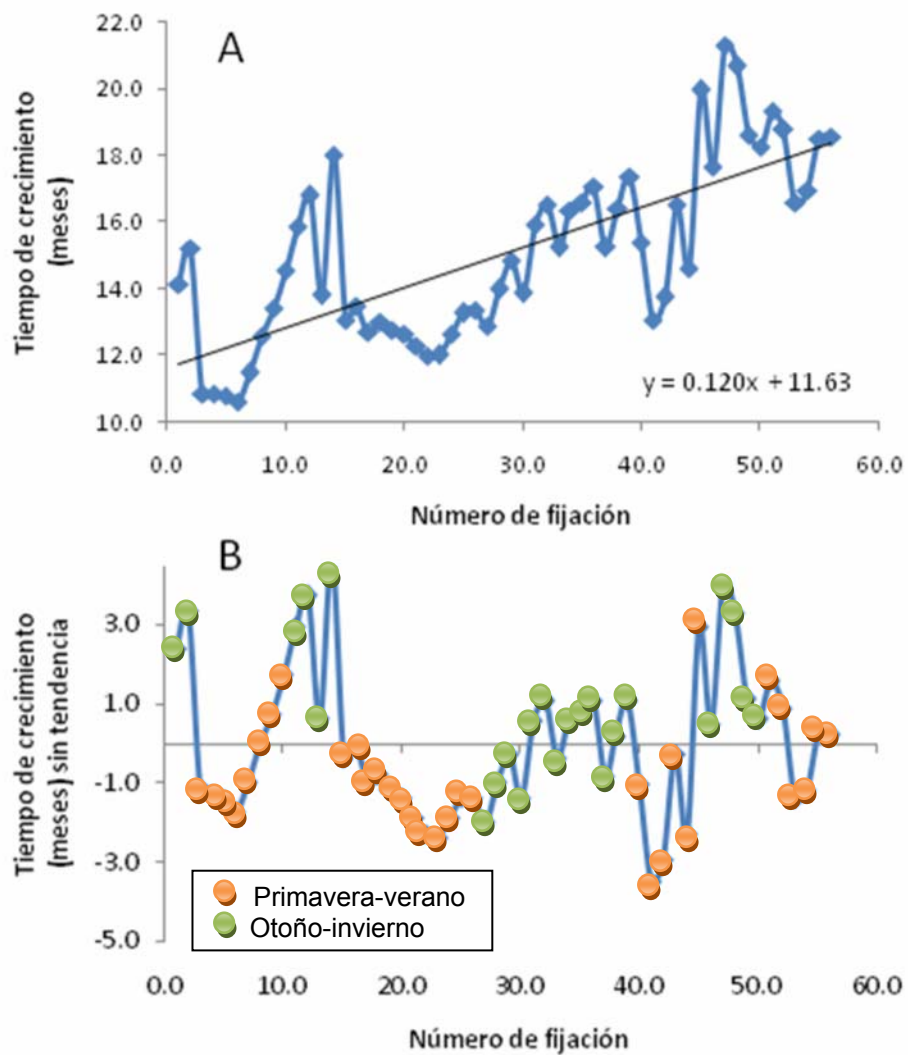


Figura 3. Tiempo de cultivo (meses) para cada fecha de fijación con tendencia (A) y sin tendencia (B). En verde se muestran las fijaciones de otoño e invierno y en naranja las de primavera y verano.

Anomalías e índices de surgencia históricos

La serie de índices de surgencia históricos mensuales desde 1946 hasta el 2005 (figura 4) y el promedio corrido de cada año (utilizando 12 datos mensuales), sirve para analizar la tendencia de los índices de surgencia del periodo de estudio con relación a años anteriores. El promedio corrido muestra cinco máximos bien marcados, el mayor es en 1955 seguido del de 1970, 1983, 1946 y 1998, con índices de surgencia aproximados de 170, 160, 155, 150 y 140 m³ /s/100 m de línea de costa respectivamente. El mínimo más marcado se presentó en 1965 con 70 m³ /s/100 m de línea de costa, sin embargo, fuera de este periodo ningún índice fue menor a 100 m³ /s/100 m de línea de costa. La mayor diferencia encontrada en esta serie se presentó entre 1955 y 1965 con un gradiente de casi 100 m³ /s/100 m de línea de costa.

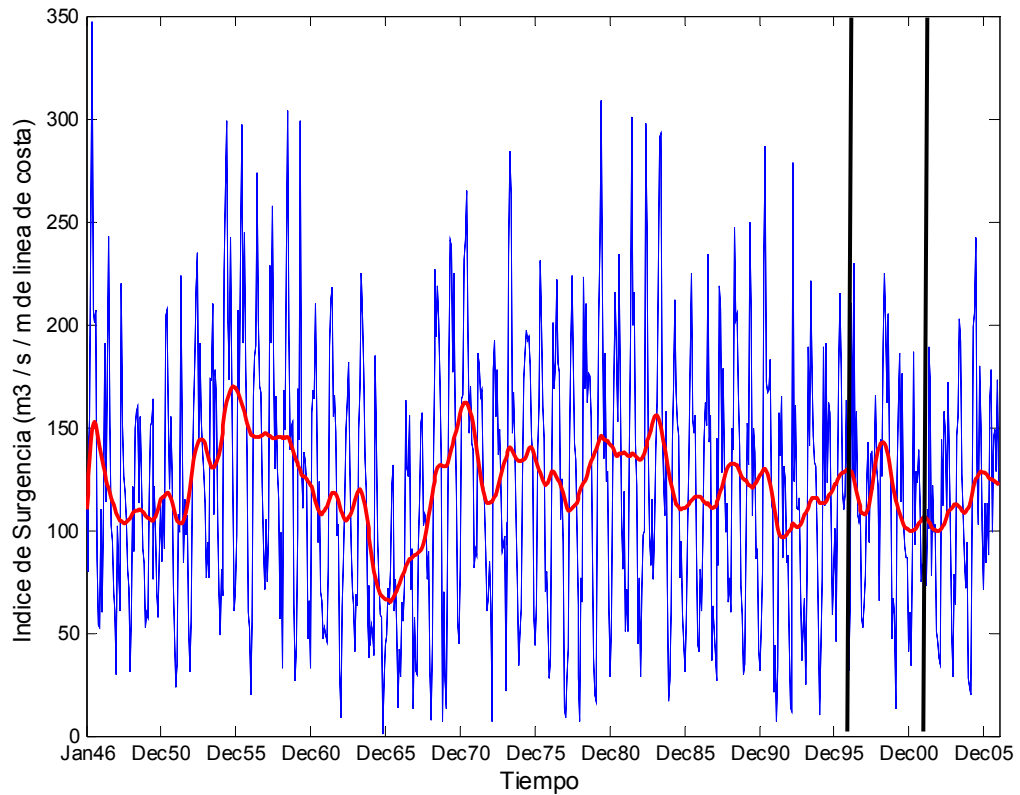


Figura 4. Serie de tiempo del índice de surgencia mensual a 30° N y 119° O, el promedio corrido anual (utilizando 12 puntos por año) se muestra con la línea roja y el periodo de estudio de este trabajo se encuentra entre las barras negras.

En la figura 5 se observan las anomalías del índice de surgencia, es decir, la desviación que tienen los datos con respecto a su promedio. Como era de esperarse se encontraron los datos más anómalos en 1955 ($50 \text{ m}^3 / \text{s} / 100 \text{ m}$ de línea de costa) y en 1965 ($-50 \text{ m}^3 / \text{s} / 100 \text{ m}$ de línea de costa).

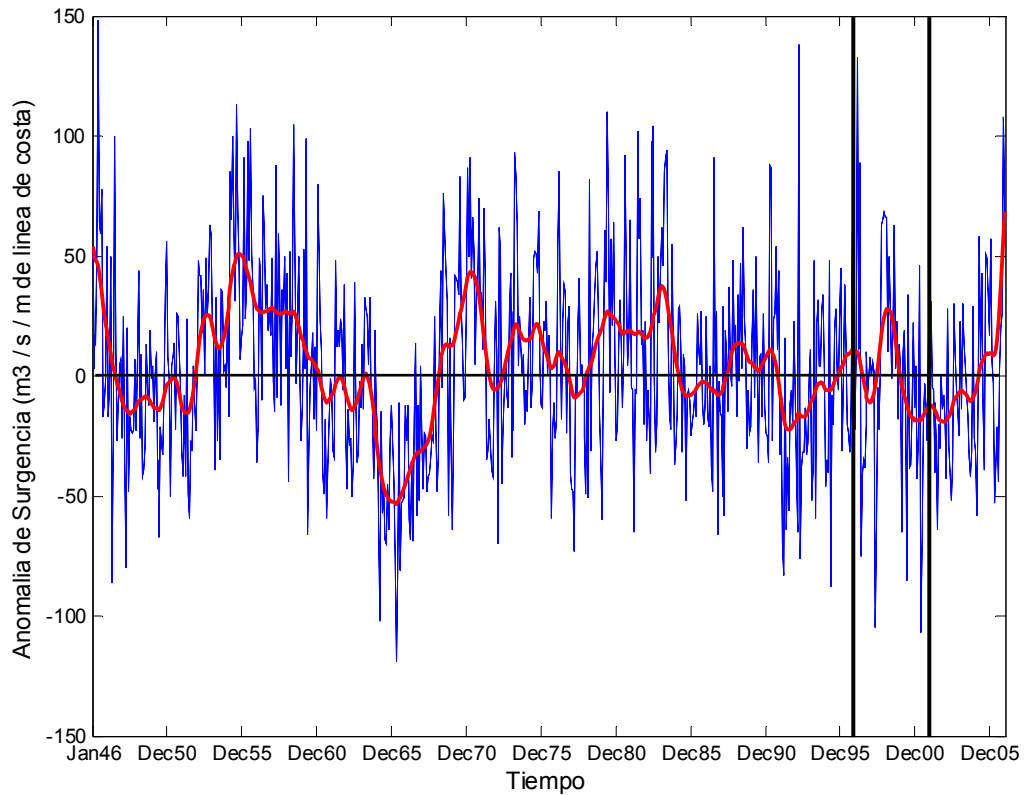


Figura 5. Serie de tiempo de la anomalía del índice de surgencia mensual a 30° N y 119° O, el promedio corrido anual (utilizando 12 puntos por año) se muestra con la línea roja y el periodo de estudio de este trabajo se encuentra entre las barras negras.

El periodo de estudio concerniente a este trabajo presentó valores del promedio corrido de los índices entre 100 y 140 m³ /s/100 m de línea de costa y una máxima anomalía de 25 m³ /s/100 m de línea de costa, por lo cual no se puede decir que sea un periodo con eventos de surgencia extremos.

Relación entre el tiempo de cultivo y el índice de surgencia

Como ya se mencionó anteriormente, en general, los seres vivos presentan una mayor tasa de crecimiento al comienzo de su vida, por lo tanto, necesitan consumir gran cantidad de alimento y de la mejor calidad posible. En el caso de los ostiones de Bahía San Quintín, esta mayor tasa de crecimiento ocurre durante los primeros seis meses de vida (figura 6), por lo tanto, las surgencias deben tener una mayor influencia sobre el crecimiento durante este periodo.

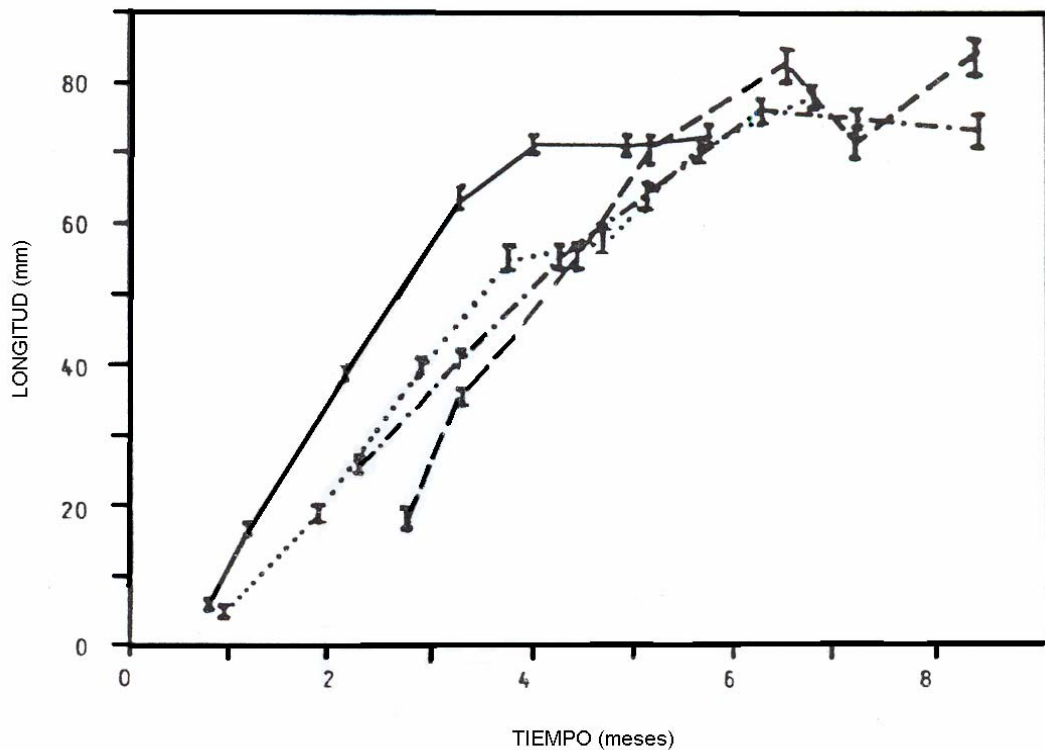


Figura 6. Crecimiento promedio instantáneo del ostión japonés cultivado con cuatro diferentes artes de cultivo en Bahía San Quintín en el periodo de mayo a diciembre de 1985 (tomado de Ramos-Amézquita, 1987).

Se estudió la relación entre el índice de surgencia acumulado de seis meses posterior a la fijación y el tiempo de cultivo de los ostiones (figura 7). Se encontró una relación en la que el tiempo de cultivo es mayor a niveles bajos del índice de surgencia y conforme el índice aumenta el tiempo de cultivo disminuye, hasta llegar a un mínimo en el intervalo del índice de surgencia aproximado de 800 a 850 m³/s/100 m de línea de costa, posteriormente el tiempo de cultivo parece aumentar o no se observa una tendencia clara. Sin embargo, la diferencia del tiempo de cultivo entre los índices de surgencia más bajos y los más altos es cercana a cuatro meses, de tal forma que los ostiones crecen más rápido, incluso, en presencia de surgencias intensas con bajas temperaturas que en presencia de surgencias de baja intensidad.

La aparente relación negativa al comienzo de la curva de la figura 7 (450 hasta 850 m³/s/100 m de línea de costa) fue analizada por separado, como una correlación lineal (figura 8). Se encontró una pendiente negativa de 0.012, con un corte en la ordenada a los 23.8 meses. La correlación resultó significativa con un 98% de confianza.

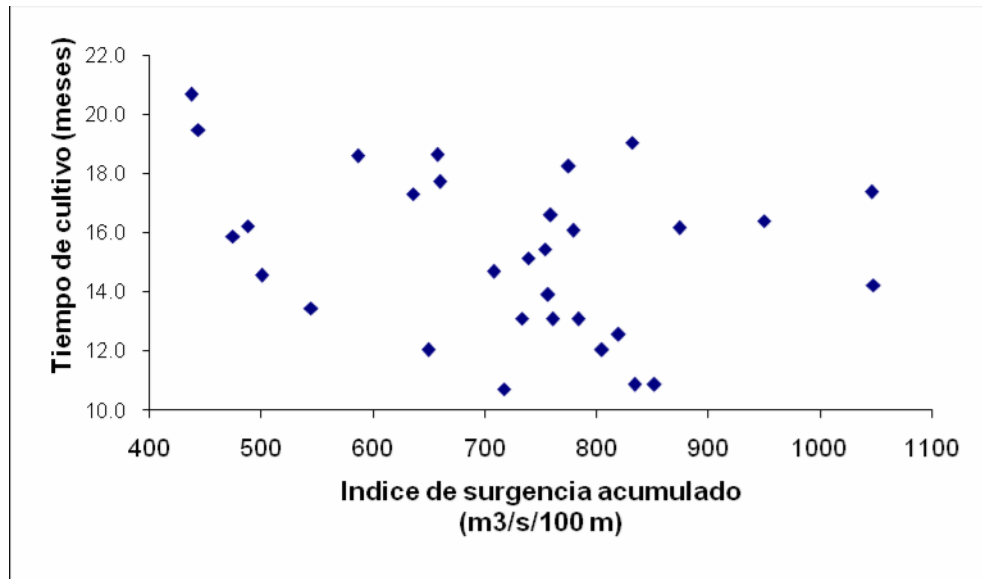


Figura 7. Relación entre el tiempo de cultivo y el índice de surgencia acumulado de seis meses.

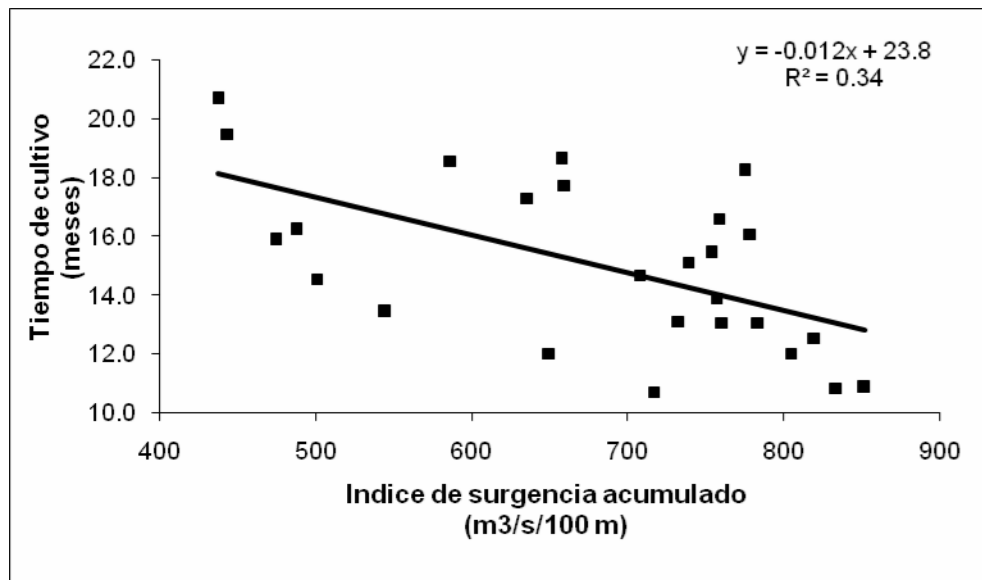


Figura 8. Relación entre el tiempo de cultivo y el índice de surgencia acumulado de seis meses hasta 850 m³/s/100 m de línea de costa.

Efecto de las surgencias en los costos de producción

De acuerdo con la serie de tiempo de 1946 a 2005 obtenida con información de la NOAA (figura 4), el índice de surgencia mensual en la estación mas cercana a Bahía San Quintín ha variado históricamente entre 0 y 300 m³/s/100 m de línea de costa. Con base en dicha serie se puede decir que cuando existen índices de 0 a 100 m³/s/100 m las surgencias son de baja intensidad, de 100 a 200 m³/s/100 m son surgencias de intensidad media y de 200 a 300 m³/s/100 m son surgencias de intensidad alta. En la figura 9 se muestran los valores del índice de surgencia mensual correspondientes al periodo de estudio (octubre de 1996 a febrero del 2002). Los valores se encuentran en un intervalo de 13 a 230 m³/s/100 m, sin embargo, sólo el 6% de los datos son mayores a 200 m³/s/100 m. Por lo tanto, las surgencias durante el periodo de estudio presentaron generalmente una intensidad entre media (56% del tiempo) y baja (38% del tiempo). De acuerdo con lo esperado para la región (Bakun y Nelson, 1977), los máximos anuales durante el periodo de estudio ocurrieron en primavera-verano y los mínimos en invierno.

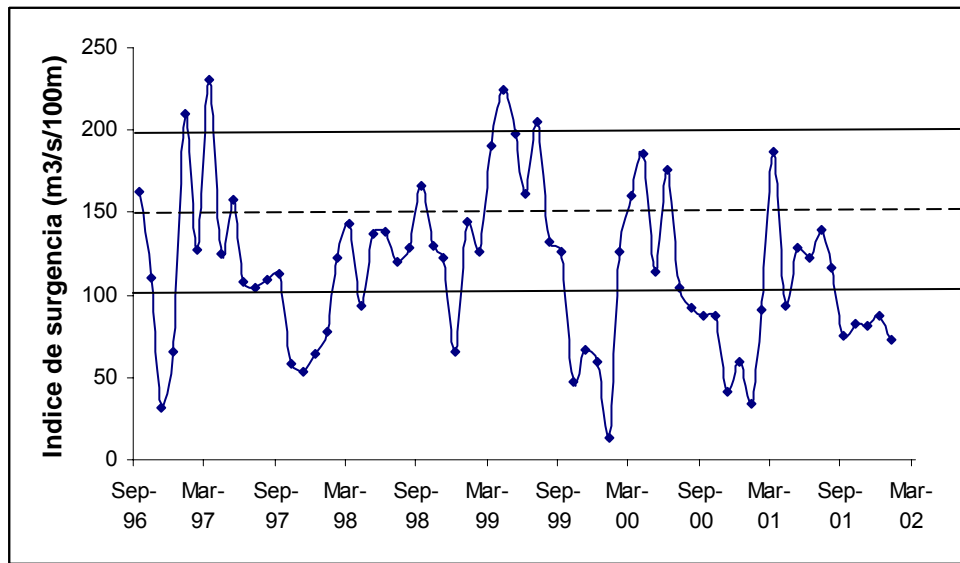


Figura 9. Serie del índice de surgencia mensual durante el periodo de estudio ($m^3/s/100 m$ de línea de costa). Las líneas dividen las diferentes intensidades de surgencia (baja, media-baja, media-alta y alta).

El menor tiempo de cultivo se encontró entre los 700 y los 850 $m^3/s/100 m$ de línea de costa (figura 7) para el índice de surgencias acumulado, valores que se derivaron de índices de surgencia mensuales que oscilaron entre 100 y 200 $m^3/s/100 m$ de línea de costa (índices con intensidad media), aunque la mayoría oscilaron entre 100 y 150 $m^3/s/100 m$ de línea de costa, lo que correspondería a índices de surgencias “media-baja”. Con base en lo anterior, se plantearon tres escenarios: (1) sin surgencia, (2) con surgencia de intensidad baja, y (3) con surgencia de intensidad media-baja (tabla IV), con la finalidad de calcular el ahorro en el tiempo de cultivo con relación al índice de surgencia acumulado mediante la ecuación de la recta de la figura 8 ($y=-0.012x+23.8$).

Tabla IV. Variación del tiempo de cultivo con relación al índice de surgencia mediante tres escenarios. El cambio en el tiempo de cultivo es con respecto al escenario sin surgencia.

	Sin Surgencia	Surgencia Baja	Surgencia Media-baja
Intensidad del índice de surgencia acumulado (m ³ /s/100m)	0	400-700	700-850
Tiempo de cultivo (meses)	23.8	19-15.4	15.4-13.6
Ahorro de tiempo de cultivo (meses)	0	4.8-8.4	8.4-10.2

El ahorro en el tiempo de cultivo de los escenarios 2 y 3 se estimó a partir del primer escenario, en el cual se muestra que sin presencia de surgencias (intensidad de la surgencia = 0) el periodo en cultivo de los ostiones sería de 23.8 meses. Lo anterior tiene sentido, ya que el tiempo de cultivo en zonas sin surgencia es mayor. Por ejemplo, *Crassostrea gigas* necesita aproximadamente 20 meses para crecer de 1 a 7 cm en cultivos de Bahía de la Paz (Arizpe, 1996) y ostiones de la costa de Portugal incrementan su talla de 2 a 8 cm en un periodo de 14 meses (Almeida *et al.*, 1997). Al aumentar la intensidad de la surgencia de 0 a 400-700 m³/s/100 m de línea de costa, el periodo en cultivo de los ostiones disminuye entre 5 y 8 meses, para surgencias con intensidad media-baja el tiempo disminuye entre 8 y 10 meses. De acuerdo con el cálculo del promedio anual del índice de surgencia (tabla V), la intensidad de la surgencia se mantuvo en media-baja durante los cuatro años de estudio, de tal

forma que el ahorro en meses de producción fue de 8 a 10 meses para cada año.

Tabla V. Intensidad de surgencia y número de meses de producción ahorrados correspondientes a cada año de estudio.

Año	Tiempo de cultivo promedio (meses)	Índice de surgencia mensual promedio (m³/s/100m)	Intensidad de la surgencia	Ahorro de tiempo de cultivo (meses)
1998	12.7	120	Media-baja	8-10
1999	14.4	141	Media-baja	8-10
2000	15.3	104	Media-baja	8-10
2001	18.9	101	Media-baja	8-10

De acuerdo con Vicente Guerrero (socio y encargado principal de la planta de Agromarinos S.A. de C.V.; comunicación personal), la inversión necesaria para cosechar un estante de ostiones es de 85 dólares por cosecha en promedio. Por lo tanto, al contar con la información de los meses ahorrados en el tiempo de cultivo debido a la presencia de las surgencias durante el periodo de estudio (tabla V), es posible calcular el valor de dicho ahorro. Se obtuvo el valor en dólares del tiempo de producción ahorrado a partir de los estantes cosechados por año (tabla VI). El ahorro en dólares es la cantidad que se le puede atribuir como valor económico del servicio proporcionado por las surgencias del periodo de estudio y varía, desde \$111,000 dólares en el 2001 hasta \$207,000 dólares en 1999, de acuerdo a la cantidad de estantes cosechados (figura 10).

Tabla VI. Número de estantes cosechados, inversión anual, inversión mensual y ahorro en dólares para cada uno de los años de estudio.

Año	Estantes cosechados	Inversión anual (85 dls/estante)	Inversión mensual (dls)	Ahorro (dls / año)
1998	2572	218,620	18,218	153,000 – 186,000
1999	2868	243,780	20,315	171,000 – 207,000
2000	2434	206,890	17,241	145,000 – 176,000
2001	1860	158,100	13,175	111,000 – 134,000

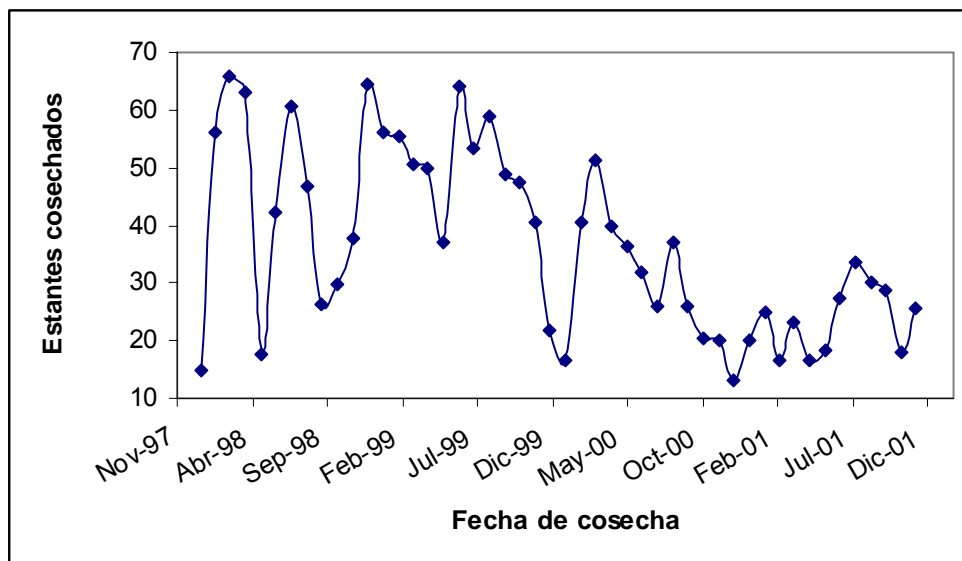


Figura 10. Cantidad de estantes cosechados desde enero de 1998 hasta diciembre del 2001.

La cantidad de ostiones cosechados en 1998 y 1999 fue mayor que la del 2000 y 2001 (figura 10).

Discusiones

Procesos que afectan la producción del ostión *Crassostrea gigas*.

Tasa de crecimiento

En general, el crecimiento de los ostiones se podría definir como la diferencia entre las entradas de energía (asimilación) menos las salidas (respiración) (Bougrier *et al.*, 1995). La tasa de crecimiento varía de acuerdo con diferentes factores y la interacción entre ellos es compleja (figura 11). La mayoría de los autores coinciden en que las principales variables son la temperatura, la salinidad y la disponibilidad de alimento. Sin embargo, también se han incluido otras variables a los modelos de crecimiento, como la velocidad de la corriente (Wilson, 1987), la saturación de oxígeno disuelto (Kobayashi *et al.*, 1997), la cantidad de sólidos suspendidos (Hynt *et al.*, 2001) y la longitud o masa individual (Gangnery *et al.*, 2003). La importancia de cada uno de los factores depende a su vez de las características de la zona de cultivo. Por ejemplo, Gangnery y colaboradores (2003) no pudieron atribuir la variación estacional del crecimiento de los ostiones de la Laguna Thau, laguna costera ubicada en la costa mediterránea de Francia, a la variación de la concentración de alimento. Sin embargo, las variaciones anuales en temperatura si coincidieron con las variaciones de crecimiento. Los ostiones sembrados en primavera fueron más

grandes que los que se sembraron en otoño, a pesar de que ambos grupos crecieron durante un tiempo similar.

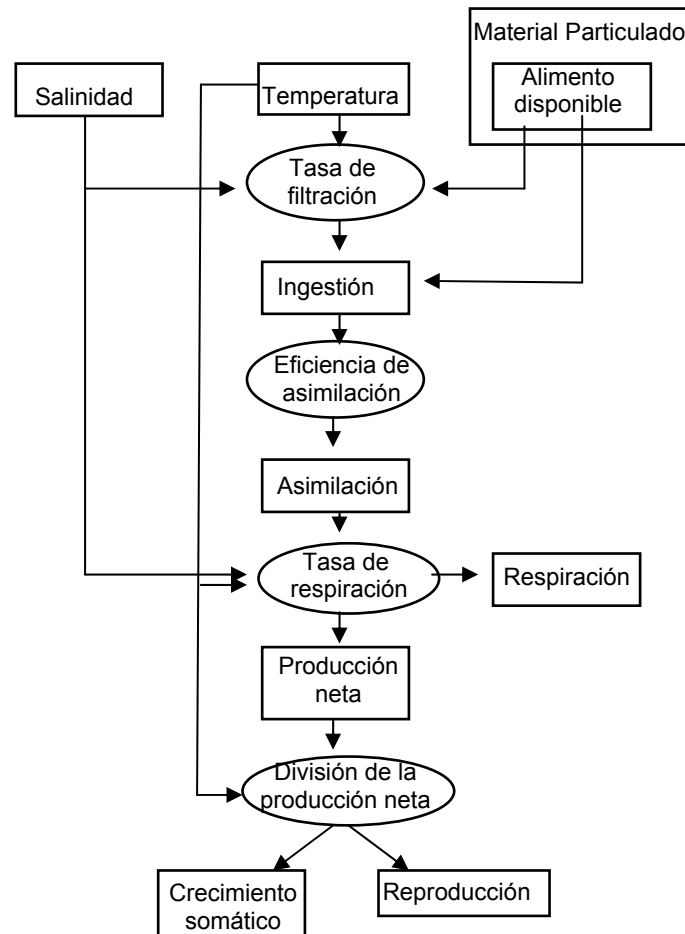


Figura 11. Esquema de los principales factores que influyen en el crecimiento de los ostiones (modificado de Kobayashi *et al.*, 1997)

Los mismos autores mencionan que las tasas de crecimiento registradas en la laguna Thau son las más altas en el mundo, considerando que las concentraciones del alimento disponible son muy bajas ($0.4-3.3 \mu\text{g l}^{-1}$ clorofila a y $0.5-5 \text{ mg l}^{-1}$ material particulado total). En Bahía San Quintín, la disponibilidad

de alimento adquiere mayor importancia, ya que los intervalos de temperatura y de salinidad son adecuados para el crecimiento de *C. gigas*, sin embargo, el óptimo de temperatura es 20°C (García-Pámanes y García-Pámanes, 2000). Álvarez-Borrego y Álvarez-Borrego (1982) registraron intervalos de temperatura de 11-22°C y de 13-27°C en la boca de la bahía y en la cabeza del brazo interno conocido como Bahía San Quintín, respectivamente.

Tasas de filtración, ingestión y expulsión

Las branquias de los ostiones facilitan el bombeo de agua de mar, reteniendo partículas de unas pocas micras de diámetro. Las partículas son ingeridas o expulsadas como pseudoheces. La tasa de ingestión óptima para *C. gigas* encontrada por Bougrier y colaboradores (1995) con ostiones de la bahía de Marennes-Oleron en las costas del Atlántico de Francia ocurrió a los 19°C, mientras que la eficiencia de ingestión depende de la concentración del total de la materia particulada. Debajo de 10 g/m³ (peso seco) todas las partículas son ingeridas con una eficiencia de ingestión igual a 1 (Bacher *et al.*, 1995). La calidad del material filtrado es de suma importancia para el crecimiento de los ostiones. De acuerdo con la tasa de filtración encontrada por García Esquivel y colaboradores (2004) para Bahía San Quintín (23 mg MOP org⁻¹ hr⁻¹ equivalentes a 250 l día⁻¹), los ostiones filtran el total del volumen de agua de Bahía Falsa en 2.8 días. Dicho valor es cercano al calculado para la Bahía de Marennes-Oléron en Francia (3 días) (Zurbug, 1994); sin embargo, esta bahía

es la principal área de cultivo de *Crassostrea gigas* en Europa, producen cerca de 30,000 tons año⁻¹ (Bacher *et al.*, 1998). Lo anterior sugiere que los ostiones en Bahía San Quintín son sumamente activos.

De acuerdo con las ecuaciones de Hawkins *et al.* (1996) y de Bayne *et al.* (1999), las tasas de filtración e ingestión orgánica neta varían con respecto a las concentraciones de materia total particulada, inorgánica y orgánica en las heces, pseudoheces y seston. García Esquivel y colaboradores (2004) encontraron que, a pesar de que las concentraciones medias de materia orgánica particulada en Bahía San Quintín variaron entre 0.7 y 2.5 mg L⁻¹ durante sus temporadas de muestreo (julio/1999, octubre/1999, enero/2000 y mayo/2000) y que los porcentajes de materia orgánica particulada con respecto al seston total variaron de 26% en octubre a 18% en enero, los ostiones regularon sus tasas de filtración y mantuvieron la tasa de ingestión neta relativamente constante con un promedio general de 3.2 mg materia orgánica particulada ostión⁻¹ h⁻¹. Lo anterior podría indicar que los ostiones obtienen del medio la cantidad de materia orgánica particulada que necesitan, aún en las temporadas en las que las concentraciones son mas bajas (octubre, según su estudio). Por lo tanto, podría ser que los ostiones en Bahía San Quintín no necesiten mayor cantidad de alimento y no se vean beneficiados con el aumento de la materia orgánica en presencia de las surgencias. Sin embargo, el beneficio puede deberse a que cuando ocurren surgencias las especies

fitoplanctónicas varían y podrían ser de mayor calidad alimenticia para los ostiones.

Disponibilidad de alimento

Los ostiones remueven de suspensión partículas orgánicas e inorgánicas mayores a 3-5 μm (Jorgensen, 1966; Haven y Morales-Alamo, 1970; Mohlenberg y Riisgard, 1978; Winter, 1978) y menores a 100-200 μm (Jorgensen, 1975; Bayne *et al.*, 1976). Las partículas de minerales inorgánicos suspendidos diluyen el material orgánico en el seston, por lo tanto reducen la concentración efectiva para los bivalvos. El material que no es nutritivo es expulsado como pseudoheces.

En Bahía San Quintín, la tendencia de la cantidad de materia particulada total es a aumentar hacia el invierno, las concentraciones varían desde 3 mg l^{-1} en junio a 10 mg l^{-1} en febrero (García-Esquivel *et al.*, 2000). Sin embargo, las concentraciones de materia orgánica particulada se mantienen relativamente constante constantes (1.2-2.3 mg l^{-1}). Esto sugiere que la alta concentración de materia orgánica total en otoño-invierno resulta, por dilución, en baja calidad alimenticia. Los autores no encontraron diferencias claras en materia orgánica total o materia orgánica particulada entre la cabeza y la boca de Bahía San Quintín, probablemente por el tamaño pequeño ($< 30 \mu\text{m}$) de las partículas analizadas en su trabajo. Por lo tanto, su estudio sugiere que las diferencias en

las tasas de crecimiento entre la boca y la cabeza de la bahía no se deben a la disponibilidad de alimento. También encontraron un decremento en el contenido de glicógeno en otoño-invierno en los tejidos de ostión, aparentemente debido a la combinación de baja temperatura del agua y baja disponibilidad de alimento durante este periodo. Mencionan que el bajo contenido de glicógeno y la baja tasa de crecimiento en la cabeza de la bahía pueden resultar de periodos intermitentes de alimentación debido a la exposición al aire que sufren principalmente en mareas bajas. A lo largo del año, los ostiones localizados en la cabeza experimentan tiempos de exposición al aire más largos que en la boca (aproximadamente 23-26% más). Típicamente, *C. gigas* muestra mayor capacidad digestiva al incrementar el tiempo de exposición al aire, pero también alcanza tamaños menores que aquellas que están continuamente sumergidas (Moal *et al.*, 1989). Además, no existe evidencia de mecanismos compensadores para incrementar las tasas de alimentación o la eficiencia de absorción al incrementar la exposición al aire en bivalvos marinos (Shick *et al.*, 1988). En ausencia de agua, los ostiones tienden a cerrar sus valvas, no son capaces de capturar partículas alimenticias y sólo dependen de la utilización anaeróbica del glucógeno endógeno, aminoácidos libres y proteínas para satisfacer sus necesidades energéticas. Esto se puede traducir en baja energía disponible para el crecimiento y baja capacidad de almacenar glucógeno. Típicamente los bivalvos bajan su metabolismo entre un 2% y un 9% cuando están expuestos al aire (Shick *et al.*, 1988).

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 e ingestión de los organismos (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, 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).

En la laguna Pipe Clay en Tasmania hay cultivos de ostiones sobre tierra y para alimentarlos bombean agua desde el mar. Brown y Mc Causland (2000) estudiaron todos los factores que pueden afectar el crecimiento de los ostiones en el sitio y llegaron a la conclusión de que la disponibilidad de alimento era el más importante. Por lo tanto, decidieron hacer pruebas de agregar alimento externo a los cultivos y comprobar su efectividad en la tasa de crecimiento. Al agregar algas cultivadas como: *Isochrysis sp.*, *Dunaliella tertiolecta*, *Chaetoceros calcitrans*, *Rhodomonas salina* y pastas preparadas con *C. calcitrans* y *Skeletonema costatum* se mejoró la tasa de crecimiento entre 60% y 100% cuando los ostiones se alimentaron con cantidades que incrementaban la concentración de fitoplancton entre 150% y 225%.

Hidrodinámica

La hidrodinámica es intensa en bahías y estuarios donde el tiempo de residencia del material particulado o disuelto es reducido por transporte físico (Officer *et al.*, 1982; Hily, 1991). En Bahía San Quintín, la influencia de las mareas se ve reflejada en el volumen total de intercambio entre Bahía Falsa y el océano. García Esquivel y colaboradores (2004) calcularon un valor promedio del prisma de mareas en Bahía Falsa (área igual a $7.5 \times 10^6 \text{ m}^2$ y profundidad promedio 2.1m) de $9.35 \times 10^6 \text{ m}^3$ para el ciclo quincenal, mientras que los valores estimados para el periodo de mareas vivas y muertas fueron de $15.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ y $4.9 \times 10^6 \text{ m}^3$, respectivamente. Esto implicaría que durante mareas vivas el volumen de Bahía Falsa se intercambiaría por agua oceánica casi por completo durante un ciclo mareal. Sin embargo, según Camacho-Ibar y colaboradores (2003), el tiempo de residencia en Bahía Falsa estimado a partir de balances de sal varía entre cuatro y seis días. La información anterior indica que el intercambio de agua entre el océano y la bahía es alto, y por lo tanto el abasto de material particulado desde el océano debe tener jugar un papel importante en el éxito de los cultivos.

El estuario Richibucto, ubicado en la costa este de Canadá, está constituido por un canal angosto y profundo (8-14 m de profundidad) y por varios canales someros (2-3 m de profundidad). En él, los procesos hidrodinámicos controlan

el intercambio de agua. El fitoplancton que se produce localmente no podría mantener la biomasa actual de ostiones. Por lo tanto, el transporte físico es la fuente principal de alimento para los ostiones. Es decir, en este sitio los ostiones tienen una menor influencia en la dinámica del fitoplancton en comparación con la hidrodinámica. (Guyondet *et al.*, 2005)

Balance de energía

Los estudios sobre la dinámica del ecosistema de los bivalvos requieren la comprensión de la estructura trófica del área productiva, los stocks de los moluscos naturales y cultivados, así como su impacto en el potencial nutricional del sistema. El modelado de esta dinámica requiere considerar tanto procesos físicos como biológicos. Los modelos biológicos están frecuentemente basados en la energía de los animales y relacionados con las fluctuaciones de las condiciones bióticas y abióticas de la columna de agua. Por lo tanto, es esencial comprender la forma en la que adquieren el alimento (tasa de clareamiento) y las pérdidas metabólicas (tasa de consumo de oxígeno). Estos índices de adquisición y pérdida de energía definirán las mínimas necesidades para el crecimiento, y por lo tanto son críticas para escoger áreas de cultivo potenciales (Bougrier *et al.*, 1995).

Una revisión de la literatura disponible sobre el consumo de oxígeno por los ostiones (Shumway *et al.*, 1982) revela que: (1) la respiración en ostiones es

una función compleja afectada por muchos factores endógenos y exógenos; (2) con respecto a su fisiología respiratoria, los ostiones están alta y constantemente adaptados a la vida en ambientes fluctuantes. Algunos estudios han mostrado que la talla y la temperatura son dos de los factores más importantes para determinar el balance de energía (Bougrier *et al.*, 1995).

Los moluscos bivalvos de tamaños pequeños filtran y consumen más oxígeno en proporción con los animales de tallas grandes. Esto puede ser explicado por: (1) la relación superficie/masa; (2) la diferencia en las tasas de crecimiento durante la vida del animal. De hecho, los ostiones *Crassostrea gigas* de Marennes-Oleron en el primer año necesitan energía solamente para el crecimiento somático. Después el metabolismo es direccionado a la maduración de los gametos y al desove (Bougrier *et al.*, 1995).

Según Bougrier y colaboradores (1995), la tasa de clareamiento aumenta al incrementar la temperatura hasta un máximo de 19°C, después de esto la tasa de clareamiento disminuye. Por otro lado, el consumo de oxígeno se incrementa por lo menos hasta los 32°C. Se han descrito en la literatura dos tipos de respuesta a los cambios en la temperatura: 1) un incremento gradual en la tasa de clareamiento y en el consumo de oxígeno al incrementar la temperatura, y 2) un incremento de estas funciones hasta un óptimo de temperatura. El régimen de temperaturas en Bahía San Quintín parece ser adecuado para el crecimiento de los ostiones durante todo el año, excepto en invierno donde las bajas

temperaturas (cerca a 13°C) inducen una reducción en las tasas fisiológicas de consumo de oxígeno y en la tasa de clareamiento (Garcia-Esquivel *et al.*, 2000). En presencia de surgencias intensas la temperatura también disminuye hasta los 13°C y reduce las tasa fisiológicas, sin embargo, esto ocurre durante periodos más cortos (del orden de días) que en invierno y las consecuencias son menos drásticas.

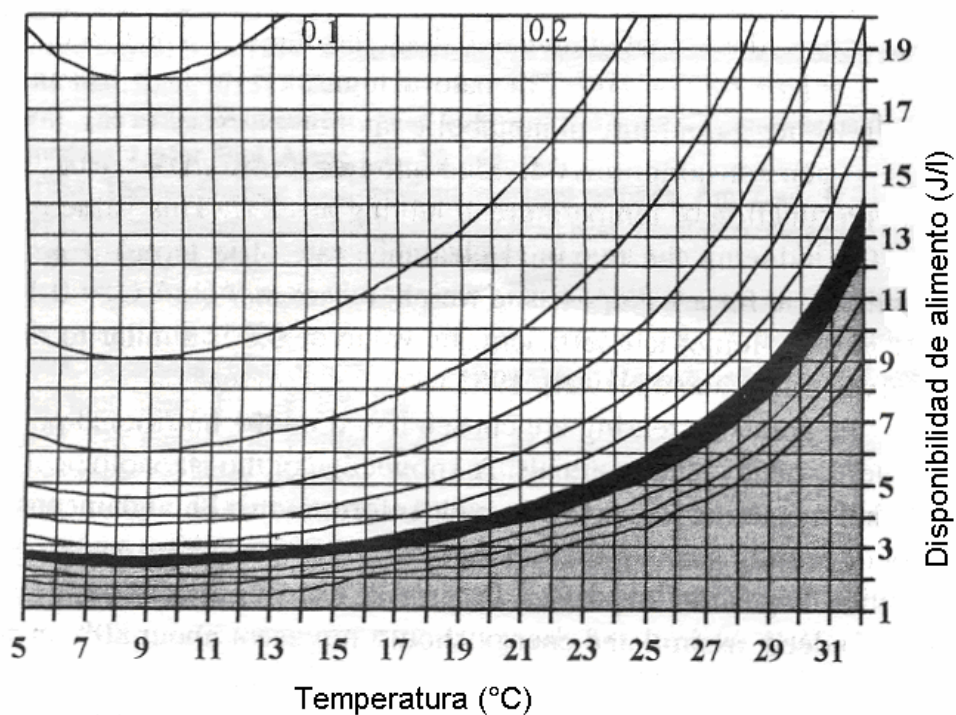


Figura 12. Relación del efecto de la temperatura y de la disponibilidad de alimento en la supervivencia de los ostiones, las líneas curvas representan el cociente del consumo de O_2 / ingestión (tomado de Bougrier *et al.*, 1995).

Del total de energía ingerida sólo cerca del 80% es asimilada (Thompson y Bayne, 1974). Lo anterior significa que para la producción, en la que el

catabolismo (perdida de energía = respiración = consumo de oxígeno) y el anabolismo (asimilación = $0.8 * \text{ingestión}$) son iguales, el cociente, en términos de energía, consumo de oxígeno / ingestión (VO_2 / I) debería ser 0.8. La figura 12 muestra que los animales crecerán (área blanca, $VO_2/I < 0.7$), sobrevivirán (área negra, $0.8 < VO_2/I > 0.7$) o morirán (área gris, $VO_2/I > 0.8$) dependiendo del efecto combinado de la temperatura y la disponibilidad de alimento (Bougrier *et al.*, 1995).

Diferencias sitio-específicas

En la cabecera de Bahía Falsa se han obtenido valores consistentemente bajos para las constantes alométricas y lineales, los cuales coinciden con los bajos índices de condición reportados previamente para los ostiones cultivados en la cabecera (García-Esquivel *et al.*, 2004). Lo anterior indica que los ostiones de la boca de Bahía Falsa no sólo crecen más rápido, sino que contienen más tejido (carne) que los ostiones de talla similar cultivados en la cabecera de Bahía Falsa.

Wilson (1987) encontró diferencias sitio-específicas y menciona que, a pesar de que existen diferencias en las concentraciones de alimento, las diferencias sitio-específicas también pueden ser atribuidas a los cambios en la magnitud de las mareas, las cuales renuevan el agua que ya fue filtrada por los organismos. Las altas tasas de intercambio de agua a velocidades de corriente altas generan

mayor disponibilidad de alimento porque renuevan el agua filtrada y transportan el alimento (Wilson, 1987).

Arte de cultivo

El arte de cultivo también es una variable que puede afectar la tasa de crecimiento. En la Laguna Thau, las relaciones longitud-masa variaron entre los dos métodos de cultivo utilizados. Los cultivos “collees”, en los cuales los ostiones están pegados con cemento en cuerdas, en grupos de tres individuos, tienen una mayor relación longitud-masa específica que los cultivos “pignes”, los cuales se obtienen de ostiones individuales acomodados naturalmente en conchas de ostiones vacías usadas como colectores. Esto puede ser debido a la alta densidad (100-150 individuos por metro de cuerda al momento de sembrarlos) y al aglutinamiento de los cultivos “pignes”. En contraste, los “collees” están distribuidos regularmente a lo largo de las cuerdas y son sembrados a bajas densidades (34 individuos por metro de cuerda al momento de la siembra).

García-Esquivel y colaboradores (2004) encontraron una gran variabilidad de las tallas de los ostiones de Bahía San Quintín al momento de la cosecha, doce meses después de la fijación las sartas comerciales de la boca contenían el 67% de los organismos con tallas mayores o iguales a 9 cm, mientras que solo el 21% de los ostiones cultivados en la cabecera alcanzaron esas tallas durante

el mismo periodo. Esto, según comentan los autores, podría ser una consecuencia natural del método de cultivo (sartas suspendidas). Dicho método requiere de un mínimo mantenimiento a lo largo del periodo de engorda. Sin embargo, a pesar de esa ventaja, el cultivo comercial de ostión en Bahía Falsa presenta varias desventajas técnicas que podrían incidir en el rendimiento y en los costos de producción, como por ejemplo: (1) control deficiente de densidad al momento de fijar la larva, 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 (aproximadamente 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 80's sugirió que el estante era el arte de cultivo más rentable para Bahía Falsa, seguido de las canastas y las 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.

Mortalidad

En un sistema dominado por bivalvos, estos organismos consumen grandes cantidades de productores primarios y acoplan el ambiente bentónico con la columna de agua. Por lo tanto, el papel de los bivalvos en mover energía y

materiales a través y dentro de los ecosistemas es prominente (Dame, 1996). Investigaciones empíricas en diferentes sistemas han mostrado que la filtración puede ser intensa y que puede generar situaciones de sobreuso del sistema (grandes cantidades de bivalvos), competencia por alimento y debilidad de los animales provocando que la dispersión de virus y bacterias sea más fácil. Entre 1960 y 1969, en la bahía de Marennes-Oléron ubicada en las costas del Atlántico de Francia, el crecimiento y la producción de bivalvos decayeron rápidamente debido a la sobreexplotación y en una epidemia de iridovirus que acabó con la población. La población actual de *Crassostrea gigas* fue introducida a la bahía, pero la sobrepoblación ocurrió nuevamente (Bacher *et al.*, 1998).

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los productores de ostión en Bahía San Quintín es la mortalidad, que en ocasiones ha sido mayor al 90% de la producción. Existen reportes que muestran mortalidades masivas principalmente en marzo y abril de 1998, sin embargo, algunos mencionan que las mortalidades continuaron hasta 1999 y otros que comenzaron en 1997 (De la Torre, 2000). En 1999, García-Esquivel y colaboradores hicieron un estudio posterior a dicho periodo de mortalidad. Uno de los posibles factores causales que ellos estudiaron fue el fenómeno de El Niño, para lo que analizaron registros de temperatura, los cuales demostraron que en abril de 1998 (época de mayor mortalidad), el fenómeno de El Niño se encontraba en fase de relajación y casi inexistente. Además, el ostión *Crassostrea gigas* tiene la

capacidad de soportar altas temperaturas por lo que parece que el fenómeno de El Niño no puede ser la causa de la mortalidad. Otro factor que tomaron en consideración fue la introducción masiva de especies no nativas (almejas) en 1998, ya que en otras partes del país también se reportaron mortalidades inusuales de *Crassostrea gigas* y fueron lugares en donde también hubo introducción de especies no nativas como ostión Kumamoto, ostión Europeo y ostión del Atlántico. Otra posible explicación es la alteración de la sucesión fitoplanctónica durante el evento de El Niño. Torres-Moye y Alvarez-Borrego (1985) mencionan que durante el evento de El Niño en 1983 se incrementó la proporción de nanopláncton, y disminuyó la cantidad de diatomeas y dinoflagelados, así como de nutrientes y clorofilas. Cáceres Martínez *et al.* (1998) estudiaron la infestación de *Polydora sp.* y la salud de los ostiones en Bahía San Quintín, encontrando que la mortalidad no se relacionó con la presencia de *Polydora sp.*, sino con la profundidad en el cultivo. El detritus generado por los ostiones produce un fondo fangoso con altos niveles de degradación orgánica. Estas condiciones pueden perjudicar el crecimiento y la sobrevivencia de los ostiones.

Hasta ahora se han sugerido varios factores como posibles responsables de la mortalidad a partir de 1998, incluyendo: (a) carga de patógenos nocivos asociados a la especie inducida *Chione sp.* (García-Esquivel *et al.*, 1999); (b) heterocigocidad reducida del ostión cultivado, que en consecuencia generaría una baja capacidad para amortiguar los cambios ambientales de temperatura

(Correa *et al.*, 2004); (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.* Sin embargo, hasta la fecha no se ha demostrado ninguna de estas hipótesis. También se reportaron mortalidades inusuales de juveniles-adultos de *Crassostrea gigas* durante 1998-2000 en Sonora y en la Bahía de Tomales (California), lo que podría sugerir que fue un fenómeno de una escala mayor a Bahía San Quintín.

Relación entre las surgencias costeras y la producción de ostiones en Bahía San Quintín

En esta investigación se decidió usar el tiempo de cultivo, es decir, el tiempo en que los ostiones se encuentran en el agua hasta antes de ser cosechados y se supone que los ostiones son cosechados cuando alcanzan la talla comercial (9 cm). El tiempo de cultivo fue la variable que define la producción de ostiones, por dos razones. Primero, porque la tasa de crecimiento depende, entre otros factores, de la disponibilidad de alimento (Wilson, 1987; Kobayashi *et al.*, 1997; Hynt *et al.*, 2001). Así que al haber mayores concentraciones de materia orgánica particulada en el medio debido a los florecimientos fitoplactónicos generados por las altas concentraciones de nutrientes disueltos en el agua de las surgencias, los ostiones tendrían mayor disponibilidad de alimento y crecerían más rápido. Y segundo, porque después de realizar una intensa búsqueda de información entre las diferentes empresas ostrícolas de la zona, el

tiempo de cultivo fue la variable más continua y confiable que se encontró. En general, el máximo tiempo de cultivo se relacionó con las fijaciones realizadas en las estaciones de otoño e invierno, ya que la baja temperatura del agua disminuye el metabolismo y la disponibilidad de alimento es menor. En contraste, los mínimos tiempos de cultivo se relacionaron con las fijaciones realizadas en primavera y verano que, además de que la temperatura del agua es más cálida, es la temporada de surgencias y hay mayor cantidad de alimento (figura 3).

El índice de surgencia se obtuvo de la base de datos de la NOAA (www.pfeg.noaa.gov) en la latitud 30° norte y longitud 119° oeste, dicha información es la más cercana y disponible a Bahía San Quintín, sin embargo, puede ser que existan diferencias entre las condiciones oceánicas y atmosféricas de la estación de la NOAA y de Bahía San Quintín. Por ejemplo, las surgencias del 2005 fueron particularmente bajas en las costas de California (LaDochy *et al.*, 2006; Schwing *et al.*, 2006; Mackas *et al.*, 2006), mientras que para Bahía San Quintín no lo fueron (Camacho-Ibar, comunicación personal). Por lo tanto, sería recomendable hacer un cálculo del índice de surgencia para zona más cercana a la bahía.

En cuanto a la relación entre el índice de surgencia y el tiempo de cultivo de los ostiones (figura 7), se determinó que, en los primeros seis meses del crecimiento de los ostiones, la disponibilidad de alimento juega un papel

importante, ya que corresponde a la fase de crecimiento rápido en la que necesitan consumir una mayor cantidad de alimento. Se encontró una relación lineal ($r^2=0.34$; figura 8), con pendiente negativa a intensidades de surgencia acumulada bajas (400 a 800 $m^3/s/100$ m de línea de costa), lo cual muestra una influencia positiva del índice de surgencia sobre la reducción del tiempo de cultivo; el óptimo de crecimiento se encuentra relacionado con el índice de surgencia acumulado aproximado de 850 $m^3/s/100$ m de línea de costa; sin embargo, se desconoce la temperatura y la concentración de alimento a la que corresponde dicho valor. A intensidades de surgencia mayores que 850 $m^3/s/100$ m de línea de costa se presenta una aparente disminución en el beneficio de las surgencias. Lo anterior puede deberse a que las surgencias, además de ser ricas en nutrientes y favorecer la productividad, también se caracterizan por tener bajas temperaturas (aproximadamente entre 12 y 16°C). Según Vázquez y Arriaga (1998, citado en García-Pámanes y García-Pámanes, 2000), los ostiones tienen un adecuado desarrollo a temperaturas entre 10 y 30°C; sin embargo, de acuerdo con la experiencia de algunos acuicultores de Baja California, el óptimo desarrollo se alcanza con temperaturas entre 20 y 25°C (García-Pámanes y García-Pámanes, 2000). Por lo tanto, es posible que las bajas temperaturas tengan un efecto negativo en la producción de ostiones.

La hipótesis de este trabajo es que el tiempo de cultivo de los ostiones disminuye conforme aumenta la intensidad de la surgencia, por lo tanto, se puede decir que la hipótesis es verdadera. Al analizar la figura 8, se encontró

que la razón de cambio del tiempo de cultivo en función de la intensidad de la surgencia es de un mes menos por cada 100 unidades del índice de surgencia acumulado.

Valor económico de las surgencias costeras para la industria ostrícola en Bahía San Quintín

Durante los cuatro años de estudio (1998, 1999, 2000 y 2001) las intensidades de surgencia promedio fueron de categoría media-baja (100-150 m³/s/100 m de línea de costa), lo cual equivalió a un ahorro en el tiempo de cultivo entre 8 y 10 meses con respecto a un escenario sin surgencias.

El tiempo en cultivo mostró una tendencia a aumentar desde 1998 al 2001, lo cual puede deberse a dos tipos de factores: ambiental y económico. El factor ambiental se refiere a la posible influencia térmica de los fenómenos de El Niño (1997-98) y La Niña (1999-00). Durante la temporada de El Niño el arribo de aguas más cálidas incrementa la profundidad de la termoclina, provocando que el agua fría y rica en nutrientes sea desplazada hacia mayores profundidades. Esto implica que aún en presencia de surgencias, las aguas frente a Bahía San Quintín durante eventos El Niño sean relativamente cálidas y con bajas concentraciones de nutrientes. A pesar de que la concentración de clorofilas es menor durante los eventos de El Niño, probablemente la alta temperatura provoque un aumento en la tasa metabólica y por lo tanto un crecimiento más

rápido de los ostiones. Por el contrario, en la temporada de La Niña la temperatura del agua baja y posiblemente reduce la tasa metabólica de los ostiones, inhibiendo el crecimiento.

Por otro lado, el factor económico pudo influir en el segundo semestre del 2001, debido a la disminución en la demanda de ostiones al momento en que la FDA negó el permiso para la exportación a EU en junio del 2001. Al no haber compradores suficientes para toda la producción, probablemente no cosecharon aunque los ostiones ya tuvieran la talla comercial.

Según Vicente Guerrero (socio de Agromarinos) la inversión promedio necesaria para cultivar un estante de ostiones es de 85 dólares, lo cual incluye principalmente: sueldos, compra de las larvas, material para reparar los estantes y combustible. Sin embargo, si la producción por estante fue tan buena que su peso destruyó el estante y se tiene que reemplazar por uno nuevo, la inversión es de 100 dólares. En este estudio mantuvimos el costo por estante constante a 85 dólares, sin embargo podría estar sobrevalorado, ya que dentro de los costos de inversión existen dos tipos de costos, los fijos y los variables. La compra de las larvas y la estructura donde los ostiones crecen corresponderían a los costos fijos. Mientras que los costos variables son los sueldos, gasolina, equipo de trabajo (como lanchas o carros), etc. Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, no se cuenta con información de costos

mas detallada. En general, el ahorro estimado para la temporada de estudio varió entre 100,000 y 200,000 dólares por año (tabla VI).

De acuerdo con la información obtenida de los ostricultores, un estante produce un promedio de 54 docenas de ostiones y si cada docena pesa 2 kilos, la producción generada por un estante es de 0.108 toneladas. De esta forma se calcula que en 1998, 1999, 2000 y 2001 se produjeron por la empresa Agromarinos 278, 310, 263 y 200 toneladas respectivamente. Por lo tanto, se puede decir que por cada tonelada de ostión producido, el ahorro debido a la disminución del tiempo en cultivo por la influencia de las surgencias es entre 550 y 670 dólares. De acuerdo con el Anuario Estadístico de Pesca (2003), la producción de ostión anual en el estado de Baja California varió entre 53 toneladas en 1994 y 1230 toneladas en 1997 (figura 13). Las principales zonas de producción ostrícola en Baja California se encuentran en Bahía San Quintín, Bahía Todos Santos y Laguna Manuela, todas ellas están influenciadas por los eventos de surgencia en mayor o menor medida. Por lo tanto, si extrapolamos la información obtenida en este trabajo al estado de Baja California (figura 14) utilizando el valor de 550 dólares por tonelada, la cantidad ahorrada por la disminución de los tiempos de cultivo de los ostiones en este estado fue cercana a 4,000,000 de dólares sólo en la década de los 90.

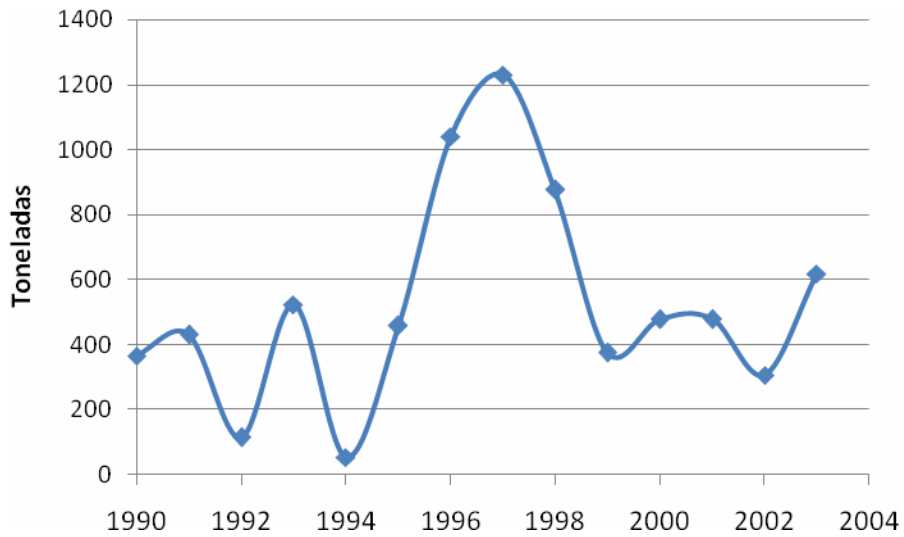


Figura 13. Producción anual de ostión en Baja California, tomada del Anuario Estadístico de Pesca (2003).

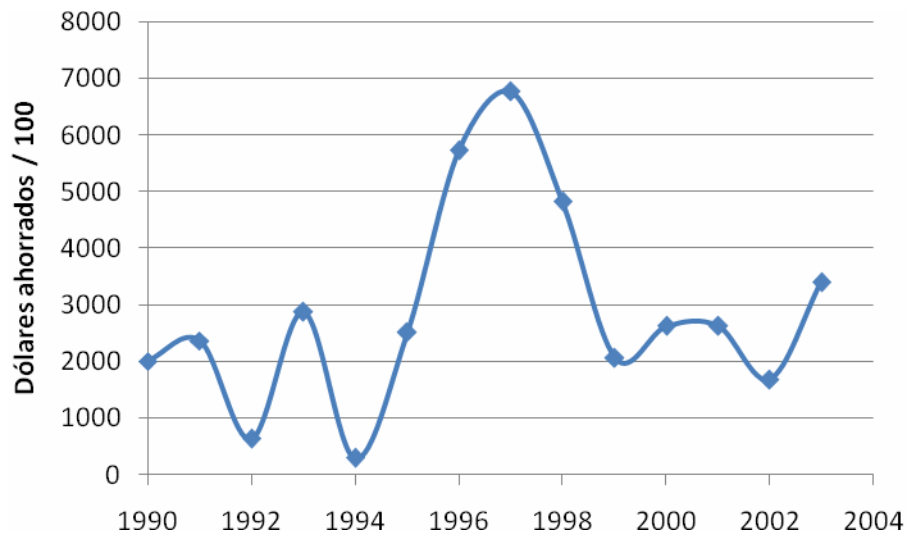


Figura 14. Estimación de la cantidad de dólares ahorrados por año debido a la disminución del tiempo de cultivo por la influencia de las surgencias.

Conclusiones

Las surgencias costeras tienen un impacto positivo en la industria ostrícola al disminuir el tiempo en cultivo de los ostiones en Bahía San Quintín y por lo tanto reducir los costos de producción. Por cada tonelada producida, los costos se disminuyen entre 550 y 670 dólares. Durante la temporada de estudio (1998-2000) la reducción en costos para la empresa Agromarinos fue entre 100,000 y 200,000 dólares por año. Debido a que las zonas de producción ostrícola en Baja California se encuentran bajo la influencia de las surgencias, es posible extrapolar la información obtenida a nivel estatal, de tal forma que en la década de los 90 el ahorro calculado fue cercano a 4,000,000 dólares aproximadamente.

La valoración económica de las surgencias a través de la industria ostrícola realizada en este estudio es solamente una primera aproximación, ya que se presentaron varias limitaciones en la disponibilidad de información, tanto ambiental como económica. En cuanto a la información “ambiental” se requiere conocer mejor la relación entre los factores ambientales (principalmente la temperatura y la disponibilidad de alimento) y el crecimiento de los ostiones en cultivo. En cuanto a la información económica es necesario contar (generar) con información mas sistematizada sobre los periodos de siembra y cosecha, para discernir cuando se realiza la cosecha porque el producto alcanzó la talla

comercial y cuando se realiza porque el mercado lo determina. A continuación se presentan las siguientes recomendaciones en caso de que se requiera realizar una valoración más robusta.

Recomendaciones

Obtener series de tiempo más largas para poder analizar con más a detalle la posible relación entre el tiempo en cultivo (que puede reflejar el tiempo de crecimiento de los ostiones) y las intensidades de surgencia menores a 50 y, principalmente, mayores a 200 m³/s/100 m de línea de costa. Es decir, se requieren series de tiempo con mayor intervalo de intensidad de surgencia.

Se requieren estudios de crecimiento de ostiones en laboratorio, variando la temperatura y la concentración de alimento, así como diferentes especies fitoplanctónicas, para ver cuál es la mejor o su preferida (si es que la tiene).

Determinar la relación del índice de surgencia con la calidad del ostión mediante dos conceptos de calidad: (1) porcentaje de carne en relación al tamaño de la concha, y (2) forma y dureza de la concha.

Realizar comparaciones con otras lagunas costeras productoras de ostión con diferentes intensidades de surgencia.

Generar información más sistematizada sobre los periodos de siembra y cosecha, para discernir cuando se realiza la cosecha porque el producto alcanzó la talla comercial y cuando se realiza porque el mercado lo determina.

Incluir la caracterización del mercado y la determinación de la cantidad demandada y el precio en el análisis económico.

Ampliar el estudio con información de otras empresas en Bahía San Quintín.

Ampliar el análisis del valor económico de las surgencias por medio de la valoración de otros servicios ambientales, como son: pesca deportiva, pesca comercial, refugio para especies migratorias (ballena gris y brantas), etc.

Anexo

La empresa Agromarinos, oferta en un mercado internacional de productores de ostiones que venden a una red de intermediarios en los EU. El conjunto de productores está conformado principalmente por productores del Atlántico y del Pacífico de EU. La oferta está compuesta por empresas de muy distinto tamaño, por lo que se podría caracterizar como oligopólica, o sea, existen una pocas empresas de gran tamaño que pueden hacer acuerdos entre ellas y lograr fijar un precio, mientras que el conjunto de empresas medianas o pequeñas sólo están en condiciones de acatar el precio fijado, por lo que sólo pueden tomar decisiones en torno a sus costos de producción y cantidades producidas y vendidas.

Agromarinos es una de estas empresas pequeñas, razón por la cual toma el precio establecido como un dato y vende todo lo que se le demanda. Se supone que la empresa distribuidora compradora adquiere en primer lugar la producción del Este de EU, luego si estos productores incrementan su precio o dejan de cosechar (como ocurre en abril durante la temporada de veda), entonces compran a los productores del Pacífico como Agromarinos y otras empresas estadounidenses. Si la demanda de ostiones para Agromarinos aumentara, la presentación de una surgencia, con su correspondiente disminución del tiempo de producción de los ostiones, podría traducirse en un incremento de la oferta

vendible de ostiones en el exterior, con beneficios económicos superiores a los calculados en este trabajo.

Por otra parte, para realizar una evaluación completa del costo-beneficio provocado por la surgencia sería necesario contar con información no disponible o no accesible actualmente de la empresa Agromarinos como son: costos de producción más detallados y precio de venta como indicador de la demanda. Con base en el recuadro 1, se elabora el siguiente listado de los principales aspectos a considerar y método para realizarlo.

Tabla VI. Características importantes en la producción de ostiones.

Aspecto a considerar	¿Quién se beneficia?	Descripción del beneficio	Método de valoración Económica
Tiempo de cultivo	Productores	Disminución en los costos de producción	Métodos basados en la función de producción
Calidad de la concha	Consumidores	Mejor aspecto visual y mayor facilidad para consumir	Técnicas de preferencias expresadas: -valoración contingente -elección contingente
Calidad de la carne	Consumidores	Mayor valor nutricional	Técnicas de preferencias expresadas: -valoración contingente -elección contingente

Literatura Citada

Aguirre-Muñoz, A., R. W. Buddemeier, V. F. Camacho-Ibar, J. D. Carriquiry, S. E. Ibarra-Obando, B. Massey, S. V. Smith y F. Wulff (2001). Sustainability of coastal resources in San Quintín, México. *Ambio*. 30: 142-149.

Almeida, M.J., J. Machado y J. Coimbra (1997). Growth and biochemical composition of *Crassostrea gigas* (Thunberg) at three fish farm earthen ponds. *Journal of Shellfish Research* 16: 601-607.

Alvarez-Borrego, J y S. Alvarez-Borrego (1982). Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Reports XXIII*, 188-197.

Arizpe, O.C. (1996). Secondary production, growth and survival of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in tropical waters, Bahía de la Paz, México, *Journal of Shellfish Research* 15: 601-607.

Bacher, C., H. Bioteau y A. Chapelle (1995). Modelling the impact of a cultivated oyster population on the nitrogen dynamics: The Thau Lagoon Case (France). *Ophelia* 42: 29-54.

Bacher, C., P. Duarte, J.G. Ferreira, M. Heral y O. Raillard (1998). Assessment and comparison of the Marennes-Oleron Bay, France and Carlington Lough

(Ireland) Carrying Capacity whit Ecosystem models. *Aquatic Ecology* 31(4):379-394.

Bakun, A. y C. S. Nelson (1977). Climatology of upwelling related processes off Baja California. *CalCOFI Reports* 19: 107-127.

Barbier, E.B. (2000). Valuing the environment as input: review of applications to mangrove-fishery linkages. Special issue, The values of wetlands: landscape and institutional perspectives. *Ecological economics* 35: 47-61.

Bayne, B.L., D. Hedgecock, D. McGoldrick y R. Rees (1999). Feeding behavior and metabolic efficiency contribute to growth heterosis in Pacific oysters [*Crassostrea gigas* (Thunberg)]. *Journal Exp. Marine Biology Ecology* 233: 115-130.

Blanton, J.O., K.R. Tenore, F. Castillejo, L.P. Atkinson, F.B. Schwing y A. Lavin (1987). The relationship of upwelling to mussel production in the rias on the western coast of Spain. *Journal of Marine Research* 45: 497-511.

Bougrier S., P. Geairon, J.M. Deslous Paoli, C. Bacher y G. Jonquieres (1995). Allometric relationship and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture* 134: 143-154.

Brown, M.R. y M.A. McCausland (2000). Increasing the growth of juvenile Pacific oysters *Crassostrea gigas* by supplementary feeding with microalgal and dried diets. *Aquaculture Research* 31: 671-682.

Cáceres-Martínez J., P. Macías-Montes de Oca y R. Vasquéz-Yeomans (1998). *Polydora* sp. infestation and health of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* cultured in Baja California, NW, México. *Journal of Shellfish Research* 17(1):259-264.

Camacho-Ibar, V.F., J.D. Carriquiry y S.V. Smith (2003). Non-conservative P and N fluxes and net ecosystem production in San Quintín Bay, México. *Estuaries* 26: 1220-1237.

Carver, C.E. y A.L. Mallet (1990). Estimating the carrying capacity of a coastal inlet for mussel culture. *Aquaculture* 88: 39-53.

Constanza, R., R. d'Arge, R. de Goot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton y M. van den Belt (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

Constanza, R. (1999). The ecological, economic, and social importance of the oceans. *Ecological Economics* 31: 199-213.

Constanza, R. (2000). Social goals and the valuation of ecosystem services. *Ecosystems* 3: 4-10.

Correa F., E. Collins, A. Domínguez y B. Cordero (2004). Variación alozímica del ostión japonés, *Crassostrea gigas* en la Bahía de San Quintín, B.C. México. *Ciencias Marinas* 30(1A): 99-107.

Cronin, W. (1996). *Uncommon Ground; Rethinking the Human Place in Nature*, Norton, New York.

Dame, R.F. (1996). *Ecology of Marine Bivalves: an ecosystem approach*. CRC press, USA.

De la Torre Castro, M. (2000). Expanding oyster cultivation in San Quintín Bay, México. Possibilities and constrains. Tesis de maestría en Manejo de Recursos Naturales, Department of Systems Ecology, Universidad de Estocolmo, Suecia. 56 pp.

Enríquez Andrade, R.R. (2004). *Introducción al Análisis Económico de los Recursos Naturales y del Ambiente: Notas Docentes*, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, 183 pp.

Enríquez-Andrade, R.R. (2005). Manual para el análisis económico de áreas naturales protegidas en México. Volumen 2. Preparado para Conservación Internacional México A.C.

Ferber, S., R. Constanza y M.A. Wilson (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics* 41: 375-392.

Gangnery, A., J.M. Chabirand, F. Lagarde, P. Le Gall, J. Oheix, C. Bacher y D. Buestel (2003). Growth model of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*, cultured in Thau Lagoon (Méditerranée, France). *Aquaculture* 215: 267-290.

García Esquivel, Z. y V.M. Bricelj (1993). Ontogenic changes in microhabitat distribution of juvenile bay scallops, *Argopecten irradians irradians* (L.), in eelgrass beds, and their potential significance to early recruitment. *Biological Bulletin* 185: 42-55.

García Esquivel, Z., M.S. Galindo, M.A. González Gómez, J.M. Hernández Ayón, F. Ley Lou y R. Vidal Talamantes (1999). Mortalidad de ostión en Bahía San Quintín durante 1998: una evaluación puntual. Reporte técnico preparado para la empresa integradora Acuicultores de San Quintín, S.A. de C.V. Ensenada. Instituto de Investigaciones Oceanológicas.

García Esquivel, Z., M.A. González Gómez, M.S. Galindo, J.M. Hernández Ayón, F. (2000). Microgeographic differences in growth, mortality and biochemical composition of the Pacific oyster (*Crassostres gigas*) from San Quintín Bay, northwest México. *Journal of Shellfish Research* 19: 789-798.

García Esquivel, Z., M.A. González Gómez, F. Ley Lou y A. Mejía Trejo (2004). Potencial Ostrícola del brazo oeste de Bahía San Quintín: biomasa actual y estimación preliminar de la capacidad de carga. *Ciencias Marinas* 30(1A): 61-74.

García-Pámanes, L. y J. García-Pámanes (2000). Reporte: Técnicas de fijación remota y cultivo del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*. Universidad Autónoma de Baja California-Instituto de Investigaciones Oceanológicas.

González Gómez, M.A. (1997). Variación temporal de la calidad del ostión japonés (*Crassostrea gigas*, Thunberg) en cultivos comerciales de Bahía San Quintín, B.C. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.

Guyondet, T., V.G. Koutitonsky y S. Roy (2005). Effects of water renewal estimates on the oyster aquaculture potential of an inshore area. *Journal of Marine Systems* 58: 35-51.

Halvorsen, E., O.P. Pedersen, D. Slagstad, K.S. Tande, E.S. Fileman y S.D. Batten (2001). Microzooplankton and mezooplankton in an upwelling filament off Galicia: Modeling and sensitivity analysis of the linkages and their impact on the carbon dynamics. *Progress in Oceanography* 51:499-513.

Hawkins, A.J.S, R.F.M. Smith, B.L. Bayne y M. Heral (1996). Novel observations underlying the fast growth of suspension-feeding shellfish in turbid environments: *Mytilus edulis*. *Marine Ecology Progress Series* 131: 179-190.

Herman, P.M. (1993). A set of models to investigate the role of benthic suspension feeders in estuarine ecosystems. In R.F. Dame (ed.): *Bivalve Filter-feeders in Estuarine and Coastal Ecosystem Processes*. NATO ASI Series Volume 33: 421-454. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Hernández-Ayón, J.M., M.S. Galindo-Bect, V.F. Camacho-Ibar, Z. García-Esquivel, M.A. González-Gómez y F. Ley-Lou (2004). Dinámica de los nutrientes en el brazo oeste de Bahía San Quintín, Baja California, México, durante y después de El Niño 1997/1998. *Ciencias Marinas*. 30 (1A): 129-142.

Hily, C. (1991). Is the activity of benthic suspension feeders a factor controlling water quality in the Bay of Brest? *Marine Ecology Progress Series* 69: 179-188.

Hynt, K.H., I.C. Pang, J.M. Klinck, K.S. Choi, J.B. Lee, E.N. Powell, E.E. Hofmann y E.A. Bochenek (2001). The effect of food composition on Pacific Oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) growth in Korea: a modeling study. *Aquaculture* 199: 41-62.

Jarry, V., M. Fiala, G.F. Frisoni, G. Jacques, J. Neveux y M. Panouse (1990). The spatial distribution of phytoplankton in a Mediterranean lagoon (Etang de Thau). *Oceanologica Acta* 13(4): 503-512.

Inclán Rivadeneyra, R. y M.J. Acosta Ruiz (1989). La comunidad incrustante en balsas para el cultivo del ostión japonés *Crassostrea gigas* en Bahía San Quintín, México. *Ciencias Marinas* 15: 21-38.

Islas Oivares, R. (1976). Cultivo piloto de ostión japonés *Crassostrea gigas* en Bahía San Quintín, Baja California. Tesis de licenciatura. Ensenada. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, UABC.

Kobayashi, M., E.E. Hofmann, E.N. Powell, J.M. Klinck y K. Lusaka (1997). A population dynamics model for the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture* 149: 285-321.

LaDochy, S., P. Ramirez y W.C. Patzert (2006). Southern California upwelling: is recent weakening a result of a global warming? Universidad del estado de California, L.A. Departamento de Ciencias Geológicas.

Lara-Lara, J. R., S. Alvarez-Borrego y L. F. Small (1980). Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 11: 613-637.

Levin, S.A. (1999). *Fragile Dominion: Complexity and the Commons*. Perseus Books, New York.

Mackas, D.L., W.T Peterson, M.D. Ohman y B.E Lavaniegos (2006). Zooplankton anomalies in the California Current system before and during the warm ocean conditions of 2005. *Geophysical Research Letters*. 33(L22S07). doi: 10.1029/2006GL027930.

Méndez, J. S. (1996), *Fundamentos de Economía*, 3ra. Ed. Mc Graw Hill, México, p. 11.

Millán-Núñez, R., S. Álvarez-Borrego y D. M. Nelson (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 15: 317-335.

Moal, J., J.F. Samain, J.R. Lecoq y J.Y. Daniel (1989). Responses and adaptations of adenylate energy charge and digestive enzyme activities on tidal immersion of *Crassostrea gigas* population in Marennes-Oléron Bay. Pp. 699-704. In: J.D. Ros (ed). Topics in Marine Biology.

Newell, R.I.E. y S.J. Jordan (1983). Preferential ingestión of organic material by the American oyster *Crassostrea virginica*. Marine Ecology Progress Series 13: 47-53.

Officer, C.B., T.J. Smayda y R. Mann (1982). Benthic filter feeding: a natural eutrophication control. Marine Ecology Progress Series 9: 203-210.

Pagiola, S., von Ritter, K. y Bishop, J. (2004). Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation. Environmental Department Papers. 101; The World Bank, Washington, D.C., 57 pp

Raillard, O., J.M. Deslous Paoli, M. Heral y D. Razet (1993). Modélisation du comportement nutritionnel et de la croissance de l'huitre japonaise *Crassostrea gigas*. Oceanologica Acta 16(1): 73-82.

Ramos-Amézquita, H.R. (1987). Determinación del arte mas 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.

Schwing, F.B., N.A. Bond, S.J. Bograd, T. Mitchell, M.A. Alexander y N. Mantua (2006). Delayed coastal upwelling along the US west coast in 2005: A historical perspective. *Geophysical Research Letters*. 33, L22S01, doi:10.1029/2006GL026911.

Shumway, S.E. y R.K. Kohen (1982). Oxygen consumption of the American oyster *Crassostrea virginica*. *Marine Ecology Progress Series* 9: 59-68.

Torres-Fernández, V.H. (1986). Estudio de factibilidad para la creación de un distrito de acuacultura en el área de Bahía San Quintín, Baja California, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.

Torres-Moye, G. y S. Álvarez-Borrego (1985). Efectos de El Niño en los nutrientes y el fitopláncton de verano de 1983, en aguas costeras de Baja California Occidental. *Ciencias Marinas* 11 (3): 107-113.

Shick, J.M., J. Windows y E. Gnaiger (1988). Calorimetric studies of behavior, metabolism and energetics of sessile intertidal animals. *American Zoologist*. 28: 161-181.

Susuki, K., A. Tsuda, H. Kiyosawa, S. Takeda, J. Nishioka, T. Saino, M. Takahashi y C.S. Wong (2002). Grazing impact of microzooplankton on a diatom bloom in a mesocosm as estimated by pigment-specific dilution technique. *Journal Exp. Marine Biology Ecology* 271: 99-120.

Thompson, R.J. y Baine, B.L. (1974). Some relationships between growth, metabolism and food in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 27:317-326.

Uribe, E. y J.L. Blanco (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.

Wilson, J.H. (1987). Environmental parameters controlling growth of *Ostrea edulis* L. and *Pecten maximus* L. in suspended culture. *Aquaculture* 64: 119-131.

Zurburg, W., A. Smaal, M. Héral y N. Dankers (1994). Seston dynamics and bivalve feeding in the bay of Marennes-Oléron (France). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28(3-4): 459-466.