UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

MODELO ESTIMATIVO DE LA FRACCIÓN POR CALIBRE DE OSTRA JAPONESA (*CRASSOSTREA GIGAS*, THUNBERG), CULTIVADA EN SISTEMA SUSPENDIDO, EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

Tesis para optar al Título
de Ingeniero Pesquero

MAURICIO AHUMADA ESCOBAR
1999

MODELO ESTIMATIVO DE LA FRACCIÓN POR CALIBRE DE OSTRA JAPONESA (*CRASSOSTREA GIGAS*, THUNBERG), CULTIVADA EN SISTEMA SUSPENDIDO, EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

por

Mauricio Gabriel Ahumada Escobar

Tesis para optar al Título
de Ingeniero Pesquero

Profesor guía:	Sr. Patricio Pavez C.
Comisión de tesis:	Sr. Rodolfo Olivari M.
	Sr. Guillermo Martínez G.
	Sr. Gabriel Yany G.

1999

AUTORIZACIÓN DE USO

Al entregar este documento como complemento parcial de los requisitos para la obtención del título de Ingeniero Pesquero, autorizo para que la biblioteca disponga libremente de ésta para inspección y consulta por parte de docentes o estudiantes. Autorizo además reproducciones *in extenso* de esta tesis, solamente con fines académicos.

Sin mi consentimiento escrito, no se permitirán reproducciones con propósitos comerciales o fines de lucro.

FIRMA _____

FECHA 11/Ago/99

AGRADECIMIENTOS

Estas líneas marcan el final de mi tesis y de una importante etapa en mi vida, por este motivo quisiera recordar y agradecer, a través de estas pocas palabras, a quienes me ayudaron y orientaron en los momentos difíciles.

Para comenzar, quisiera entregar mi reconocimiento a los profesores que integraron mi comisión de tesis por sus consejos, opiniones, críticas.

En segundo lugar, no en importancia, quiero dar las gracias a todos mis amigos. Ellos me dieron, muchas veces sin advertirlo, el necesario ánimo para seguir adelante: Sole, Gonzalo, Andrés, Richard, Osvaldo, GRACIAS!.

Del mismo modo, no puedo dejar de mencionar la buena disposición hacia el presente tesista de todos quienes laboran en el centro de cultivo El Clarón de la empresa Hidrocultivos S.A.

Gracias a todos.

A mis padres, por su apoyo incondicional

RESUMEN

Con la finalidad de estimar la proporción de individuos de ostra japonesa cultivada en sistema suspendido, que se encuentran dentro de cierto rango de peso en el tiempo (fracción por calibre), se aplica un modelo basado en el cálculo de la longitud media de crecimiento el cual se vincula al uso de la distribución normal bivariada.

Mediante el cálculo de índices que relacionan las necesidades de crecimiento de la ostra con las condiciones ambientales presentes en la zona de cultivo, se proyecta mensualmente la longitud media de la cohorte, estimando la proporción de ostras que cumplen con requisitos de peso por calibre para la ostra "mesa".

Se discute la importancia de los factores seleccionados en la explicación de la variabilidad de la tasa de crecimiento así como la imprecisión asociada a su registro.

Se concluye que el modelo, basado en índices de aptitud del hábitat, presenta un bajo porcentaje de error en la estimación de la longitud media de la cohorte. Del cálculo de la fracción por calibre, se estima que ésta no presenta concordancia con los registros históricos del centro de cultivo.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETIVOS 3

3. ANTECEDENTES GENERALES 4

3.1 Antecedentes de la especie 4

3.1.1 Clasificación taxonómica 4

3.1.2 Distribución geográfica 4

3.1.3 Morfología 5

3.1.4 Alimentación 6

3.1.5 Reproducción y desarrollo larval 6

3.2 Tecnología de cultivo 6

3.3 Modelos de producción de ostra japonesa cultivada 8

3.4 Factores con influencia en la fracción de ostras por calibre 11

3.4.1 Variación de la talla media en el tiempo 11

3.4.2 Relación longitud-peso 15

3.5 Características de la zona de emplazamiento 15

3.6 Operación del centro de cultivo 17

3.7 Cálculo de la fracción comercializable mediante la distribución normal 18

4. MATERIALES Y MÉTODOS 21

4.1 Recopilación de antecedentes 21

4.2 Selección metodológica 22

4.3 Adaptación de la metodología 22

4.4 Aplicación del modelo 23
4.4.1 Supuestos del modelo 23
4.5 Validación y sensibilización del modelo 27

5. RESULTADOS 33
5.1 Diagrama general del modelo 33
5.1.1 Proyección mensual de la longitud media (modelo HSI) 34
5.2 Definición de variables 37
5.2.1 Variables de entrada 37
5.2.2 Variables de estado 37
5.2.3 Variables de salida 38
5.3 Algoritmo de calculo 38

6. DISCUSIÓN 47

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 54

8. BIBLIOGRAFÍA 56

ANEXOS 63

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Ostra Japonesa, vista externa. 5

Fig. 2. Valores de SI para las variables Temperatura y Concentración de alimento (modificado de Roland & Brown, 1990). 11

Fig. 3. Esquema de la operación del sitio de cultivo, con respecto a la problemática del crecimiento de la ostra "mesa". 18

Fig. 4. Esquema de la metodología empleada para sensibilizar las variables ambientales incorporadas al modelo de crecimiento. 30

Fig. 5. Diagrama de bloque del modelo propuesto para la obtención del período con la mayor fracción comercializable. 33

Fig. 6. Variables que modifican el crecimiento medio en el tiempo de ostras en cultivo suspendido. 35

Fig. 7. Modelo aplicado para el calculo de la fracción por calibre en el tiempo. 36

Fig. 8. Longitud media mensual de la semilla observada y ajustada por el modelo HSI_m. 40

Fig. 9. Longitud media mensual de la ostra small observada y ajustada por el modelo HSI_m. 40

Fig. 10. Relación longitud-peso obtenida a partir del muestreo *in situ*. 44

LISTA DE TABLAS

TABLA I. Factores ambientales, físicos y biológicos, que inciden en el crecimiento y sobrevivencia de la ostra japonesa 12

TABLA II. Funciones derivadas del gráfico SI Temp. propuesto por Roland & Brown (1990), empleadas en el cálculo de los índices de aptitud 26

TABLA III. Rangos de transparencia utilizados en la aproximación del índice de aptitud del alimento SI Almto. 26

TABLA IV. Criterios cualitativos en la estimación del índice de aptitud del fouling, (SI Foul) presente en las unidades de cultivo 27

TABLA V. Valores mensuales del índice de aptitud del hábitat, HSI_m, durante el período de muestreo 29

TABLA VI. Rangos de longitud y peso para el calibre small, empleados en la validación de la variable de salida 31

TABLA VII. Porcentaje de error absoluto entre la longitud mensual media observada y la estimada por el modelo 41

TABLA VIII. Parámetros regresionales del ajuste vía Paso a paso (hacia adelante) para la semilla de ostra 42

TABLA IX. Parámetros regresionales del ajuste vía Paso a paso (hacia adelante), para la ostra small, utilizando el índice SI Temp 42

TABLA X. Parámetros regresionales del ajuste vía Paso a paso (hacia adelante), para la ostra small, considerando el índice HSI_m 43

TABLA XI. Fracción mensual (%), de calibre small, estimada a partir del origen semilla 44

TABLA XII. Fracción mensual (%) de calibre small, estimada a partir de origen small 45

TABLA XIII. Fracción de ostra small (%), a partir cohortes semilla y small, de acuerdo a la estimación realizada por el modelo para datos del historial y la fracción registrada 46

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país la acuicultura adquiere cada día mayor relevancia en el sector pesquero debido al continuo aumento de volúmenes provenientes de centros de cultivo y a la fluctuación de desembarques provenientes de caladeros naturales. De este modo, el año 1995 las divisas generadas por este subsector alcanzaron aproximadamente el 30% del total exportado por el sector pesquero nacional, alcanzando en 1997 los US$ 740 millones.

En el contexto de la programación de la producción, la cría de animales en cautiverio requiere proyectar el crecimiento y estimar el porcentaje de organismos que cumplen con requisitos de comercialización. En el cultivo de ostras, la situación anterior se relaciona con el desarrollo del stock criado.

Generalmente, el problema mencionado es abordado por las empresas acuícolas realizando muestreos periódicos a las unidades de cultivo consumiendo en ello tiempo, recursos humanos y materiales. Otra opción es el uso de modelos, éstos tienen como ventaja el generalizar relaciones que pueden ser aplicadas a la situación particular de la zona de concesión, considerando para ello factores físicos, biológicos y tecnológicos.

El principal modelo de producción, aplicable al cultivo comercial de ostra japonesa, se basa en un índice (HSI), que con una escala de 0,0 a 1,0, representa la aptitud del hábitat para el crecimiento de la especie en el tiempo, de este modo se registran tanto respuestas no lineales de los organismos a cambios medioambientales y la interacción entre tales factores.

El complementar dicha metodología con herramientas estadísticas de probabilidad condicional bivariada, permitiría el cálculo de la fracción comercializable en el tiempo, considerando sus requerimientos de peso de acuerdo a una longitud media proyectada.

En el presente trabajo de tesis, el modelo se aplicó en una concesión orientada a la engorda de ostra japonesa en sistema suspendido y comercializada como ostra mesa, emplazada en la región de Valparaíso, en el sector de Horcón.

2. OBJETIVOS

Objetivo General:

- Aplicar un modelo estimativo de la fracción por calibre en el tiempo, de ostra japonesa (*Crassostrea gigas*, Thunberg), cultivada en sistema suspendido, en la región de Valparaíso.

Objetivos específicos:

- Determinar los factores involucrados en el modelo de aptitud del hábitat (HSI_m).
- Desarrollar un algoritmo de cálculo de la proporción por calibre en el tiempo.
- Aplicar el algoritmo y validar sus resultados en un sitio de cultivo de la zona.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1 Antecedentes de la especie

3.1.1 Clasificación taxonómica

Fillum: *Mollusca*
Clase: Pelecypoda
Orden: Lamellibranchia
Familia: *Ostreidae*
Género: *Crassostrea*
Nombre científico: *Crassostrea gigas*
Nombre común: Ostra japonesa, Ostra del Pacífico

3.1.2 Distribución geográfica

Es una especie nativa del Océano Pacífico, su distribución natural incluye: Rusia, Japón y las costas coreanas (Heral, 1989). En el Pacífico nororiental fue introducida a principios de siglo (Quayle, 1969), distribuyéndose desde Alaska hasta California; recientemente ha sido incorporada para cultivo en Europa, África, Sudamérica y el Océano Indico (Landau, 1992).

En Chile la primera experiencia de cultivo se realizó en 1977, en Caleta los Pozos, (IV Región), para ello se importaron 40 kg de valvas fijadas con semilla de 1 cm de diámetro desde Seattle, Washington, USA; la citada experiencia motivaría la importación, en 1978, de 20000 semillas por parte de la Universidad del Norte y Fundación Chile desde California (Hoyl y Uribe, 1988).

3.1.3 Morfología

Presenta una forma básicamente ovoide con una serie de irregularidades en la concha, la valva izquierda es cóncava, conteniendo el cuerpo del animal, la valva derecha en cambio presenta forma aplanada (Heral, 1989). Es de color amarillento blanquecino, con bandas radiales de color café violeta; la superficie interna es de color blanco con la excepción de la marca del músculo aductor el cual suele presentar tonalidades violeta, la carne es blanquecina o blanquecina verdosa. (Figura 1).

Fig. 1. Ostra Japonesa, vista externa.

3.1.4 Alimentación

Presenta dos formas de alimentarse: Por filtración de material particulado, principalmente células de fitoplancton, mediante el tejido branquial que actúa como seleccionador de partículas de tamaño adecuado (1-10 µ) y por absorción, en las branquias y el manto, de sustancias disueltas en el agua como lípidos, aminoácidos, glucosa y materia orgánica, este último comportamiento es común a otros moluscos (Heral, 1989).

3.1.5 Reproducción y desarrollo larval

El desove ocurre al alcanzar el agua una temperatura aproximada de 23ºC, los huevos de 60 µ de diámetro son fertilizados por espermatozoides liberados al mar; el estado de larva trocófora evoluciona alcanzando el estado de veliger "D" a las 24 hrs de vida aproximadamente (70 µ a 90 µ). En tres semanas las larvas pedivelíger (270 µ a 290 µ) terminan su vida planctónica, fijándose a un sustrato mediante una sustancia cementante secretada por la glándula del biso, denominándose desde entonces "semilla de ostra" o "spat" (Heral, 1989; Ikenoue, 1992; Iversen, 1982).

3.2 Tecnología de cultivo

En Japón, la industria productora de semilla utiliza los siguientes métodos de captación (colectores): varas de bambú, apiladas en el fondo y valvas de ostión, dispuestas en alambres de acero colgados en racks, balsas o long-line. En la engorda se utilizan tres métodos de cultivo: sobre palos, colgadas (long-line) e instaladas en estructuras de bambú plantadas en el suelo (racks) (Iversen, 1982; Ikenoue, 1992).

En la Columbia Británica (Canadá), donde se cultiva ostra del Pacífico introducida desde el Japón a principios de siglo (Quayle, 1969) las ostras jóvenes se adhieren a soportes que penden de armazones flotantes de madera o estructuras de poliestireno expandido, posteriormente son separadas para ser colocadas directamente en el intermareal desde donde son cosechadas (Iversen, 1982).

En Chile, la temperatura del agua, inferior al mínimo requerido para el desove, impide que la especie forme bancos naturales, esto determina las características tecnológicas del cultivo ya que obliga a la obtención de larvas exclusivamente desde ambiente controlado (hatchery) (Olivarí, com pers.). A partir de la fijación larval, es posible obtener dos clases de semilla: individual (fijación en conchuela molida o arena), si la producción corresponderá a ostra de mesa, o adherida a collares de conchas de moluscos (cholgas u ostiones), si el fin es la obtención de carne de ostra (Landau, 1992).

En la etapa de engorda, en la zona norte de nuestro país, se utilizan principalmente sistemas suspendidos, para ello se emplea tecnología japonesa similar a la utilizada para el cultivo de ostión (long-line); las unidades de cultivo corresponden a linternas colgadas a lo largo de un cabo sintético, que cuenta además de un sistema de flotación y otro de anclaje. En Chiloé, se usan adicionalmente sistemas de cultivo de fondo, como parrones y bandejas de crecimiento de madera forrados con malla (Velez, 1988).

3.3 Modelos de producción de ostra japonesa cultivada

Los estudios relacionados directamente con el tema proyectan la producción modelando las respuestas medias del organismo a variables medioambientales. Básicamente se consideran dos factores con incidencia en el crecimiento: la temperatura del agua de mar, ya que entre los márgenes adecuados permite que se realice la actividad enzimática propia de las reacciones metabólicas de la especie (Heral, 1989; Landau, 1992) y la cantidad de alimento disponible, expresada como concentración de clorofila "a", o concentración de material orgánico particulado (POM) en el medio (suma de concentraciones de lípidos, proteínas y carbohidratos en el agua de mar) (Brown & Roland 1987; Brown & Hartwick, 1988c; Ronald & Brown, 1990; Sarà y Mazzola, 1997).

Brown & Roland (1987) reportan los resultados obtenidos de la aplicación de un modelo HSI (índice de aptitud del hábitat) en la selección de sitios de cultivo de ostra del Pacífico en la Columbia Británica (Canadá). Este indicador presenta valores que oscilan entre 0,0 y 1,0, dependiendo si las variables ambientales son absolutamente adversas u óptimas para la especie; para ello detallan los factores biológicos y físicos a considerar en zonas de potencial desarrollo acuicultor.

Para aplicar dicha metodología, detallan los métodos posibles de utilizar en la medición de dichos factores, así, respecto al monitoreo fitoplanctónico por parte de empresas de tamaño medio o pequeño, señalan criterios para el cálculo del índice de aptitud (SI) de acuerdo a rangos de transparencia del agua de mar contrastados con análisis espectrofotométricos.

Brown & Hartwick (1988c) desarrollan un modelo de producción basado en índices HSI para ostra del Pacífico cultivada en bandejas en sistema suspendido en Columbia Británica. Determinan el grado de ajuste entre dicho índice, el crecimiento en longitud de las ostras y su producción secundaria (g*100/ostras*día). Para el ajuste del modelo, identifican inicialmente 10 variables ambientales que tendrían influencia sobre el crecimiento y la sobrevivencia.

Señalan como limitante en la aplicación generalizada del modelo, la influencia de factores adicionales a los incluidos, los cuales son específicos a cada centro de cultivo, ellos son: el genotipo de los reproductores, la técnica de cultivo y el cuidado de los organismos en cría. Concluyen que los valores de HSI calculados están altamente correlacionados con el crecimiento de la ostra (r^2 = 0,83, en ostras menores a un año y r^2= 0,88, en ostras de 1 año).

Roland & Brown (1990) desarrollan un modelo de producción en la Columbia Británica para la ostra del Pacífico. A través del ajuste estadístico de datos publicados, desarrollan ecuaciones que correlacionan crecimiento en longitud (expresado como tasa de mensual de crecimiento), con un índice HSI en base mensual. El citado indicador es función de los subíndices de requerimientos de crecimiento y sobrevivencia, LRSI(Cmto.) y LRSI(Sob.), los que a su vez son producto de índices calculados en base al valor de factores que afectan el crecimiento en longitud o éste factor como la sobrevivencia respectivamente (Brown & Roland, 1987).

Los precitados autores señalan como principal ventaja en el uso de dicha metodología, el registrar, tanto las respuestas no lineales de los organismos a la variación de factores ambientales, como su efecto interactivo en el

crecimiento. Las funciones utilizadas para proyectar el crecimiento mensual corresponden a:

(1) $$\ln G_{30} = 3{,}672 - 0{,}846 \ln(H_m) + 0{,}367 \operatorname{arcsen} \sqrt{HSI_m}$$

(2) $$\ln H_{m+1} = -0{,}114 + 0{,}999 \ln(H_{m+1}) + 0{,}116 G_{30}$$

Donde:

G_{30}	=	Tasa de crecimiento mensual en longitud.
H_m	=	Longitud al inicio del mes "m"
H_{m+1}	=	Longitud al final del mes "m"
HSI_m	=	Indice de aptitud del hábitat durante el mes "m"

Las variables de entrada definidas para las funciones precitadas corresponden a la longitud inicial, temperatura del agua y la cantidad de alimento disponible durante el período (Figura 2). Debido a la dificultad técnica de monitoreo de la biomasa fitoplanctónica en el agua de mar para una empresa de tamaño pequeño o mediano, dichos autores proponen el uso de aproximaciones a través del uso de disco Secchi.

En su trabajo, señalan la posibilidad de incorporar otros factores potencialmente relevantes, específicos para los lugares de aplicación, lo anterior se realizaría mediante funciones de cálculo de índices estimadas por Brown & Hartwick (1988c) (Anexo 1). Finalmente, desestiman la inclusión de variables como salinidad, enfermedades o contaminación, debido a que no se consideran como factores limitantes en una zona habilitada como centro de cultivo.

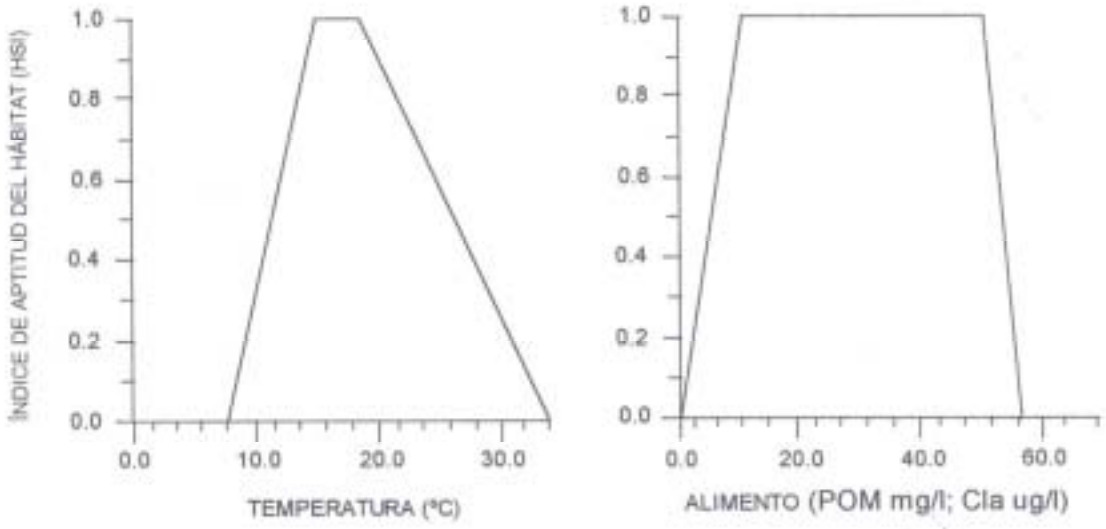


Fig.2. Valores de SI para las variables Temperatura y Concentración de alimento (modificado de Roland & Brown, 1990).

Brown & Hartwick (1988a) y Brown & Hartwick (1988b), investigan la influencia que tienen las características físicas y biológicas del medio en el índice de condición, sobrevivencia y crecimiento de la ostra del Pacífico en una serie de sitios de cultivo en Columbia Británica (Canadá); para ello ajustan curvas polinómicas de crecimiento en función del tiempo de cultivo.

3.4 Factores con influencia en la fracción de ostras por calibre

3.4.1 Variación de la talla media en el tiempo

La longitud promedio está en directa relación a la tasa de crecimiento. Ésta disminuye de acuerdo a la edad del organismo, pero puede variar además por la acción de factores ambientales; algunos de los cuales incidirían también en la sobrevivencia (Brown & Hartwick, 1988a; Brown & Hartwick, 1988b; Nell, 1988; Spencer, 1990; Sparre & Venema, 1995). El grado de influencia de dichos factores lo determina el sistema de cultivo utilizado, el método de cría, además

de características de tipo genético (Brown & Hartwick, 1988c; Brown & Roland, 1987; Holliday *et al.*, 1992; Newkirk, 1980; Sarà & Mazzola, 1997; Taylor *et al.* 1997; Toro *et al.* 1996). Las variables ambientales que afectan la ostra japonesa y el rango en que la tasa de crecimiento es mayor, "rango óptimo", son resumidas en la Tabla I.

TABLA I

Factores ambientales, físicos y biológicos, que inciden en el crecimiento y sobrevivencia de la ostra japonesa

NOMBRE	RANGO ÓPTIMO	SIST. DE CULTIVO	CRECIMIENTO	SOBREVIVENCIA
ALIMENTO	12 - 52 (µg/ l)	S Y F	✓	
TEMPERATURA	16ºC-20ºC	S Y F	✓	
SUSTRATO	GRAVA	F	✓	
EXPOSICIÓN INTERMAREAL	<10%	F	✓	✓
SEDIMENTOS	<75mg/l	S Y F	✓	✓
ENFERMEDADES	AUSENTE	S Y F		✓
FOULING	AUSENTE	S Y F	✓	✓
PREDADORES	AUSENTE	F		✓
CORRIENTES	s/i	S	✓	✓
SALINIDAD	>20 ‰	S Y F	✓	✓
PH	>7.8	S Y F		✓
OXÍGENO DISUELTO (% SATURACIÓN)	>75%	S Y F		✓

S: Cultivo suspendido, F: Cultivo de fondo, S/I. Sin información

Fuente: Modificado de Brown & Roland, 1987

Con respecto a sistemas de cultivo suspendido, los factores con influencia en el desarrollo en longitud de los organismos han sido enumerados por Quayle (1969); Brown & Hartwick (1988c) y Roland & Brown (1990), éstos son:

Temperatura y Alimento: Según Malouf & Breese (1977) tales variables presentan un efecto interactivo en el desarrollo de la ostra, dichos autores proponen que altas temperaturas con bajas concentraciones de alimento producen menores tasas de crecimiento. Al aumentar la concentración de alimento disponible, la tendencia se invierte, generándose un mayor crecimiento a temperaturas elevadas. Según Shpigel & Blaylock (1991), a partir de 27ºC la producción de carne se detiene, continuando exclusivamente el desarrollo en longitud. La interacción temperatura-alimento es común a otros bivalvos, especialmente en aguas templadas (Hickman, 1992).

Salinidad: Según Quayle (1969), Brown & Hartwick (1988a), Brown & Hartwick (1988b) incide en el crecimiento y la sobrevivencia exclusivamente a concentraciones inferiores a 20‰ debido a que reduce la tasa de asimilación de alimento. Nell & Holliday (1988) no reportan diferencias significativas en el crecimiento entre 15‰ y 45‰. Roland & Brown (1990) no la consideran como un factor con incidencia en el crecimiento de las ostras, en lugares habilitados como centro de cultivo, debido a que es considerada dentro de los criterios de selección del mismo.

Fouling: Su presencia sobre las unidades de cultivo impide la circulación del agua, evitando una adecuada oxigenación, el transporte de alimento y la remoción de productos de excreción metabólica (Brown & Hartwick, 1988c; Spencer, 1990). Lo anterior se traduce en disminución de la tasa de crecimiento en bivalvos (Claerebôudt, *et al.* 1994; Taylor *et al.* 1997).

Corrientes: Afectan la actividad alimenticia de moluscos filtradores debido a que proveen de oxígeno, transportan micronutrientes, partículas alimenticias y son capaces de diluir los productos de excreción (Brown & Roland, 1987; Malouf & Breese, 1977). Según Malouf & Breese (1977) y Spencer (1988), no existiría una relación proporcional entre la velocidad de flujo y el crecimiento, sino que el desarrollo de las ostras está determinado por la cantidad de alimento que la corriente arrastre y el efecto interactivo entre la concentración de alimento y la temperatura del agua de mar. No fue posible hallar antecedentes que cuantifiquen su efecto.

Sedimentos suspendidos: En grandes concentraciones (>75 mg/l) su presencia es dañina para las ostras cultivadas. Al cubrir las unidades de cultivo impiden el intercambio de agua provocando la disminución de la tasa de crecimiento (Brown & Hartwick, 1988c; Spencer, 1990). Somin *et al.* (1988) señalan que concentraciones sobre 120 mg/l afectan la filtración y biodeposición.

Cría: Se incluyen factores de índole técnica como la profundidad de las unidades de cultivo, tamaños de malla utilizados, número de individuos por piso (densidad de cultivo), periodicidad en la limpieza de fouling, clasificación de animales de acuerdo a su velocidad de crecimiento, etc. Los factores mencionados son capaces de modificar el grado de influencia de las variables ambientales sobre la tasa de crecimiento. El método de cría, el sistema de cultivo empleado y las características físicas y biológicas de la concesión, modifican la velocidad del incremento de las tallas entre zonas de producción, obstaculizando la aplicación generalizada de un modelo de crecimiento (Quayle, 1969; Holliday *et al.*, 1992; Sarà & Mazzola, 1997; Taylor *et al.*, 1997).

Genéticos: El genotipo de los reproductores, producto de la selección de los organismos que presentan una mayor tasa de desarrollo en longitud, puede modificar la velocidad de crecimiento entre distintos orígenes de semilla (Newkirk, 1980).

3.4.2 Relación longitud-peso

Depende de las variaciones del crecimiento en longitud y/o peso de las ostras cultivadas, de este modo, las variables precitadas influyen directamente en tal relación. El método de cría utilizado y el grado de hacinamiento al interior de la unidad de cultivo (densidad), son también factores involucrados (Brown & Hartwick, 1988; Iversen 1982).

3.5 Características de la zona de emplazamiento

De acuerdo a la recopilación de antecedentes, existe un grupo de variables de tipo físico y biológico potencialmente incidentes en la tasa de crecimiento de los organismos en sistemas de cultivo suspendido. Éstas están en relación a las características de la zona, motivo por el cual, se reunió información respecto a tales factores.

La temperatura superficial del mar en la costa central de Chile, área en que se localiza el sitio donde se aplica el modelo, está directamente influenciada por la corriente de Humboldt, oscilando anualmente entre 12ºC y 15ºC en promedio. En algunos años puede ser influenciada principalmente por anomalías producidas por el fenómeno de "El Niño", en dichos eventos se ha registrado un valor máximo de 20ºC (Prado y Sievers, 1987; Reyes y Romero, 1977).

Respecto a la información disponible de productividad primaria, el ciclo anual fitoplanctónico en las zonas adyacentes corresponde al característico de los

mares templados: un período largo de abundancia, de Octubre a Abril, caracterizado por un incremento en la concentración fitoplanctónica, el cual se alterna con un período de baja disponibilidad (Avaria y Orellana, 1975; Alvial y Avaria, 1982; Avaria y Muñoz, 1982; Avaria *et al.*, 1988). El ciclo anual de la biomasa fitoplanctónica en la bahía adyacente al sitio de la concesión en años normales y el modo en que éste es influenciado por el fenómeno de "El Niño", es descrito por Avaria *et al.* (1988); dicho autor reporta concentraciones de clorofila a, entre 0 m y 25 m de profundidad, con máximos entre 6 mg/l y 10 mg/l.

Las bahías de la zona, entre las que se ubica la concesión está semiprotegida de los vientos predominantes del sur y suroeste, pero expuesta a los vientos del norte y noroeste que afectan el lugar especialmente durante los meses de invierno (Reyes y Romero, 1977), por lo señalado, y debido a que el viento de dicha dirección se presenta en eventos de corta duración, el movimiento del mar en el sitio de cultivo se asocia a oleaje de tipo local, no siendo relevantes episodios de oleaje causados por la acción del viento en mar abierto, "fetch" (Servicio Meteorológico de la Armada de Chile, com. pers.) (Anexo 2).

No fue posible hallar antecedentes de la concentración de sedimentos en suspensión, sin embargo, en la zona de aplicación del modelo no existe presencia relevante debido a la ausencia de cursos de agua que viertan sus efluentes en las cercanías. Este hecho, además, limita las alteraciones locales de la salinidad promedio en la capa superficial de agua que corresponde a 34‰, con mínimos de 30‰ y máximos de 34,7‰ (Prado y Sievers, 1987).

En relación a factores bióticos con incidencia en el desarrollo de las ostras, es posible apreciar proliferación de fouling sobre unidades de cultivo, el cual se

compone especialmente de briozoos además de algas, cirripedios y tunicados (Olivari, com. pers.) en el sitio de aplicación del presente trabajo.

3.6 Operación del centro de cultivo:

La operación del sitio de cultivo, respecto a la problemática asociada al crecimiento de la ostra japonesa destinada a comercialización como "ostra mesa", es representada en la Figura 3. En el manejo de los organismos es posible distinguir las labores de desdoble y cosecha, el modo en que estas actividades implican un ordenamiento periódico del stock de acuerdo a grupos de longitud de los animales cultivados (debido distintas tasas de crecimiento), y su selección para cosecha de acuerdo a requerimientos de longitud y peso.

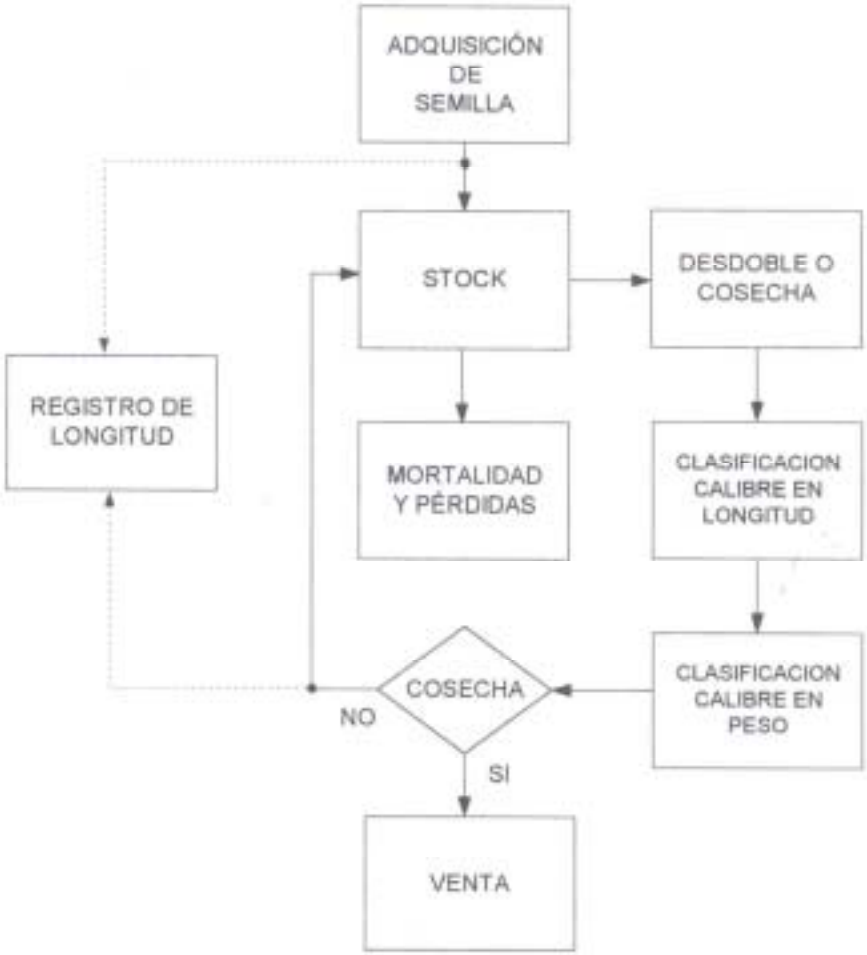


Fig. 3. Esquema de la operación del sitio de cultivo, respecto al crecimiento de la ostra "mesa"

3.7 Cálculo de la fracción comercializable mediante la distribución normal

De acuerdo a la operación del centro de cultivo, un calibre comercializable de ostra, corresponde a animales que cumplen requerimientos de longitud como de peso, de acuerdo a ello, el uso de la función longitud-peso, y la utilización de la distribución normal bivariada permiten estimar la fracción de las ostras que, dada una determinada longitud, presentan un cierto rango en peso. De este

modo, según Neter (1989) y Canavos (1988), la función de densidad condicional de una variable Y_1, para cualquier valor de Y_2, se define.

$$f(Y_1|Y_2) = \frac{f(Y_1, Y_2)}{f_2(Y_2)}$$

Donde:

$f(Y_1, Y_2)$: Función de probabilidad bivariada

$f_2(Y_2)$: Función marginal de probabilidad de longitud Y_2

Según Neter (1989), en el caso de distribuciones normales, la distribución de densidad condicional para la distribución bivariada corresponde a:

$$f(Y_1|Y_2) = \frac{1}{\sigma_{1.2}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y_1 - \alpha_{1.2} - \beta_{1.2}Y_2}{\sigma_{1.2}}\right)^2\right] dy_1$$

Donde:

$\sigma^2_{1.2}$: $\sigma^2_1 * (1 - \rho^2_{1.2})$

$\alpha_{1.2}$: Intercepto función Y_1 v/s Y_2

$\beta_{1.2}$: Pendiente función Y_1 v/s Y_2

$\rho^2_{1.2}$: Coeficiente de determinación de la función Y_1 v/s Y_2

En donde la fracción de ostras que se encuentran dentro de un calibre determinado con límites *A* y *B* para la variable Y_1, dado un valor Y_2, se expresa en términos de probabilidad, según la función:

$$P\left(A < Y_1 < B \middle| Y_2\right) = \int_A^B \frac{1}{\sigma_{1.2}\sqrt{2\pi}} \exp^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{Y_1 - \alpha_{1.2} - \beta_{1.2} Y_2}{\sigma_{1.2}}\right)^2\right)} dy_1$$

La cual en su forma estandarizada se define:

$$P\left(\frac{A-\mu}{\sigma_{1.2}} < z < \frac{B-\mu}{\sigma_{1.2}} \middle| Y_2\right) = \int_A^B \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp^{\left(-\frac{z^2}{2}\right)} dz$$

La relación anterior se verifica bajo los supuestos de normalidad, homocedasticidad y relación lineal entre las variables en estudio.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos planteados, se consideraron las siguientes etapas de trabajo:

A) Recopilación de antecedentes: A través de una investigación bibliográfica y el uso de juicio experto (mediante consulta a académicos y recopilación de información relativa al lugar de aplicación del modelo) con la finalidad de identificar metodologías y factores a incluir en el modelo.
B) Selección de metodología: Acorde a criterios biológico-técnicos reunidos previamente como antecedentes.
C) Adaptación de la metodología para su aplicación: En relación a los antecedentes y datos recopilados para la zona de cultivo.
D) Construcción algoritmo de cálculo.
E) Aplicación del modelo: Mediante monitoreo y obtención de información en el sitio de cultivo.
F) Validación del modelo: A través de su sensibilización, y la contrastación de sus resultados con información proveniente del centro.

4.1 Recopilación de antecedentes

De acuerdo a los antecedentes ya enunciados, tendentes a identificar las variables involucradas en la solución del problema y seleccionar una metodología adecuada, se deduce que la problemática es abordada exclusivamente desde el punto de vista de la influencia de variables ambientales en la tasa de crecimiento, nombrando los factores de tipo técnico que impiden la aplicación generalizada de modelos de producción (Brown & Roland, 1987; Brown & Hartwick, 1988c; Roland & Brown, 1990; Sarà y Mazzola, 1997).

4.2 Selección metodológica

De este modo, acorde a los antecedentes recopilados, que consideran el número de variables involucradas, su interacción y la respuesta no lineal de los organismos a cambios en factores medioambientales (Malouf & Breese, 1977; Roland & Brown, 1987; Brown & Hartwick, 1988c), se seleccionó la metodología basada en el uso de un índice, que valora la aptitud del hábitat en el tiempo (HSI_m), para evaluar la influencia medioambiental en la tasa de crecimiento media de la especie.

Bajo los supuestos de uso de la normal bivariada, la metodología se complementó calculando y evaluando la asociación lineal longitud-peso. Así se obtuvo la fracción de ostras que corresponde a un determinado calibre en el tiempo. El tamaño de las ostras se expresa inicialmente basado en la longitud, debido a que esta medida corresponde al primer criterio utilizado en la selección del producto.

La variable de salida del modelo corresponde a la fracción de las tallas que dada una longitud media en el tiempo, cumple con los requisitos de peso delimitados por calibre.

4.3 Adaptación de la metodología

El modelo de producción propuesto por Roland & Brown (1990) se utilizó considerando criterios, enunciados por Brown & Roland (1987) y Brown & Hartwick (1988c) para el cálculo de las variables ambientales relevantes en el crecimiento, del mismo modo se incorporó la información proveniente del muestreo realizado en el sitio de aplicación con la finalidad de estimar tanto la variabilidad asociada a la semilla como el efecto de la periodicidad y agrupación por longitud realizado en el sitio de cultivo.

4.4 Aplicación del modelo

Con la finalidad de aplicar el modelo, se recopiló información pertinente al crecimiento en longitud, y a las variables seleccionadas como relevantes en la variación de la tasa media de incremento en longitud, en una concesión comercial productora de bivalvos ubicada en Horcón, entre Octubre de 1996 y Mayo de 1997.

En la selección de las variables ambientales a ser incluidas en el modelo, y en virtud de los antecedentes recopilados, se utilizaron los siguientes criterios:

Sistema de cultivo utilizado: Según Brown & Roland (1987) y Brown & Hartwick (1988c) determina el grado de influencia de las variables de tipo ambiental en una concesión acuícola.

Información disponible respecto a la zona de concesión: La información de tipo oceanográfica utilizada proviene de trabajos realizados en la costa central del país por Avaria (1971), Alvial y Avaria (1982), Avaria *et al.*(1988), Avaria y Muñoz (1991) y Silva y Sievers (1991).

Factibilidad técnica de monitoreo: Determina la posible aplicación del modelo a la realidad productiva de una empresa, los medios técnicos de medición son enumerados por Brown & Roland (1987) (Anexo 3).

4.4.1 Supuestos del modelo

- El ámbito inferencial es desarrollado y validado para el rango de tallas y período comprendido por los muestreos *in situ*.
- Los calibres de origen son obtenidos a través de muestreos aleatorios de grupos previamente clasificados por los operarios del centro que incluyen

ostras provenientes de distintas cohortes, representativas de las distintas tasas de crecimiento presentes en el lugar.

- Las varianzas de las tallas para cada calibre entorno a su media son representativas del grado de agrupación efectuada en el sitio de cultivo.

De acuerdo a lo anterior, se determinó inicialmente, a través de premuestreo (Anexo 4), un tamaño muestral de 90 unidades tanto para la semilla (α=0,05, ε=0,04) como para el calibre small (α=0,05, ε=0,02), ambos tamaños destinados a la producción de ostra "mesa". A fin de minimizar las posibles pérdidas atribuibles a manejo y respetar las densidades de cultivo por calibre utilizadas en el centro (100 y 60 ostras por piso respectivamente), se utilizaron 600 unidades de semilla de ostra japonesa (longitud media: 48,5 mm; peso medio: 12,8 g) y 360 unidades de ostra small (longitud media: 86,9 mm; peso medio: 74,5 g).

Los moluscos utilizados tanto en el premuestreo como el muestreo, fueron escogidos aleatoriamente desde el grupo previamente clasificado como semilla y small por los operarios del centro. Como unidades de cultivo se utilizaron dos linternas correspondientes a las de uso estándar en el sitio: de 2 m de alto cada una, forradas con malla PA multifilamento de 10 mm de tamaño de malla en el caso de la semilla y de 20 mm de tamaño de malla para la ostra small, dichas unidades fueron dispuestas en una línea de cultivo (long line) a 3,5 m de profundidad.

Se efectuó una medición mensual en longitud a partir de la última semana del mes de octubre de 1996, para ello se midió el largo total con un vernier (precisión ±0,1 mm) desde el umbo hasta el borde de la concha, el peso fue controlado a través de una balanza eléctrica de precisión ±0,1 g. En cada

muestreo se mensuraron 90 unidades de semilla y ostra small, para ello se extrajeron grupos de 15 moluscos por piso desde cada calibre en estudio, registrando en planillas las tallas y pesos respectivos.

Las variables seleccionadas para el cálculo del índice de requerimientos para el crecimiento LRSI $(Cmto.)_m$ fueron: temperatura y concentración de alimento; para el factor correspondiente a la sobrevivencia, LRSI $(Sob.)_m$, se consideró la presencia de fouling sobre las unidades de cultivo (Brown & Hartwick, 1988c). En relación a la cría, se utilizaron las densidades (ostras por piso), las unidades y el sistema estándar de cultivo del centro.

Para el cálculo de los subíndices ($LRSI_m$), correspondientes al mes transcurrido entre dos muestreos (mes "m"), se utilizaron los datos de monitoreo del centro de cultivo, efectuado diariamente y una vez por día, entre 12 y 17:30 hrs. Estos corresponden a la temperatura del agua de mar a la profundidad de linea madre (TLM) y la transparencia del agua a través de disco Secchi; este valor se utilizó para aproximar los valores del índice mensual de la concentración de alimento $(SI(Almto.)_m)$, de acuerdo a los criterios entregados por Brown & Roland (1987) (Tabla II y Tabla III). El fouling en las unidades de cultivo se evaluó mediante el criterio cualitativo propuesto por Brown y Hartwick (1988c) (Tabla IV).

TABLA II

Funciones obtenidas del gráfico SI Temp., propuesto por Roland & Brown (1990), empleadas en el cálculo de los índices de aptitud

RANGO TEMPERATURA	VALOR DEL ÍNDICE DE APTITUD DE TEMPERATURA (SI Temp)
8,0ºC - 14,5ºC	SI Temp= 0,1523*(Temp) - 1,2184
14,6ºC - 19,5ºC	SI Temp = 1,0
19,6ºC - 34,0ºC	SI Temp= 0,0764*(Temp) + 2,5970

TABLA III

Rangos de transparencia utilizados en la aproximación del indice de aptitud del alimento (SI Almto)

DISCO SECCHI	CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA "a"	RANGO DE INDICES DE APTITUD DEL ALIMENTO (SI Almto)	INDICES DE APTITUD DEL ALIMENTO (SI Almto)
0,0 a 3,0	> 8,0 (µg/ l)	0,7 a 1,0	0,85
3,0 a 5,0	2,0 a 8,0 (µg/ l)	0,3 a 0,7	0,50
5,0 a 8,0	-	-	0,30
> 8,0 m	2,0 (µg/ l)	0,0 a 0,3	0,15

Fuente: Modificado de Brown & Roland (1987).

TABLA IV

Criterios cualitativos en la estimación del indice de aptitud del fouling (SI Foul), presente en las unidades de cultivo

NIVEL	DESCRIPCIÓN	INDICE DE APTITUD DEL FOULING (SI Foul)
ALTO	OSTRAS NO VISIBLES AL INTERIOR DE LA LINTERNA	0,25
MODERADO	LINTERNA CUBIERTA AL MENOS 50%	0,50
LEVE	LINTERNA CUBIERTA MENOS DEL 50%	0,75
AUSENTE	FOULING RARO O AUSENTE	1,00

Fuente: Modificado de Brown & Hartwick (1988c)

4.5 Validación y sensibilización del modelo

La validación fue efectuada bajo idénticos supuestos a los establecidos en forma previa para el modelo, adicionalmente se consideró en el cálculo del indice vinculado a la concentración de clorofila "a" en la columna de agua, la información disponible para la zona (Anexo 5).

Para validar el modelo, respecto a la longitud estimada y ajustada media en el tiempo, se calculó el porcentaje de error mediante la desviación entre ambos valores, a través de la expresión:

$$E = \frac{(OB - AJ)}{AJ} * 100$$

Donde

OB : Longitud media observada

AJ : Longitud media ajustada

Con la finalidad de sensibilizar el modelo, respecto de las variables ambientales incluidas en el cálculo de los índices utilizados en la proyección de las longitudes medias, se empleó el procedimiento Paso a paso (hacia adelante) con un umbral crítico F=2 para la distribución F-de Fisher, (Neter, 1989; Canavos, 1988). Tal proceder permite determinar si dichos factores reducen significativamente la variabilidad total del ajuste. Para ello, la tasa de crecimiento mensual (G_{30}) se utilizó en un ajuste regresional múltiple respecto a los índices mensuales estimados (Tabla V).

$$G_{30} = \frac{(H_{m+1} - H_m)}{D}$$

Donde:

G_{30} : Tasa de crecimiento mensual

H_{m+1} : Longitud al final del mes m

H_m : Longitud al inicio del mes m

D : Número de días entre dos registros consecutivos de longitud

TABLA V

Valores mensuales del indice de aptitud del hábitat (HSI_m), durante el periodo de muestreo

MES	INDICE DE APTITUD DE LA TEMPERATURA $SI(Temp.)_m$	INDICE DE APTITUD DEL ALIMENTO $SI(Almto.)_m$	INDICE DE APTITUD DEL FOULING $SI(Foul)_m$	INDICE DE REQUERIMIENTOS DE CRECIMIENTO $LRSI(Cmto.)_m$	INDICE DE REQUERIMIENTOS DE SOBREVIVENCIA $LRSI(Sob.)_m$	INDICE DE APTITUD DEL HÁBITAT HSI_m
NOV	0,75	0,30	1,00	0,50	1,00	0,70
DIC	1,00	0,20	1,00	0,40	1,00	0,70
ENE	1,00	0,30	0,80	0,50	0,80	0,70
FEB	0,98	0,30	0,80	0,50	0,80	0,70
MAR	1,00	0,20	0,70	0,40	0,70	0,60
ABR	0,82	0,30	0,60	0,50	0,60	0,50
MAY	0,76	0,20	0,50	0,40	0,50	0,40

El supuesto de homocedasticidad de la varianza se verificó a través del test de Barttlet (Steel & Torrie, 1985), empleándose factores de peso en la estimación de los parámetros regresionales para corregir posibles desviaciones, la normalidad de los datos fue probada a través del test Chí^2 (Anexo 6).

La existencia de regresión se docimó mediante un test F mientras el porcentaje de la variabilidad total explicada por el modelo se evaluó a través del coeficiente de determinación (r^2) (Neter, 1989). A través del procedimiento descrito, fueron sometidos a prueba modelos que incorporaron índices de aptitud para temperatura ($SI(Temp.)_m$), cantidad de alimento ($SI(Almto.)_m$, fouling ($SI(Foul.)_m$), crecimiento $LRSI(Cmto.)_m$ y del hábitat HSI_m (Figura 4).

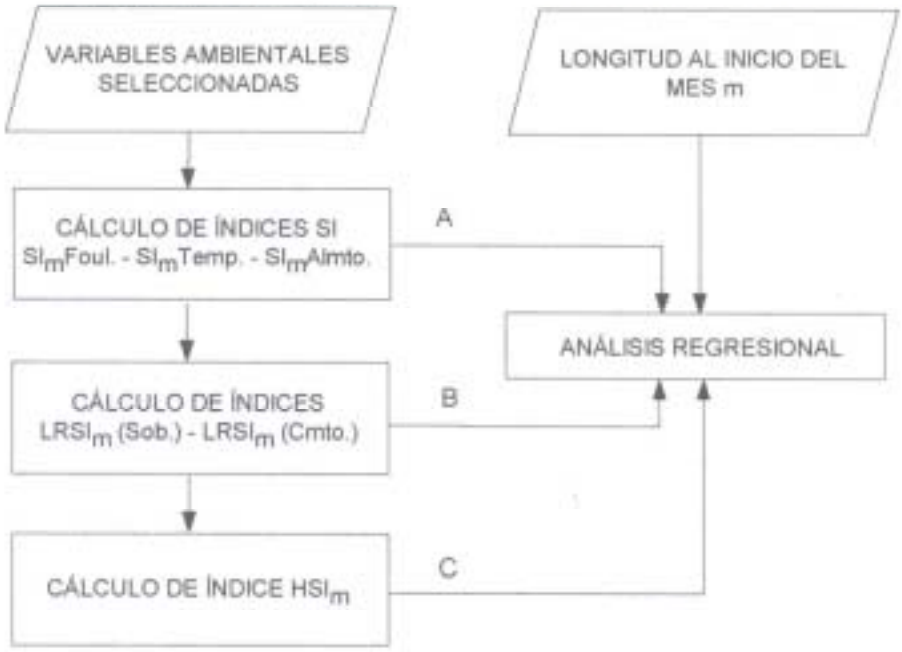


Fig. 4. Esquema de la metodología empleada para sensibilizar las variables ambientales incorporadas al modelo de crecimiento.

Respecto al cálculo de la fracción por calibre, se contrastó el porcentaje estimado por el modelo y el registrado en el historial productivo del centro durante idéntico período de cultivo. La información utilizada correspondió a los porcentajes de calibre small, obtenidos en el caso del origen "semilla", del desdoble de cuatro cohortes del año 1993, con 5,5 meses de crecimiento en las líneas de engorda. Para el origen "small", se empleó una cohorte del año 1994, desdoblada luego de 4 meses de crecimiento en las unidades de cultivo.

Se utilizaron como datos de entrada del modelo: el promedio mensual de la temperatura superficial del mar (calculada a partir de registros diarios durante el período de crecimiento), la información publicada de concentración de clorofila "a", considerada como "normal" para la zona (Avaria *et al.*, 1988), el nivel de fouling determinada en el presente trabajo y la longitud inicial media, idéntica a la calculada en el muestreo *in situ* de la semilla y la ostra small.

El rango de peso, para el calibre small, se calculó de acuerdo al intervalo que contiene al 95% de los datos en una distribución normal, es decir ±2 desviaciones estándar en torno a la longitud media de las ostras muestreadas al inicio del trabajo en terreno (octubre 1996).

TABLA VI

Rangos de longitud y peso para el calibre small, empleados en la validación de la variable de salida

PESO INF. (g)	PESO SUP. (g)
42,22	107,58

Una vez proyectada la longitud promedio, mediante la función longitud-peso estimada *in situ*, se calcularon los intervalos de predicción al 95% de confianza (Canavos,1992), para el valor de peso medio estimado mediante la expresión:

$$IC: \hat{Y}_p \pm t_{1-\alpha/2,n-2} * S(\hat{Y}_p)$$

En donde la Desviación estándar del peso medio estimado, corresponde a:

$$S(\hat{Y}_p) = \sqrt{S^2_{yx} * \left[1 + \frac{1}{2} + \frac{(X_p - \bar{X})^2}{\sum (X_i - \bar{X}^2)}\right]}$$

De acuerdo al intervalo de confianza estimado, se construyó el intervalo para la proporción de ostras del calibre small, verificando si éste contenía la fracción media por calibre registrada en el historial del centro.

5. RESULTADOS

5.1 Diagrama general del modelo

El problema se descompuso en dos módulos básicos: el uso de un modelo que permitiese estimar la variación de longitud media (directamente proporcional a la tasa de crecimiento), proyectando así la talla promedio mensual, y el cálculo de la fracción de pesos, pertenecientes a un rango predeterminado por calibre, asociados a la longitud media previamente estimada.

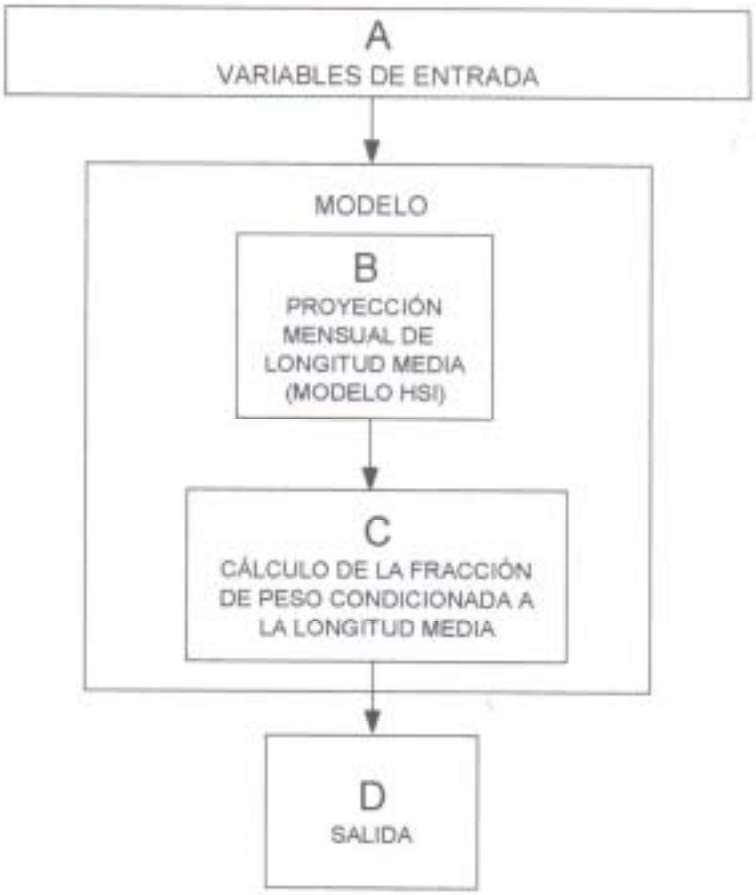


Fig. 5. Diagrama de bloque del modelo propuesto para la obtención del período con la mayor fracción comercializable.

5. RESULTADOS

5.1 Diagrama general del modelo

El problema se descompuso en dos módulos básicos: el uso de un modelo que permitiese estimar la variación de longitud media (directamente proporcional a la tasa de crecimiento), proyectando así la talla promedio mensual, y el cálculo de la fracción de pesos, pertenecientes a un rango predeterminado por calibre, asociados a la longitud media previamente estimada.

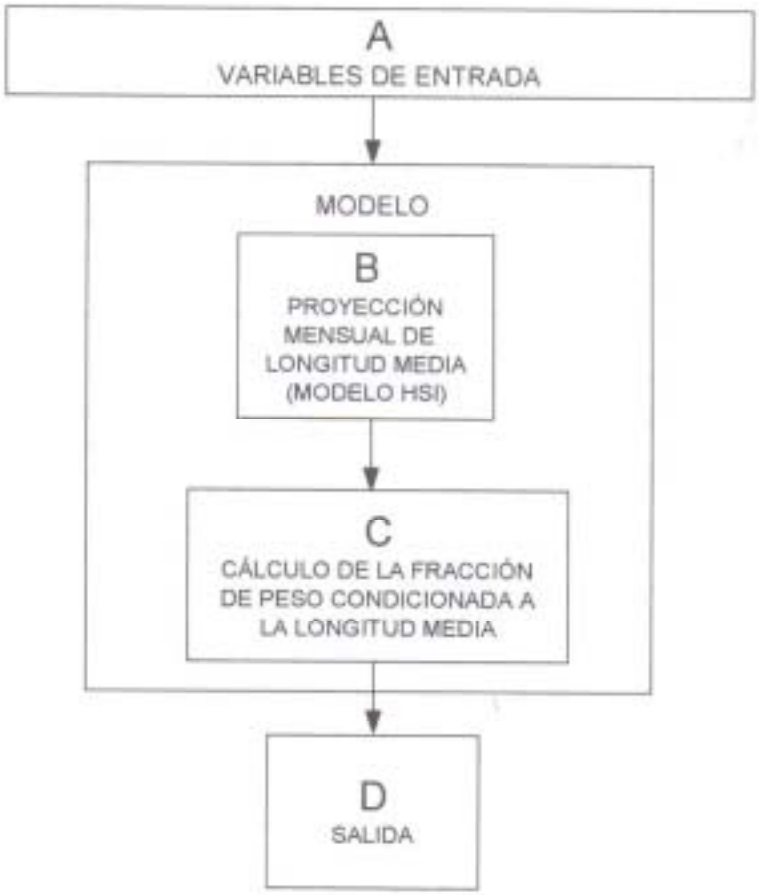


Fig. 5. Diagrama de bloque del modelo propuesto para la obtención del periodo con la mayor fracción comercializable.

5.1.1 Proyección mensual de la longitud media (modelo HSI)

De acuerdo a los antecedentes recopilados, los factores relativos al cambio de la longitud se pueden dividir en tres categorías:

A) Variables físicas y biológicas de tipo ambiental:
Físicas: Temperatura del agua de mar, Concentración de alimento en la columna de agua, Salinidad, Sedimentos y Corrientes.
Biológicas: Fouling.

B) Factor tecnológico (Cría): Considerados como parte de la operación de un centro de cultivo determinado: diseño de las unidades de cultivo, profundidad de trabajo, densidad de cultivo, agrupación de moluscos de acuerdo a su velocidad de crecimiento.

C) Calidad de la semilla (Factores de tipo genético)

La totalidad de los factores con influencia en el desarrollo en longitud de los organismos en un sistema de cultivo suspendido (Quayle, 1969; Brown & Hartwick, 1988c; Roland & Brown, 1990) son representados en la Figura 6.

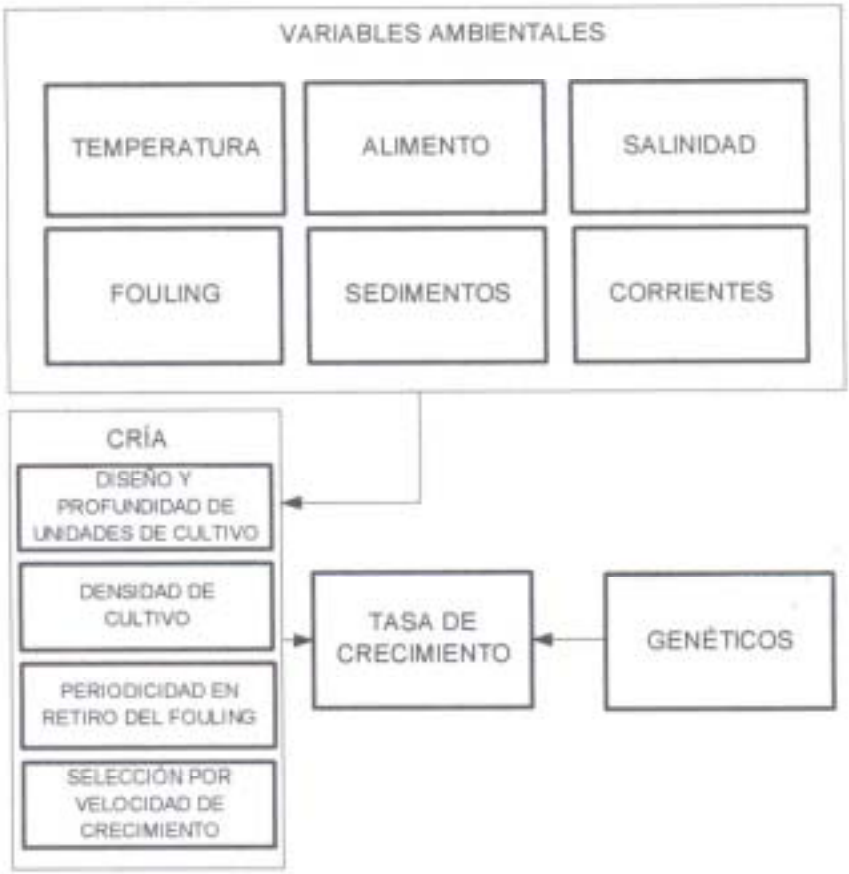


Fig. 6. Variables que modifican el crecimiento medio en el tiempo de ostras en cultivo suspendido.

Acorde a los antecedentes recopilados, previamente expuestos para la zona de cultivo, el diagrama del modelo aplicado es representado en la Figura 7.

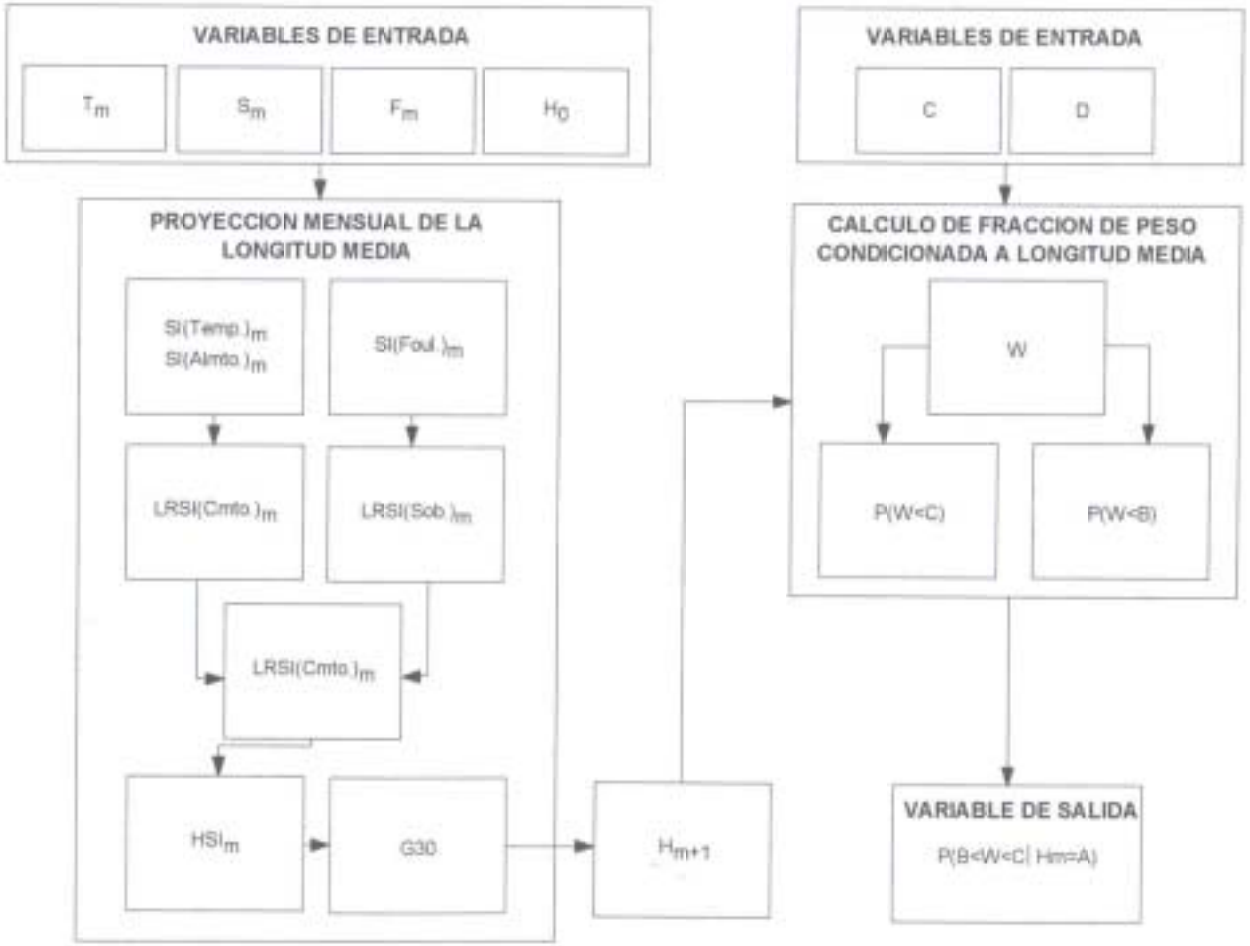


Fig. 7. Modelo aplicado para el calculo de la fracción por calibre en el tiempo.

5.2 Definición de variables

5.2.1 Variables de entrada

H_0 : Longitud promedio inicial (mm).

T_m : Temperatura promedio del agua de mar durante el mes "m" (ºC)

S_m : Transparencia promedio del agua de mar durante el mes "m"(m)

F_m : Cantidad de fouling presente sobre las unidades de cultivo

C : Límite inferior de peso del calibre (g)

D : Límite superior de peso del calibre (g)

5.2.2 Variables de estado

$SI(Temp.)_m$: Indice de aptitud de la temperatura del agua durante el mes "m".

$SI(Almto.)_m$: Indice de aptitud de la cantidad de alimento en el agua de mar durante el mes "m".

$SI(Foul.)_m$: Indice de aptitud del fouling presente en las unidades de cultivo.

$LRSI(Cmto.)_m$: Indice de aptitud para el crecimiento durante el mes "m".

$LRSI(Sob.)_m$: Indice de aptitud para la sobrevivencia y crecimiento durante el mes "m".

HSI_m : Indice de aptitud del hábitat durante el mes "m".

H_m : Longitud promedio al inicio del mes "m".

G_{30} : Tasa promedio de crecimiento mensual en longitud.

5.2.3 Variable de salida

$P(B<W<C \mid H_m=A)$: Fracción de ostras que, teniendo una talla media igual a A(mm), durante el mes "m", posee un peso entre B y C (g).

5.3 Algoritmo de cálculo

Tasa de crecimiento mensual (G_{30}):

$$\ln G_{30} = 3{,}672 - 0{,}846 * \ln(H_m) + 0{,}367 * \text{arcsen}\, HSI_m$$

Indice de aptitud del hábitat durante el mes "m" (HSI_m):

$$HSI_m = \left(LRSI\,(Cmto.)_m * LRSI\,(Sob.)_m\right)^{\frac{1}{2}}$$

Indice de aptitud para los requerimientos de la especie ($LRSI_m$):

$$LRSI_m = \left(SI(Temp_m) * SI(Almto_m)\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$LRSI(Sob)_m = SI(Foul)_m$$

Longitud al final del mes "m":

$$\ln H_{m+1} = -0{,}114 + 0{,}999 * \ln(H_m) + 0{,}116 * G_{30}$$

P(B<W<C I H_m=A): La fracción de ostras que presentan un peso entre B y C (g), dado que presenta una longitud media de A (mm).

$$P\left(\left(\frac{B-\mu}{82{,}19} < z < \frac{C-\mu}{82{,}19} \right) H_m = A \right) = \int_{-\infty}^{C} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp^{\left(-\frac{z^2}{2}\right)} dz - \int_{-\infty}^{B} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp^{\left(-\frac{z^2}{2}\right)}$$

En donde μ corresponde al peso medio, estimado a partir de la talla mensual promedio H_m:

$$u = -70{,}04 + 1{,}66 * H_m \qquad r = 0{,}82$$

Los datos de longitud media de las ostras muestreadas por calibre, y la longitud ajustada vía modelo HSI_m, son graficadas en la Figura 8 y Figura 9.

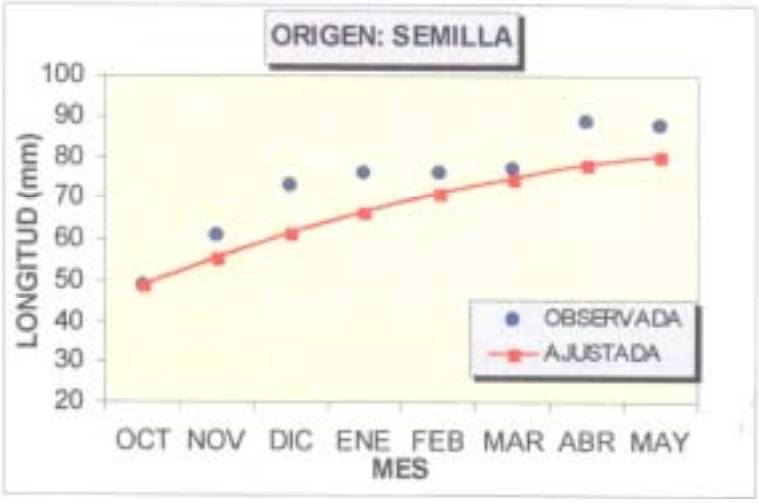


Fig. 8. Longitud media mensual de la semilla observada y ajustada por el modelo HSI_m.

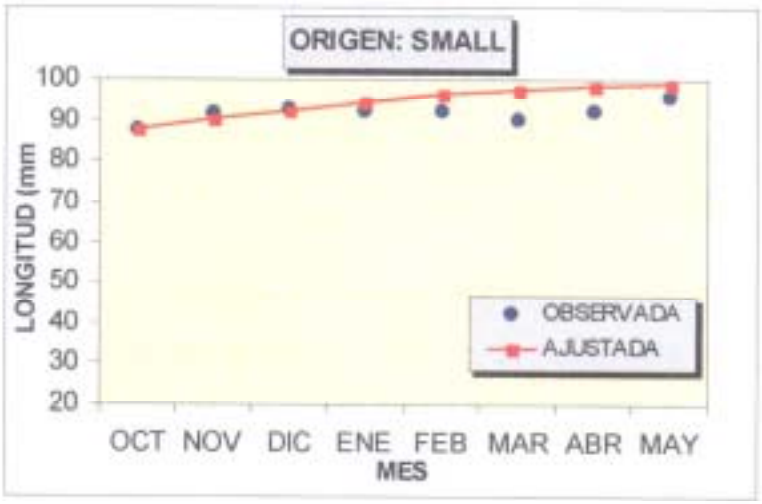


Fig. 9. Longitud media mensual de la ostra small observada y ajustada por el modelo HSI_m.

TABLA VII

Porcentaje de error absoluto entre la longitud mensual media observada y la estimada por el modelo

	SEMILLA			SMALL		
MES	LONG MEDIA OBSERVADA (mm)	LONG MEDIA ESTIMADA (mm)	%ERROR	LONG MEDIA OBSERVADA (mm)	LONG MEDIA ESTIMADA (mm)	%ERROR
OCT	48,5	48,5	-	87,0	87,0	-
NOV	60,5	55,5	8,2	91,5	90,3	1,3
DIC	72,3	61,3	15,2	92,5	92,6	0,1
ENE	75,6	66,4	12,1	92,3	94,6	2,5
FEB	76,3	71,1	6,9	91,7	96,4	5,2
MAR	78,2	74,7	4,4	90,7	97,6	7,6
ABR	88,5	78	11,9	92,3	98,5	6,8
MAY	88,3	80,5	8,9	95,8	98,9	3,3
		MEDIA	9,7		MEDIA	3,8

De acuerdo a la sensibilización efectuada, vía regresión múltiple Paso a paso (hacia adelante) para los datos de longitud de la semilla, no se determinó significancia en el aporte de los índices SI, los parámetros obtenidos se resumen en la Tabla VIII :

TABLA VIII

Parámetros regresionales del ajuste vía Paso a paso (hacia adelante) para la semilla de ostra

VARIABLE	PARÁMETRO (B)	ERROR ESTÁNDAR DE B	t(5)	POTENCIA DE LA DOCIMA (p)
INTERCEPTO (B_0)	0,9772	0,2015	4,849	0,0046
H_m (B_1)	-0,0113	0,0027	-4,05	0,0098
R^2	0,7129			

De acuerdo al análisis vía Paso a paso (hacia adelante), realizado con las ostras "small", se consideró significativo el aporte de los índices SI Temp y HSI_m (Anexo 6). El mayor coeficiente de determinación se obtuvo en el modelo que utilizó el índice SI Temp, los parámetros obtenidos son presentados en la Tabla IX y Tabla X.

TABLA IX

Parámetros regresionales del ajuste vía Paso a paso (hacia adelante), para la ostra small, utilizando el índice SI Temp

VARIABLE	PARÁMETRO (B)	ERROR ESTÁNDAR DE B	t(4)	POTENCIA DE LA DOCIMA (p)
INTERCEPTO (B_0)	1,5224	0,6682	2,278	0,009
H_m (B_1)	-0,0116	0,008	-1,45	0,2214
SI Temp (B_2)	-0,4699	0,1323	-3,55	0,0237
R^2	0,8317			

TABLA X

Parámetros regresionales del ajuste vía Paso a paso (hacia adelante), para la ostra small, considerando el índice HSI_m

VARIABLE	PARÁMETRO (B)	ERROR ESTÁNDAR DE B	t(4)	POTENCIA DE LA DOCIMA (p)
INTERCEPTO (B_0)	3,1861	0,9389	3,394	0,0274
H_m (B_1)	-0,0325	0,0099	-3,25	0,0313
HSI_m (B_2)	-0,3001	0,1629	-1,84	0,1392
R^2	0,6217			

El gráfico de dispersión para la relación lineal entre longitud y peso se aprecia en la Figura 10. La variable de salida del modelo, en este caso la fracción de calibre small (expresada como porcentaje), es exhibida en la Tabla XI y Tabla XII, para los orígenes semilla y small respectivamente. Los límites de los intervalos de confianza para la fracción por calibre, y los valores registrados en el historial del sitio son representados en la Tabla XIII.

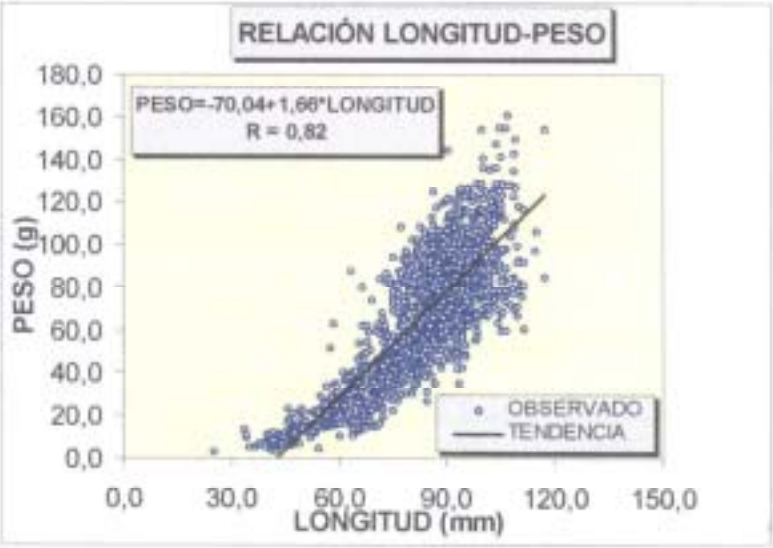


Fig. 10. Relación longitud-peso, obtenida a partir del muestreo *in situ*.

TABLA XI

Fracción mensual (%) de calibre small, estimada a partir del origen semilla

MES	LONGITUD MEDIA (H_m) (mm)	TASA DE CRECIMIENTO (G_{30})	LONGITUD MEDIA (H_{m+1})	FRACCIÓN (%)
NOV	45,00	1,94	50,11	24,30
DIC	58,16	1,63	62,41	27,40
ENE	67,77	1,43	71,06	29,40
FEB	74,78	1,26	76,93	30,30
MAR	79,90	1,09	80,52	30,60
ABR	83,68	1,05	83,92	30,80
MAY	86,40	1,02	86,37	30,90

TABLA XII

Fracción mensual (%) de calibre small, estimada a partir de origen small

MES	LONGITUD MEDIA (H_m)	TASA DE CRECIMIENTO (G_{30})	LONGITUD MEDIA (H_{m+1}) (mm)	FRACCIÓN (%)
NOV	91,30	1,94	93,59	30,70
DIC	93,59	1,63	96,06	30,50
ENE	96,05	1,43	98,00	30,20
FEB	98,00	1,26	99,49	30,00
MAR	99,49	1,09	99,20	30,00

TABLA XIII

Fracción de ostra "small" (%), a partir cohortes semilla y small, de acuerdo a la estimación realizada por el modelo para datos del historial y la fracción registrada.

ORIGEN	LONGITUD MEDIA PROYECTADA (mm)	PESO MEDIO ESTIMADO (g)	LIMITE INF. ESTIMADO PESO (g)	LIMITE SUP. ESTIMADO PESO (g)	LIMITE INF. ESTIMADO FRACCIÓN CALIBRE (%)	LIMITE SUP.ESTIMADO FRACCIÓN CALIBRE (%)	FRACCIÓN HISTORIAL (%)
SEMILLA	75,5	55,28	19,39	88,51	24,9	30,5	38,4
SMALL	99,9	95,8	59,6	129,7	25,2	30,4	55,8

6. DISCUSIÓN

Acorde al objetivo de aplicar un modelo que permitiese estimar la fracción de un determinado calibre en el tiempo, se recopilaron antecedentes que indican la influencia de factores ambientales en la tasa de crecimiento media en longitud. Con motivo de lo anterior, para la evaluación de dichas variables se utilizó el modelo propuesto por Roland & Brown (1990), previa consideración de aquellos factores identificados como incidentes en el desarrollo de las ostras en el sitio de aplicación.

Con respecto al contraste de la longitud mensual promedio, obtenida mediante el modelo y la recopilación de datos en terreno, se obtuvo un error absoluto medio para la talla final proyectada de 9,7% (7,8 mm) y 3,8% (3,6 mm), para el origen semilla y small respectivamente (TABLA VII). Dichos valores son comparables a los reportados por Roland & Brown (1990), quienes señalan un porcentaje medio de error del 8,6%, para tallas similares a las consideradas como semilla en el presente trabajo, pero con un lapso mayor de muestreo (18 meses).

De la sensibilización, realizada mediante análisis "paso a paso" (hacia adelante) y el esquema de muestreo, que permiten determinar una función para la tasa de crecimiento de ostras clasificadas inicialmente como "semilla" y "small" durante similar período del año (Noviembre-Mayo), se desprende que el aporte de un índice que refleje la aptitud de la zona a la reducción de la variabilidad total no es significativo para ambos grupos de talla. Esto puede atribuirse a las características del muestreo, a las variables utilizadas en el cálculo de los índices o a que éstos no reflejan adecuadamente la influencia de los factores seleccionados en el crecimiento de la totalidad de las ostras.

Respecto a los resultados obtenidos, sólo en el caso de las ostras clasificadas como small se dedujo un aporte significativo de factores ambientales en la explicación de la variabilidad de la tasa de crecimiento. Así, el modelo en que se obtuvo un mayor coeficiente de determinación (r^2) es aquel que incorpora el índice temperatura (Tabla IX).

Lo anterior puede explicarse por la influencia de tal factor en el desarrollo gonádico de la especie (Muranaka & Lannan, 1984). De acuerdo a ello, Jones & Iwama (1991) reportan en un policultivo de salmón y ostra japonesa la disminución de la tasa de crecimiento del molusco asociada al alza de temperatura y a la producción de gametos.

La aseveración anterior, se refleja en la obtención de una función para la tasa de crecimiento que indica su disminución asociada al alza de temperatura (Tabla IX, Tabla X). La no significancia de tal variable en ostras de menor tamaño en el presente estudio se explicaría por diferencias metabólicas detectadas por el esquema de muestreo; si bien la ostra japonesa alcanza su madurez sexual entre los 8 y 11 meses de edad (40 a 50 mm de longitud) (Dinamani, 1987; Brown & Hartwick, 1988c), el porcentaje de energía destinada por el organismo a reproducción aumenta del 17,7% en ostras de un año a un 78,4% en animales de dos años Heral (1989).

Los modelos citados en bibliografía presentan una gran variación de los factores oceanográficos, exhibiendo índices mensuales entre 0,0 y 0,9 (Roland & Brown, 1990), frente al rango 0,4-0,7 en el presente trabajo (Tabla V). Esto hecho incide en la obtención de tasas de crecimiento en longitud, generalmente crecientes, frente a incrementos de temperatura (Canadá en el estado de Columbia

Británica e Inglaterra) (Askew, 1972; Brown & Hartwick, 1988c; Roland & Brown, 1990).

De acuerdo a los niveles promedio de Clorofila "a" en aguas de la zona (Avaria *et al.*, 1988) (Anexo 5), el sitio presenta concentraciones "medias" de alimento para el desarrollo de la ostra japonesa, considerando el alza de temperatura durante los meses estivales, se exhiben condiciones similares a zonas con reducción en la tasa de crecimiento para la especie durante las condiciones de alimento y temperatura precitadas (Malouf & Breese, 1977; Brown & Hartwick, 1988a; Jones & Iwama, 1991).

El registro de tasas de crecimiento mediante la recopilación secuencial de información, considerando todo el período productivo, permitiría abarcar las variaciones ambientales de la concesión, resumiendo la totalidad del status metabólico de la especie (Brown & Hartwick, 1988c). El citado accionar admitiría evaluar de manera completa el modelo respecto a la incorporación de un índice ambiental.

El juicio anterior, se refleja en el esquema de trabajo empleado por los autores precitados. En el ajuste de índices HSI respecto a la tasa de crecimiento, concluyen correlaciones significativas; para ello emplean el promedio de datos recopilados durante 14 meses de dos clases anuales (21,6 mm y 45,2 mm) en 10 sitios de cultivo en las costas de Columbia Británica (Canadá). Del mismo modo, Roland & Brown (1990) desarrollan un modelo de producción con un buen porcentaje de variabilidad total explicada (r^2=0,58), para ello utilizan datos obtenidos desde siete sitios de cultivo en Columbia Británica durante 14 meses de muestreo a partir de una talla de 21,6 mm.

La disminución en el valor del coeficiente de determinación, en el análisis paso a paso al incorporar el índice HSI_m, indica que su uso no contribuye a explicar de mejor modo las variaciones de la tasa de crecimiento, esto puede atribuirse a una inadecuada elección de las variables incorporadas en su cálculo o a dificultades en su registro.

Así, respecto de la selección de los factores incluídos en el presente análisis, éstos se pueden agrupar en variables de índole físico y biológico. Para Malouf & Breese (1977), Roland & Brown (1990), Shpigel & Blaylock (1991) y Jones & Iwama (1991); la temperatura y concentración de alimento, incluidas en el primer grupo, influencian en mayor grado la tasa de crecimiento de la ostra japonesa.

La salinidad, otra variable física relevante en el desarrollo de moluscos filtradores, modifica el crecimiento de la ostra japonesa exclusivamente a bajas concentraciones (<20‰) (Heral, 1989; Roland & Brown, 1990). Tal característica no corresponde a las aguas superficiales de la zona central del país que presentan concentraciones superficiales medias de aproximadamente 34‰ con mínimos de 30‰ (Avaria y Muñoz, 1991; Prado y Sievers, 1987; Silva y Sievers, 1991). Las alteraciones locales de salinidad no son relevantes debido a la ausencia de efluentes en la zona de cultivo, del mismo modo no se registraron precipitaciones que pudiesen alterar la salinidad superficial durante el período de muestreo.

Respecto a la velocidad de la corriente que incide sobre las unidades de cultivo, variable física posible de incluir al análisis, Spencer (1988) reporta, en ambiente controlado, que en interacción con la concentración de alimento y la temperatura, modifica la tasa de filtración alterando la tasa de crecimiento. Para Brown & Hartwick (1988c) no existe suficiente información para cuantificarla pero

le atribuyen a su influencia el cálculo de similares tasas de crecimiento en tres sitios de cultivo con distintas concentraciones de fitoplancton. Roland & Brown (1990), en el desarrollo de un modelo de producción, no la consideran como una variable de relevancia en el desarrollo de los moluscos.

De acuerdo al método utilizado para medir la abundancia de alimento en la columna de agua, ésta puede ser expresada básicamente de dos maneras: como concentración de fitoplancton o concentración de materia orgánica en suspensión (POM). Según lo señalado por Brown & Roland (1987) y Brown & Hartwick (1988c), la primera variable, expresada en términos de concentración de Clorofila "a" en el medio, presenta la mejor correlación con el crecimiento en longitud de la ostra japonesa. Dicho argumento coincide con Sarà y Mazzola (1997), quienes reportan que esta especie obtiene sus mayores tasas de crecimiento en lugares con altas concentraciones de detritus sólo cuando en dichos sitios se alcanza la mayor concentración de Clorofila "a".

Cabe hacer notar que el disco Secchi, utilizado por empresas productoras especialmente por su bajo costo y fácil manejo en la aproximación cualitativa a la concentración de alimento en las aguas, tiene como principal desventaja el hecho que la transparencia es influenciada por factores adicionales a la biomasa fitoplanctónica (Lorenzen, 1980; Megard *et al.* 1980; Edmondson, 1980). Esto desaconseja su uso especialmente en zonas que presentan gran cantidad de sedimentos en suspensión debido a su baja profundidad o a la presencia de efluentes con arrastre de sedimento (Askew, 1972; Brown & Roland, 1987). Tales caracteristicas no se presentan en el área en que se realizó el estudio ya que esta no presenta efluentes mientras la profundidad del fondo en el lugar de ubicación de las líneas de cultivo, es de aproximadamente 20 m.

Al contrastar los valores aproximados de Clorofila "a" propuestos por Brown & Roland (1987) para rangos de transparencia del agua de mar con los obtenidos mediante estudios de espectrofotometría y considerados como "normales" por Avaria *et al.* (1988) en la zona central (Anexo 5), es posible apreciar la similitud de sus magnitudes, sin embargo, el uso de una aproximación al valor real, en base a rangos de transparencia, le resta ajuste al modelo.

Respecto a factores de índole biológica, potencialmente incidentes en la tasa de crecimiento, en el presente trabajo se seleccionó la presencia de fouling, tal factor, es citado frecuentemente como una variable que modifica la tasa de crecimiento en bivalvos e incrementa los costos operativos debido a la necesaria remoción e inversión en sistemas de boyantez y anclaje (Claereboudt *et al.*, 1994). Debido a su naturaleza, y a que su efecto está en relación porcentajes de cubrimiento, es difícilmente cuantificable, por lo cual su medición debe basarse en criterios cualitativos, reduciendo el coeficiente de determinación del modelo (Brown & Hartwick, 1988c).

Es posible mencionar otros factores, difícilmente monitoreables por una empresa, que mejorarían el desempeño, entre ellos destacan la selectividad de la ostra en la ingestión de microalgas y partículas alimenticias (Sornin *et. al.* 1988; Brown & Hartwick, 1988c; Heral, 1989; Sarà & Mazzola, 1997). Adicionalmente Brown & Hartwick (1988c) señalan al genotipo como limitante en la aplicación generalizada del modelo HSI.

Los elementos previamente discutidos contribuyen al error de la estimación de la variable de salida. Tal diferencia se aprecia especialmente en la discrepancia entre al proporción de ostras small registrada en el historial del centro de cultivo y el intervalo de confianza construido para la validación. Si bien el tipo de

muestreo utilizado (aleatorio simple) fue empleado acorde a las restricciones en la disponibilidad de ostras en el sitio de cultivo, el uso de un muestreo de tipo estratificado, respecto al calibre, permitiría mejorar el uso de la normal bivariada al disminuir problemas de sesgo (Sokal y Rohlf, 1979; Sparre & Venema, 1995).

A modo de síntesis, cabe mencionar que el modelo muestra un bajo porcentaje de error en la estimación de la longitud media de la cohorte, sin embargo, a través de la sensibilización efectuada, se aprecia que la única variable que explica un porcentaje significativo de la variación en la tasa de crecimiento es la temperatura. Tal afirmación se apoya en la potencia de la dócima (p) para el índice HSI_m y el índice SI Temp (Tabla IX y Tabla X).

Pese al juicio anterior, y en base a los antecedentes recopilados, se debe señalar que tal resultado se explica probablemente por la baja precisión del método aplicado en la estimación del resto de los factores seleccionados, tal afirmación es especialmente válida respecto a la concentración de alimento en la columna de agua.

El empleo de un modelo similar en terreno, implica el monitoreo periódico tanto de factores de tipo ambiental como de las longitudes medias de ingreso a las unidades de cultivo, dicha alternativa requiere el uso de sistemas de información eficientes, tanto por el volúmen de producción involucrado, como por la operación del centro de cultivo. Ésta última genera mezclas constantes de ostras de distintas cohortes por labores de desdoble y cosecha e ingresos periódicos de semilla.

La alternativa planteada debe ser evaluada respecto a la situación actual, que involucra el muestreo periódico de las ostras cultivadas desde las unidades de cultivo.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del presente trabajo, se concluye que los principales factores involucrados en el modelo son de naturaleza física y biológica. En la zona de aplicación, éstos corresponden a temperatura, concentración de alimento y concentración de fouling sobre las unidades de cultivo. Respecto a las limitantes, éstas corresponden a factores de índole técnico y características genéticas del stock cultivado.

Del uso de un índice HSI en un modelo de crecimiento aplicado a la realidad productiva de una empresa regional, que precise el cambio en la tasa de crecimiento media en el tiempo, se obtiene un bajo porcentaje de error, similar al obtenido de su aplicación en trabajos efectuados en otras latitudes.

A partir de la sensibilización efectuada por índice, se determina que sólo aquellos que incluyen la temperatura del agua de mar explican un porcentaje significativo de las variaciones en la tasa mensual de crecimiento en las ostras de mayor calibre. Lo anterior se explicaría por la influencia de dicho factor en variaciones de la velocidad de crecimiento, asociadas al estado de madurez sexual y a las diferencias metabólicas entre los dos grupos de moluscos utilizados, registrados debido a la duración del muestreo durante la aplicación *in situ*.

La imprecisión asociada, tanto al registro de la concentración de alimento en la columna de agua mediante el uso del Disco Secchi, como a la estimación cualitativa de la presencia de fouling sobre las unidades de cultivo debido a su

naturaleza biológica, disminuye la capacidad predictiva del modelo de crecimiento.

Los supuestos requeridos en el uso de la distribución normal bivariada, en el cálculo de la probabilidad condicional de un rango de peso, obstaculiza el uso del modelo con mayores tamaños debido a que la función longitud-peso tiende a adoptar la forma de una función de potencia.

En futuras aproximaciones al problema, se recomienda la utilización de muestreos durante mayores períodos, éstos permitirían evaluar la posible variación estacional tanto en el crecimiento de los animales como en su relación longitud-peso. Del mismo modo, dicho trabajo debiera determinar la posible existencia de distintas tasas de crecimiento al interior de una misma zona de cultivo.

Si bien el modelo fue aplicado a la realidad de una empresa con base en la región de Valparaíso, este admite su uso en otras zonas de cultivo, así como el empleo de medios técnicos que permitan disminuir el error en la estimación de las variables seleccionadas. El monitoreo periódico de tales factores debe complementarse con el manejo de sistemas de información eficientes, tal alternativa debe evaluarse respecto a la solución actualmente utilizada del centro de cultivo.

El empleo de modelos basados en el cálculo de índices de aptitud de crecimiento permite su uso potencial con otras especies de cultivo.

8. BIBLIOGRAFÍA

ASKEW, C. 1972. The growth of oyster, *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*, in Emsworth Harbour. Aquaculture, 1:237-259.

AVARIA, S. 1971. Variaciones mensuales del fitoplancton de la bahía de Valparaíso, entre Julio de 1963 y Julio de 1966. Rev. Biol. Mar., 23(1):31-75.

ALVIAL, A. y S. AVARIA. 1982. Proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso. II. Dinámica de las comunidades. Rev. Biol. Mar., 18(1):1-56.

AVARIA, S. , P. MUÑOZ y M. BRAUN. 1988. El fitoplancton frente a península los Molles, Valparaíso, Chile (32º45`S) y su relación con "El Niño" 1982-1983. Rev. Biol. Mar., 24(1):1-35.

AVARIA, S. y P. MUÑOZ. 1991. Caracterización del fitoplancton de un área de desove de merluza frente a la costa central de Chile. Rev. Biol. Mar., 26(1):161-190.

ARRATIA, M. y R. RADEBACH. 1996. Programa de manejo y secuencia productiva para Ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*) en el cultivo de Bahía El Clarón, Horcón, V Región. Informe de Práctica II. Escuela de Ciencias del Mar. Universidad Católica de Valparaíso. 44 pp.

BROWN, J. & B. HARTWICK. 1988a. Influences of temperature, salinity and available food upon suspended culture of the pacific oyster, *Crassostrea gigas* I. Absolute an allometric Growth. Aquaculture, 70:231-251.

BROWN, J. & B. HARTWICK. 1988b. Influences of temperature, salinity and available food upon suspended culture of the pacific oyster, *Crassostrea gigas* II. Condition Index and Survival. Aquaculture, 70:253-267.

BROWN, J. & B. HARTWICK. 1988c. A hábitat suitability index model for suspended tray culture of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* Thunberg. Aquaculture and Fisheries Management, 19: 107-124.

BROWN, J. & W. ROLAND. 1987. Siting culture operations for the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Fisheries Development Report, British Columbia Ministry of Agriculture and Fisheries, Victoria, B. C., Canadá, 34: 49 pp.

CARLSON, R. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr., 22:361-369.

CANAVOS, G. 1988. Probabilidad y estadística, Aplicaciones y métodos. Mc Graw -Hill, Mexico. 651 pp.

CLAEREBOUDT, M, D. BUREAU, J. CÔTÉ & J. HIMMELMAN. 1994. Fouling development and its effect on the growth of juvenile giant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. Aquaculture, 121:327-342.

DE SANTIAGO, M. 1979. Modelos matemáticos de procesos industriales. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Plata:13-18.

DINAMANI, P. 1987. Gametogenic Patterns in Populations of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, in Northland, New Zealand. Aquaculture, 64:65-76.

EDMONDSON, W. 1980. Secchi disk and chlorophyll. Limnol. Oceanogr., 25(2):378-379.

HAUER, R. 1988. Experiencia de producción de ostras individuales (*Crassostrea gigas*) en laboratorio. *in*: "Producción de larvas y juveniles de especies marinas". Uribe, E. (Ed.), Universidad del Norte, Coquimbo:115-118.

HERAL, M. 1989. La ostricultura francesa tradicional. *in*: "Aquacultura, volúmen I", Barnabe, G. (Ed.):295-331.

HICKMAN, R. 1992. Mussel cultivation. *in*: "The mussels mytilus: ecology, physiology, genetics and culture", Gosling, E. (Ed), Elsevier, Netherlands: 465-510.

HOYL, A. y E. URIBE. 1988. Cultivo de la ostra del Pacífico, *Crassostrea gigas*, en Chile (1977-1989), *in*: "Cultivo de moluscos en América Latina", Hernández, A. (Ed.):265-272.

HOLLIDAY, J., G. ALLAN & J. NELL. 1992. Effects of stocking density on juvenile Sydey rock oyster, *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley), in cylinders. Aquaculture, 103:13-26.

IVERSEN, E. 1982. Cultivos Marinos: peces, moluscos, crustáceos, Acribia, España. 415 pp.

IFOP. 1990. Investigación en ostra chilena (*Tiostrea chilensis*, Philippi, 1845). 106 pp.

IKENOUE, H. y T. KAFUKU. 1992. Modern methods of Aquaculture in Japan. Elsevier, Tokio. 272 pp.

JONES, T & G. IWAMA. 1991. Polyculture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), with chinook salmon, *Onchorynchus tshawytscha*. Aquaculture, 92: 313-322.

LORENZEN, M. 1980. Use of chlorophyll-Secchi disk relationships. Limnol. Oceanogr., 25(2):371-372.

LANDAU, M. 1992. Introduction to Aquaculture. John Wiley & Sons, Inc., New York. 440 pp.

MEGARD, R., J. SETTLES, H. BOYER & W. COMBS. 1977. Light, Secchi disks, and trophic states. Limnol. Oceanogr., 25(2):373-377.

MALOUF, R. & W. BREESE. 1977. Seasonal changes in the effects of temperature and water flow rate on the growth of juvenile Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg). Aquaculture, 12:1-13.

MURANAKA, M. & J. LANNAN. 1984. Broodstock Management of *Crassostrea gigas*: Environmental Influences on Broodstock Conditioning. Aquaculture, 39:217-218.

NEWKIRK, 1980. Review of genetics and the potential for selective breeding of commercially bivalves. Aquaculture, 19:209-228.

NELL, J. & HOLLIDAY, J. 1988. Effects of salinity on the growth and survival of Sydney rock oyster (*Saccostrea commercialis*) and Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) larvae and spat. Aquaculture, 68:39-44.

NETER, J., W. WASSERMAN & M. KUTNER. 1989. Applied Linear Regression Models. Irwin Inc., U.S.A.. 667 pp.

PRADO, R. Y H. SIEVERS. 1987. Distribución de características físicas y químicas frente a península Los Molles, Chile (32º45`S) y su relación con el fenómeno "El Niño" 1982/83. Rev. Biol. Mar., 23(1):31-75.

QUAYLE, D. 1969. Pacific oyster culture in British Columbia. Otawa, Canada. Fisheries Research Board of Canada. Bulletin 169.193 pp.

ROLAND, W. & J. BROWN. 1990. Production model for suspended culture of the pacific oyster, *Crassostrea gigas*. Aquaculture, 87:35-52.

SPENCER, B. 1988. Growth and Filtration of Juvenile Oysters in Experimental Outdoor Pumped Upwelling Systems. Aquaculture, 75:139-158.

SPENCER, B. 1990. Cultivation of Pacific oysters. Lowestoft (England), Laboratory Leaflet 63. 47 pp.

SHPIGEL, M. & R. BLAYLOCK. 1991. The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, as a biological filter for marine fish aquaculture pond. Aquaculture, 92:187-197.

SORNIN, J., J. DESLOUS-PAOLI AND O. HESSE. 1988. Experimental Study of the Filtration of Clays by the Oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg):Adjustment of Particle Size for Best Retention. Aquaculture, 69:355-366.

SARÀ, G. & A. MAZZOLA. 1997. Effects of trophic and environmental conditions on the growth of *Crassostrea gigas* in culture. Aquaculture, 153:81-91.

STRICKLAND & PARSONS. 1982. A practical handbook of seawater analysis. 2nd Edition. Fisheries Research Board of Canada. Bulletin, 167:310 pp.

SOKAL, R. y J. ROHLF. 1979. Biometría. Ediciones H. Blume, Madrid. 832 pp.

SILVA, N. y H. SIEVERS. 1991. Condiciones oceanográficas Los Vilos - Valparaíso. Rev. Biol. Mar., 26(1):119

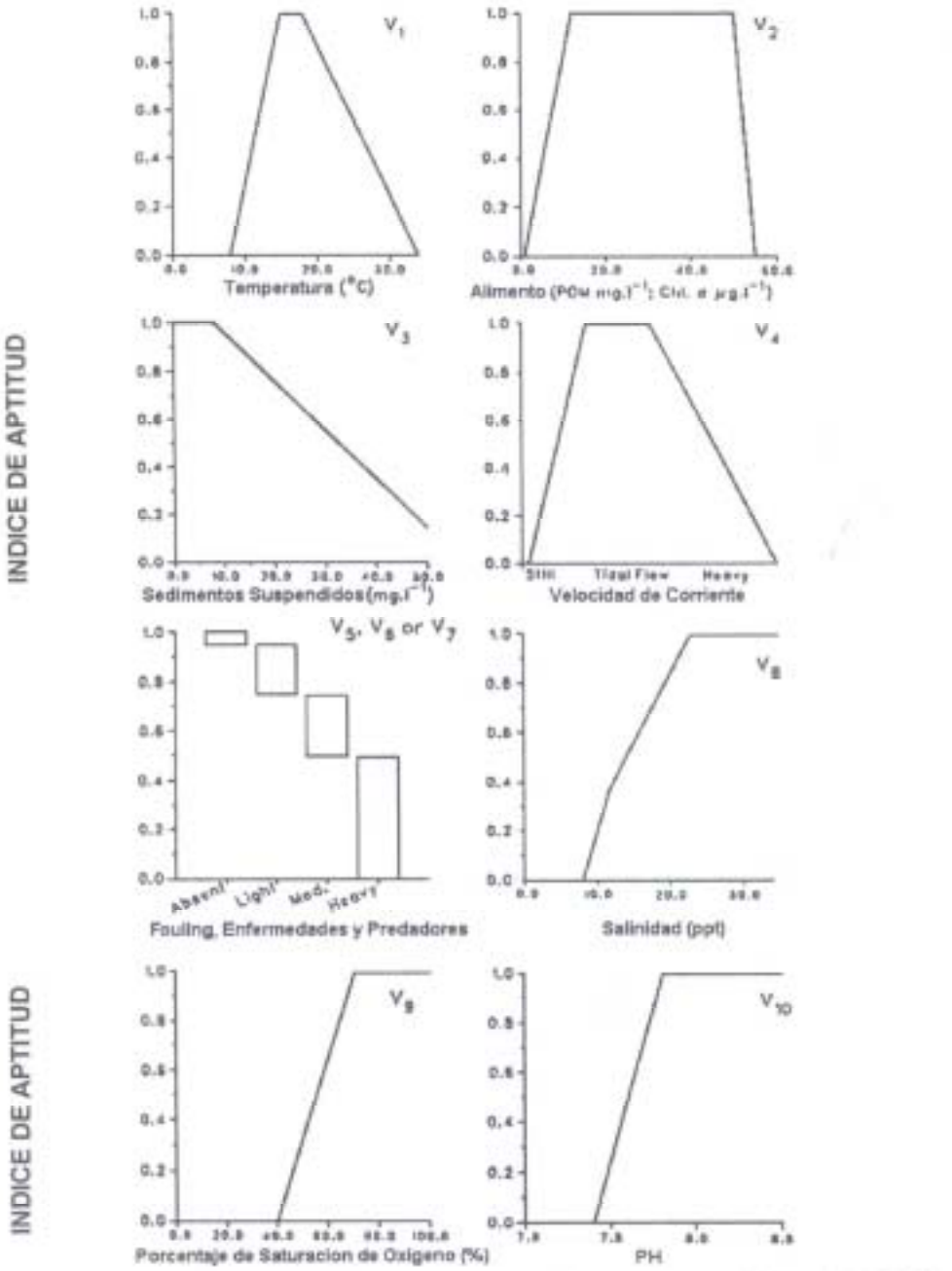
SPARRE, P. y S. VENEMA. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Editorial Universitaria, Santiago (Chile). 420 pp.

TORO, J., P. AGUILA, A. VERGARA. 1996. Spatial variation in response to selection for live weight and shell lenght from data on individually tagged chilean native oysters (*Ostrea chilensis*, Phillipi, 1845). Aquaculture, 146:27-36.

TAYLOR, T., P. SOUTHGATE, R. ROSE. 1997. Fouling animals and their effects on the growth of silver-lip oysters, *Pinctada maxima*, Jameson, in suspended culture. Aquaculture, 153:31-40.

ANEXOS

ANEXO 1



Fuente:Brown & Hartwick (1988)

Fig. 10. Indices de aptitud de la ostra japonesa .

TABLA XIV

Ecuaciones por índice y condición, para la evaluación de aptitud de distrito, en cultivo de ostra japonesa (*Crassostrea gigas*)

MODELO	ECUACIÓN	CONDICIÓN
LRSI(Cmto.)	$(V_1*V_2)^{0,5}$	
LRSI(Sob.)	$(V_3*V_4*V_5)^{0,33}$	Si V_3 y V_4 <0,7
	$(Va*V_5)^{0,5}$	
	V_5	Si Va (V_3 o Va)<0,7
	La menor de V6, V7 o la menor ecuación	Si V V_3 y V_4 ≥0,7
LRSI(Qca. Agua)	$(V_8*V_9*V_{10})^{0,33}$	Si V_9 y V_{10} <0,7
	$(V_b*V_8)^{0,5}$	Si V_b (V_9 o V_{10})<0,7
	V_8	Si V_9 y V_{10} ≥0,7
HSI	$(LRSI(Cmto.)*LRSI(Sob.))^{0,5}$	Si LRSI(Qca.Agua)≥0,7
	$((LRSI(Cmto.)*LRSI(Qca.Agua))^{0,5}*LRSI(Sob.))^{0,5}$	Si LRSI(Qca. Agua)<0,7

Fuente: Brown & Hartwick (1988)

ANEXO 2

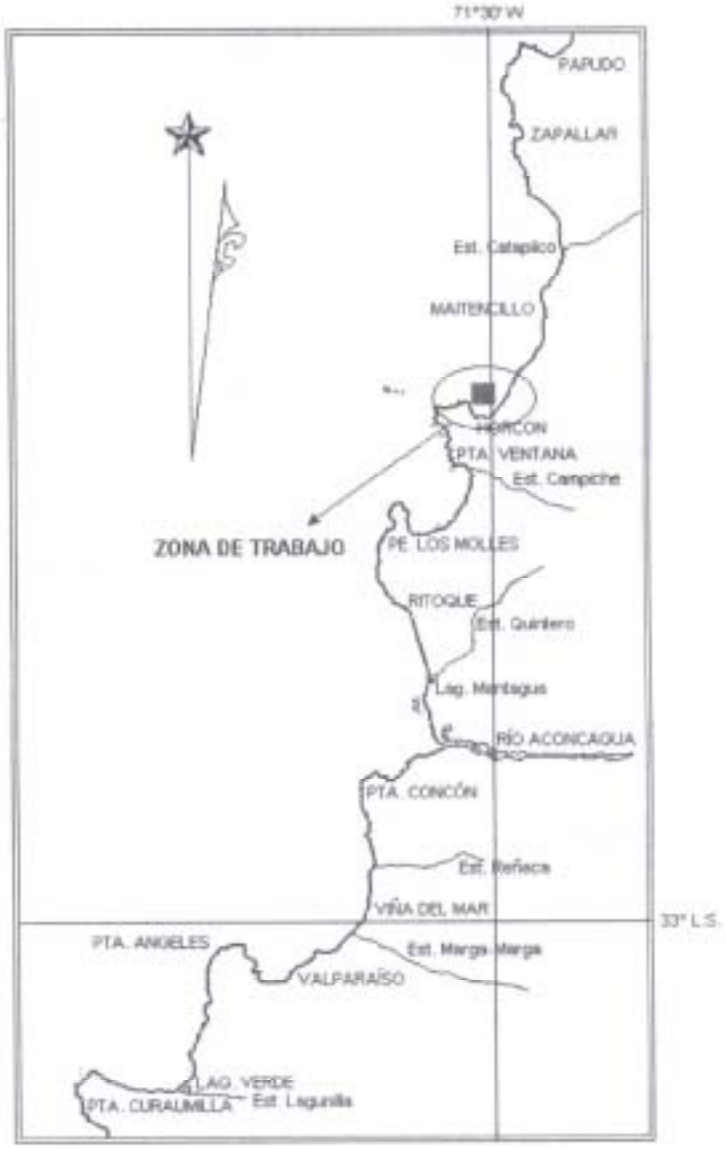


Fig.11. Aspecto general de la zona en que realizó el presente trabajo.

ANEXO 3

Medios técnicos de medición de las variables con influencia en el crecimiento de ostra japonesa cultivada en sistema suspendido:

Salinidad: Puede ser registrada mediante un hidrómetro o un electrómetro.

Temperatura: Su registro se puede efectuar a través de un termómetro de mercurio o de tipo electrónico.

Alimento disponible: Puede expresarse como concentración de Clorofila "a" en la columna de agua (productividad primaria) o concentración de material orgánico particulado (POM).

El modo más simple de aproximación a la concentración de Clorofila "a", es mediante el registro de la transparencia del agua, la cual puede ser correlacionada con mediciones de productividad *in situ*, o a través del uso de valores de índices de aptitud publicados para rangos de transparencia (Brown & Roland, 1987). Para efectuar una medición precisa de tal variable es posible utilizar espectrofotometría (Strickland & Parsons, 1982), fluorometría o sensores remotos (Alveal, *et. al.*, 1995).

Para el registro de la concentración de material orgánico particulado (POM), se determina, mediante filtración y secado, el peso del material orgánico e inorgánico en la columna de agua. Luego de quemar la muestra a 450ºC por 5 minutos se calcula el peso del material orgánico e inorgánico por pérdida de peso y peso de los residuos respectivamente, (Strickland & Parsons, 1982).

Fouling: Puede ser estimado cualitativamente mediante criterios de cubrimiento de las unidades de cultivo a los cuales se asignan indices de aptitud.

Sedimentos suspendidos: Corresponden a la fracción de material inorgánico particulado en la columna de agua, corresponde al peso remanente de partículas en un filtro después de aplicar combustión a altas temperaturas.

Corrientes: Se deben considerar tanto olas (producidas por la acción del viento) como corrientes, el modo más sencillo de estimar su velocidad es midiendo el tiempo que demora el traslado un objeto en la superficie del mar (Brown & Roland, 1987).

ANEXO 4

En la determinación del tamaño muestral a través de premuestreo, se utilizó la fórmula propuesta por Sparre (1995).

$$n = \frac{\left(t(_{\alpha, n-1} * S\right)^2}{\left(\varepsilon * \bar{x}\right)^2}$$

Donde:

$t_{(\alpha, n-1)}$: Distribución t-de Student

S : Desviación estándar

ε : Error máximo relativo

TABLA XV

Tamaños muestrales según el error relativo (ε), para los calibres objeto de estudio

SEMILLA		SMALL	
ERROR TIPO α= 0,05			
E. RELAT	TAMAÑO MUESTRAL	E. RELAT	TAMAÑO MUESTRAL
0,01	1182,2	0,01	415,9
0,02	295,5	**0,02**	**104**
0,03	**131,4**	**0,03**	**46,2**
0,04	**73,9**	0,04	26
0,05	47,3	0,05	16,6
0,06	32,8	0,06	11,6
0,07	24,1	0,07	8,5
0,08	18,5	0,08	6,5
0,09	14,6	0,09	5,1
0,1	11,8	0,1	4,2

ANEXO 5

Los valores publicados de concentración de alimento en la columna de agua para la zona central del país son resumidos en la TABLA XVI.

TABLA XVI

Indices de SI Almto. calculados de acuerdo a Concentraciones de Clorofila "a" consideradas "normales" por Avaria *et. al.* (1988) y acorde a criterios de transparencia de las aguas (D.Secchi)

MES	CL. "a" "NORMAL"	SI Almto. "NORMAL"	SI Almto. "D.SECCHI"
NOV	4,5 (µg/ l)	0,3	0,3
DIC	5,0 (µg/ l)	0,4	0,2
ENE	5,0 (µg/ l)	0,4	0,3
FEB	4,0 (µg/ l)	0,3	0,3
MAR	-	-	0,2
ABR	-	-	0,3
MAY	-	-	0,2

ANEXO 6

TABLA XVII

Test de Barttlet para los datos de longitud del origen semilla

	SEMILLA		
MES	LONGITUD MEDIA (mm)	VARIANZA	LOG VAR
OCT	48,5	66,59	1,82
NOV	60,6	37,82	1,58
DIC	72,5	88,17	1,95
ENE	75,6	83,17	1,92
FEB	76,3	76,39	1,88
MAR	78,2	81,72	1,91
ABR	88,5	145,68	2,16
MAY	88,3	193,77	2,29

SUMA VAR	773,32	15,51
MEDIA VAR	96,66	
LOG VAR	1,98	

M	75,75
C	1
$X^2_{CALC.}$	75,43
$X^2_{(0,05,7)}$	14,06

H_0: Datos son Homocedásticos

H_1: Datos no son Homocedásticos

$X^2_{CALC.} > X^2_{(0,05,7)}$: Se rechaza H_0 para $\alpha = 5\%$

TABLA XVIII

Test de Barttlet para los datos de longitud del origen small

	SMALL		
MES	**LONGITUD MEDIA (mm)**	**VARIANZA**	**LOG VAR**
OCT	86,9	60,53	1,78
NOV	91,5	48,44	1,69
DIC	92,3	48,44	1,69
ENE	92,3	50,27	1,7
FEB	91,7	64,16	1,81
MAR	90,7	47,2	1,67
ABR	92,3	57	1,76
MAY	95,8	71,91	1,86

SUMA VAR	447,95	13,95
MEDIA VAR	55,99	
LOG VAR	1,75	

M	7,69
C	1
$X^2_{CALC.}$	7,67
$X^2_{(0,05,7)}$	14,06

H_0: Datos son Homocedásticos

H_1: Datos no son Homocedásticos

$X^2_{CALC.} < X^2_{(0,05,7)}$: Se acepta H_0 para $\alpha = 5\%$

TABLA XIX

Test de Barttlet para los datos de peso del origen semilla

	SMALL		
MES	LONGITUD MEDIA (mm)	VARIANZA	LOG VAR
OCT	12	19,8	1,3
NOV	19,9	15,05	1,18
DIC	36,5	124,99	2,1
ENE	43,1	159,77	2,2
FEB	51,5	215,21	2,33
MAR	55,5	217,56	2,34
ABR	57,8	276,89	2,44
MAY	59,6	256,64	2,41

SUMA VAR	1285,92	16,3
MEDIA VAR	160,74	
LOG VAR	2,21	

M	277,1
C	1
X^2 CALC.	275,94
$X^2_{(0,05,7)}$	14,06

H_0: Datos son Homocedásticos

H_1: Datos no son Homocedásticos

$X^2_{CALC.} > X^2_{(0,05,7)}$ Se acepta H_0 para $\alpha = 5\%$

TABLA XX

Test de Barttlet para los datos de peso del origen small

	SMALL		
MES	**LONGITUD MEDIA (mm)**	**VARIANZA**	**LOG VAR**
OCT	74,9	265,69	2,42
NOV	78,1	204,49	2,31
DIC	83,4	210,25	2,32
ENE	85,3	316,84	2,5
FEB	92,4	190,44	2,28
MAR	90,3	249,64	2,4
ABR	100,4	436,81	2,64
MAY	107,2	506,25	2,7

SUMA VAR	2380,41	19,58
MEDIA VAR	297,55	
LOG VAR	2,47	

M	42,65
C	1
X^2_{CALC}	42,47
$X^2_{(0,05,7)}$	14,06

H_0: Datos son Homocedásticos

H_1: Datos no son Homocedásticos

$X^2_{CALC} > X^2_{(0,05,7)}$: Se rechaza H_0 para $\alpha = 5\%$

TABLA XXI

Test Chi² para las longitudes (mm) de la semilla de ostra japonesa

MES	PROM.	DESV. EST.	F_{crit}	F_{estad}
OCT	48,5	8,2	15,5	15,4
NOV	60,6	6,1	18,3	14,5
DIC	72,3	9,1	16,9	15,4
ENE	75,6	9,1	16,9	8,7
FEB	76,3	8,7	16,9	7,9
MAR	78,2	9	15,5	5,8
ABR	88,5	12,1	21	9,6
MAY	88,3	13,9	21	16,9

TABLA XXII

Test Chi² para los pesos (g) de semilla de ostra japonesa

MES	PROM.	DESV. EST.	F_{crit}	F_{estad}
OCT	12,8	6,2	20	21
NOV	21,3	5,8	16,9	16,3
DIC	38,3	15,6	24,9	24,4
ENE	44,3	16,3	24,9	18,7
FEB	51,5	14,7	24,9	24,2
MAR	55	16,7	27,6	19
ABR	59,3	18,6	33,9	23,4
MAY	59,6	16	27,6	13,3

TABLA XXIII

Test Chi² para las longitudes (mm) ostra japonesa small

MES	PROM.	DESV. EST.	F_{crit}	F_{estad}
OCT	87	7,8	201	15,9
NOV	91,7	6,9	20,9	14,3
DIC	92,5	6,9	16,8	11,4
ENE	92,4	7,1	15,1	7,2
FEB	91,8	8	16,8	12,8
MAR	90,7	6,9	26,2	11,8
ABR	92,3	7,6	29,1	15,2
MAY	95,8	8,5	49,6	15,7

TABLA XXIV

Test Chi² para los pesos (g) de ostra japonesa small

MES	PROM.	DESV. EST.	F_{crit}	F_{estad}
OCT	74,9	16,3	37,6	21,5
NOV	78,1	14,3	33,4	28,2
DIC	83,4	14,5	37,6	19,1
ENE	85,3	17,8	37,6	19,3
FEB	92,4	13,8	27,7	16,8
MAR	90,3	18,8	36,2	20,2
ABR	100,4	20,9	41,6	39,4
MAY	107,2	22,5	44,3	15