

CAPÍTULO 19

DISEÑO Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVO

DESIGN AND OPERATION OF CULTURE SYSTEMS

GERMÁN MERINO¹ * JORGE CORTÉS-MONROY²,
ALEJANDRO ABARCA³ Y JOEL BARRAZA¹

¹ Departamento de Acuicultura, Universidad Católica del Norte,
Casilla 117, Coquimbo, Chile

² Taylor Shellfish Inc., 130 SE Lynch Road, Shelton, WA 98584,
USA

³ Pesquera San José, Tongoy, Coquimbo, Chile

RESUMEN El éxito de las actividades acuícolas depende de una planificación y un diseño adecuados de las instalaciones de cultivo, integrando la información biológica con la ingenieril. Todo proyecto de cultivo inicia con el desarrollo de un bioprograma, el cual considera dos aspectos fundamentales: (1) conocer los aspectos biológicos requeridos por la especie a cultivar y (2) la selección del proceso productivo más apropiado para lograr las metas de producción. El diseño deberá tomar en cuenta los factores bióticos y abióticos con la tecnología disponible y determinar el mejor tamaño de las instalaciones de cultivo. Finalmente, es muy importante vigilar con mucha atención el proceso de construcción de las instalaciones y la puesta en marcha de los procesos productivos. En el presente capítulo, se hace una revisión de los factores biológicos e ingenieriles, para el diseño de instalaciones en tierra y en el mar, específicamente para el cultivo de moluscos pectínidos.

PALABRAS CLAVE: Moluscos, pectínidos, acuicultura, hatchery, laboratorio de producción de semillas, juveniles, "long-lines", sistemas en suspensión, diseño, operación

ABSTRACT The success of the aquaculture activities will depend over an adequate planification and design of the culture facilities, which carefully should integrate both biological and engineering information. There are three steps to follow during the facility design: bioprogram, design, and implementation. The bioprogram is one of the most important steps, and it considers two fundamentals aspects in its proposition: (1) to look for the biological criteria required by the target specie, and (2) the selection of the most appropriate productive processes in order to accomplish with the production goals. The design look to match both abiotic and biotic factors with the available technology, and therefore determine the best sizing of the culture facilities. And finally, the implementation deals with installation and running of the productive processes. Therefore this chapter will review, within two issues, the basic biological and engineering considerations to design inland and inshore aquaculture facilities, focus on pectinids mollusk as a target design species.

KEY WORDS: Scallops, aquaculture, hatchery, long-lines, design, operations

PARTE I. DISEÑO DEL LABORATORIO ("HATCHERY")

INTRODUCCIÓN

Akaboshi e Illanes (1983) indican que en 1983, Japón era el único país que había industrializado el cultivo de pectínidos, alcanzando una producción que superaba a la pesquería tradicional. Al mismo tiempo en Chile ya se efectuaba la transferencia de tecnología de cultivo japonesa, debido a los prometedores resultados obtenidos en experiencias piloto de producción en hatchery y de captación natural de larvas de Ostión del Norte, (*Argopecten purpuratus*) (Akaboshi e Illanes 1983,

Trench et al. 1983, DiSalvo et al. 1984, Illanes 1988, Wolff 1988, Lindberg 1999). De acuerdo con FAO (1999), Chile es actualmente líder en la producción acuícola de pectínidos en Iberoamérica, siendo el tercer productor mundial después de China y Japón. Asimismo, FAO (1999) destaca que las únicas especies producidas en cantidades importantes a través de acuicultura comercial son *Argopecten purpuratus*, de la cual Chile produce 11,500 t/año y Perú 311 t/año, y *Argopecten ventricosus* de la cual se producen 10 t/año en México.

Actualmente existe una considerable literatura científica relacionada con la larvicultura de pectínidos (Di

*Corresponding author: gemerino@ucdavis.edu o gmerino@ucn.cl

Salvo 1988, Bariles y Gaete 1991, Velez y Freites 1993, Martínez et al. 1995, Le Pennec et al. 1998, Ramírez et al. 1999, Martínez et al. 1999), pero hay muy poca información publicada referente al diseño físico de los laboratorios o "hatcheries" comerciales y de sus procedimientos de operación (Bourne et al. 1989, Merino 1996a y 1997a, Robert y Gérard 1999). Uno de los aspectos más difíciles en el proceso de planificación y diseño está en la cuantificación acertada de los criterios biológicos (Lisec 1988). Estos datos son necesarios para que los ingenieros en acuicultura, puedan determinar el tamaño, función e integración de cada componente individual que comprende la cadena de producción biológica, siendo estos la calidad de agua, flujo, cantidad de animales a producir, cantidad de alimento, personal, número de bombas y compresores de aire, tipo y diámetro de tuberías, y otros. Por tratarse de agua de mar, han de introducirse dispositivos especiales en la red de alimentación de agua, además de seleccionar cuidadosamente los materiales utilizados, debido a que es altamente corrosiva (Huguenin y Colt 1989). En este documento se entregarán herramientas básicas para el diseño del sistema de suministro de agua para un laboratorio de ambiente controlado y los criterios de selección de los equipos que se requieren de acuerdo a las necesidades del cultivo de moluscos.

REQUERIMIENTOS GENERALES

El cultivo de pectínidos se realiza en diferentes etapas incluyendo el acondicionamiento o maduración de reproductores, desove, fertilización, cultivo larvario, cultivo de semilla y engorde a tamaño comercial (Navarro et al. 1991). Para llevar a cabo cada una de estas etapas se requiere contar con infraestructura y métodos específicos diseñados de acuerdo a la biología de la especie, el estadio de desarrollo, las condiciones físico-químicas del agua, y otros (Villalaz 1994, Martínez et al. 1995, Lu et al. 1999, Sicard et al. 1999, Navarro et al. 2000).

Las densidades de cultivo son especificadas en ind/unidad de volumen, durante los estadios larvarios, o ind/unidad de área cuando ya es bentónico. Los requerimientos de flujos de agua para el cultivo de moluscos, ya sea en tanques cilíndricos o en rectangulares, pueden ser estimados a partir de las características de la fuente de agua, la tasa de la excreción de los animales en el medio acuoso y de los requerimientos de agua por la especie (Tabla 19.1).

La estimación de las cantidades de agua requerida se basan en el balance entre algunos factores que afectan a la calidad del agua del cultivo, usualmente el oxígeno

(Sicard et al. 1999) y amonio (Ambler et al. 1988, Lu et al. 1999). En algunos casos el bióxido de carbono también puede ser considerado un factor limitante. La expresión que define los requerimientos de agua para un tanque lleno con flujo abierto es:

$$Q = \frac{(\text{PROD}_x - \text{CONS}_x)}{(C_{x, \text{in}} - C_{x, \text{out}})} \quad (1)$$

donde: Q = flujo normal basado en la concentración del factor limitante de la calidad de agua (x) (m^3/h), PROD_x = tasa de producción o introducción del factor (x) dentro de la unidad de cultivo (g/h), CONS_x = tasa de consumo o remoción del factor (x) desde la unidad de cultivo (g/h), $C_{x, \text{in}}$ = concentración del factor (x) en el afluente (g/m^3), y $C_{x, \text{out}}$ = concentración del factor (x) en el efluente (g/m^3).

Alternativamente, cuando se desconoce la fisiología de los animales y/o los procesos que afectan la concentración del factor (x), los requerimientos de flujo pueden ser estimados con base en la siguiente expresión:

$$Q = R * V \quad (2)$$

donde: Q = flujo (m^3/h); R = número de recambios del volumen de agua por unidad de tiempo (m^3/h) y V = volumen de la unidad de cultivo (m^3).

Actualmente, el sistema utilizado en Chile para la producción de semillas en laboratorio se basa en realizar todas las operaciones en sistemas de cultivo conocidos técnicamente como "batch" (renovación de agua una vez al día). En el caso del cultivo de larvas, el sistema de limpieza implica cambiar el agua de los estanques (que varían de 1.0 a 10 m^3) por completo cada 24 ó 48 horas, asistido por tamices de diversa abertura de malla para retener las larvas. Bourne et al. (1989), establecen que para acondicionar reproductores de *Patinopecten yessoensis* es necesario mantener un flujo constante de agua, para asegurar un nivel adecuado de oxígeno disuelto (> 7-8 mg/L), a una tasa de 10 L/min por cada 100 litros de agua.

CONSIDERACIONES DEL LUGAR

La selección del mejor lugar para la instalación del "hatchery" requiere de una evaluación en secuencia de etapas que buscan conjugar varios elementos de tipo ecológico, económico, político, legal y social. Shepherd (1991) describe detalladamente los procesos para la selección de áreas para la instalación de "hatcheries" de producción, utilizando como ejemplo a los salmones, que bien pueden aplicarse a cualquier especie que requiera de instalaciones de cultivo terrestres.

TABLA 19.1.
Algunos criterios de calidad de agua requeridos por pectínidos.

ESPECIE	CRITERIO	AUTOR
<i>Argopecten purpuratus</i>	Concentración letal de cobre = 130 ppb	Sánchez y Tupayachi 1988
	Concentración letal medio de cobre = 117 ppb	Troncoso et al. 2000
	Salinidad letal inferior = 27 ‰	Navarro y González 1998
	Tasa de excreción 22.3 µg NH ₄ -N h ⁻¹ a 30 ‰	Navarro y González 1998
	Tasa de excreción 41.9 µg NH ₄ -N h ⁻¹ a 24 ‰	Navarro y González 1998
	Tasa de consumo de O ₂ 0.54 a 1.80 mL O ₂ h ⁻¹ a 30 ‰	Navarro y González 1998
	Tasa de consumo de O ₂ 0.84 a 2.50 mL O ₂ h ⁻¹ a 24 ‰	Navarro y González 1998
<i>Argopecten ventricosus</i>	Intervalo de salinidad letal = 27 – 47 ‰	Singoret-Brailovsky et al. 1996
	Temperatura óptima = 19-21°C	Sicard et al. 1999
	Temperatura letal superior a 96h = 29°C	Sicard et al. 1999
<i>Argopecten irradians</i>	2.10 mg NH ₄ -N/L reduce crecimiento	Lin 1992

Condiciones Marinas y Terrestres

La presencia de bancos naturales frente al sitio donde se instalará el "hatchery" es un buen indicador de que se cuenta con agua de buena calidad, así como también disponibilidad de reproductores. Además, para la instalación de un "hatchery" se deberán tener en cuenta factores como las mareas, tipo de playa, exposición al oleaje y las condiciones terrestres.

Datos de Mareas

La fluctuación de las mareas es un factor importante a considerar cuando se pretende establecer un "hatchery", teniendo su principal incidencia en los costos de las instalaciones de bombeo y succión de agua de mar. Por lo tanto es aconsejable contar con un historial del sitio de por lo menos 10 a 40 años para evitar hacer la instalación en un sitio con riesgos (Beveridge 1987, Merino 1997a).

Perfil de la Playa

El laboratorio idealmente debe ubicarse lo más cerca posible del nivel del mar para reducir los costos de bombeo de agua de mar. Además, a menor longitud de tuberías de succión de agua de mar, mayor rendimiento de las bombas. Es así que una vez determinado el sitio de la instalación del laboratorio, han de realizarse mediciones del perfil de playa hasta la zona bajamar extrema, con una periodicidad de 4 veces por estación (otoño, primavera, verano, invierno). Esta información será muy importante para la adecuada selección de los sistemas de succión y de descarga de aguas (Illanes 1996, Merino 1997a).

Exposición al Oleaje

Las condiciones oceanográficas extremas pueden hacer peligrar el o los sistemas de succión de agua de mar y tuberías, así como también otras áreas del laboratorio (zona de tratamiento de efluentes, bodegas, salas de bombeo inicial, etc.). Si se tienen los datos meteorológicos del lugar (velocidad del viento, cartas de batimetría) se podrán estimar las características del oleaje normal y extremo del lugar (Uribe et al. 1988, Berrios 1999). Con esta información será posible predecir la distancia de seguridad en que el laboratorio debería ser edificado, así como facilitar la selección y diseño de los sistemas de succión y de evacuación de aguas.

Condiciones Terrestres

El terreno donde se construirá un "hatchery" deberá ser cuidadosamente estudiado, tratando de evitar que razones financieras o administrativas sean más importantes que las biológicas o ecológicas (Illanes 1996). El área a elegir debe primero estar lo más cercano posible del mar, y cerca de vías de comunicación de tal modo que se destine el menor tiempo posible para los traslados del personal, del material y de los organismos hacia los centros de destino. Además es conveniente la cercanía a los centros de abastecimiento de energía eléctrica, red de agua potable, telefonía y otros insumos básicos.

DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS EN EL LABORATORIO

Para dimensionar las instalaciones de cultivo y definir así el tamaño y la distribución de las áreas se ha de

definir inicialmente el tipo de producto final y la cantidad de animales a producir en un determinado periodo de tiempo (bioprograma) (Brown y Nash 1988, Coll 1991). El bioprograma definirá el número de reproductores, larvas y semillas requeridos para cumplir con los objetivos de producción. Si se conoce la duración de cada estadio de vida, se podrá entonces optimizar el uso de las instalaciones y por ende minimizar el área requerida al ajustar la cantidad de estanques, volumen, flujo de agua, tratamientos, y otras operaciones a través de adecuados programas de producción en serie.

Una vez efectuados los cálculos preliminares basados en el bioprograma de producción, y de haber seleccionado el área en donde se procederá a la instalación de la infraestructura, es recomendable esbozar un pre-diseño de las instalaciones. El pre-diseño tendrá aspectos característicos que le son propios a los objetivos productivos, sean estos la cría de larvas hasta su talla de semilla, o la engorda de las mismas (Coll 1991, Illanes 1996).

Distribución de Áreas

Por lo general todas las instalaciones de cultivo de moluscos poseen dos tipos de áreas: secas y húmedas (ver Capítulo 8). En el área seca se realizan los servicios que requiere la operación de la parte húmeda, incluyendo gerencia-secretaría, sala de bombas, laboratorios, almacenes o bodegas y servicios (talleres, comedores, estacionamientos, hospedaje, baños). La parte húmeda la integran el conjunto de las unidades de cultivo. Usualmente la parte húmeda considera las siguientes salas de cultivo: cultivo de microalgas, mantenimiento de reproductores, desove y fertilización, cultivo larvario, fijación y cultivo de juveniles o semillas (Coll 1991, Uribe 1995a, Laing y Psimopoulos 1998).

Una adecuada distribución de las áreas del laboratorio deberá basarse en la secuencia natural del ciclo productivo y de alimentación, lo que facilitará las operaciones, además de afectar la eficiencia y la economía del mismo. Generalmente, la sala de bombas, compresores de aire y generadores eléctricos, se localiza cerca de la fuente de agua. La sala de mantenimiento de reproductores debe tener acceso externo, para el movimiento de animales desde el exterior, y acceso interno para su adecuado traslado a la sala de desove y fertilización. Si la eclosión larvaria se planifica en estanques diferentes a los usados para la fertilización, entonces una sala de eclosión y cultivo larvario será requerida. Las salas de fijación larvaria deben localizarse inmediatamente al lado de las de cultivo larvario, y a su vez con acceso directo al exterior para el

traslado de los colectores hacia las líneas madre (o "long-lines") de cultivo en el océano. Las salas de producción de microalgas pueden localizarse cercanas a aquella sección que requiera más tiempo en su ciclo productivo.

Distribución de los Servicios

Generalmente todos los suministros de agua, electricidad, drenajes, aire y otros, son instalados en el suelo dentro de los canales de concreto utilizados para el drenaje de las aguas cubiertos con rejillas. Sin embargo, cuando sea posible, los servicios deben colgar desde el techo, pues son mucho más fáciles de inspeccionar, y están más protegidos que aquellos que se instalan en el suelo. La desventaja de colgar los servicios, es que el sistema de drenaje debe diseñarse por separado y se pierde la ventaja de localizar todos los servicios de suministros y descargas en un solo lugar.

DISEÑO DE LOS SUMINISTROS DE AGUA DE MAR

La Figura 19.1 describe las características generales de un sistema de bombeo de agua de mar y su procesamiento, en un "hatchery" de cultivo de moluscos.

Los sistemas de distribución de agua de mar están compuestos por una red de tuberías que distribuye el agua succionada por bombas y tratada de acuerdo a la calidad requerida. El material recomendado para construir esta instalación es el Poli-Vinyl-Cloruro (PVC), debido a su durabilidad, la gran variedad de accesorios (codos, conectores) existentes, su propiedad no tóxica y su disponibilidad en el mercado. Sin embargo, existen otros materiales como polietileno, polipropileno, ABS, etc. los cuales también podrían ser utilizados para este

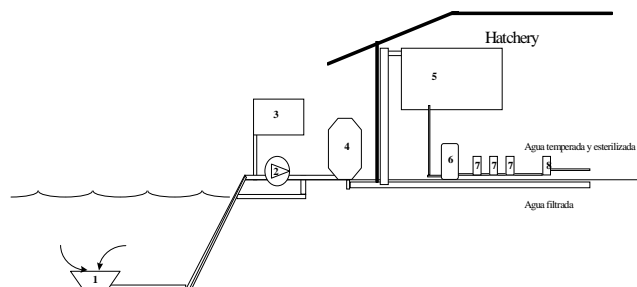


Figura 19.1. Esquema general del suministro de agua de mar y sus tratamientos en un laboratorio típico. (1) filtro de arena sumergido, (2) bombas, (3) estanque para retrolavado, (4) filtro rápido de arena, (5) estanque de acumulación, (6) caldera o intercambiador de calor, (7) micro-filtros, (8) esterilizador ultravioleta (UV) (Merino 1997a).

propósito (Barraza 1999, Coll 1991, Huguenin y Colt 1989).

Tomas de Agua Marina

Si bien es cierto que la calidad del agua es el principal criterio para seleccionar la zona de instalación para la succión de agua de mar, ha de tenerse en consideración que no es el único, y que existen otras alternativas a considerar para maximizar la disponibilidad de agua de buena calidad, tales como:

- El sistema de succión debe estar a contracorriente o alejado de las aguas descargadas del laboratorio o de cualquier fuente de contaminación, zona de anclajes, ríos, y otros.
- Succionar agua de áreas en donde las propiedades físico-químicas del medio presenten una alta consistencia y muy pocas variaciones, lo que generalmente se traduce en localizar el sistema lo más profundo y alejado posible de la zona costera.
- La apertura del sistema de succión debe estar lo suficientemente alejada de la superficie como para no succionar aire, y suficientemente alejada del fondo como para no succionar sedimentos y agua con bajo contenido de oxígeno disuelto.
- A veces la vida planctónica del lugar es muy abundante, y tiende a fijarse y crecer al interior de las tuberías de succión, produciendo una obstaculización del flujo de agua en el ducto. La instalación de un filtro submarino ayudará a retener parte de las partículas en suspensión en el agua, como materia orgánica, larvas y algas que se pudiesen introducir al sistema (Merino 1996a, Barraza 1999).

Sistema de Filtro de Arena Sumergido

Este tipo de filtro es similar a los sistemas de filtración superficiales de arena (Tchobanoglous 1995), y son muy comunes en los sistemas de succión de agua de mar. Se clasifican como filtros de medio simple si sólo usa un tipo de arena (Fig. 19.2), o filtros multimedios si se usan diferentes tamaños de arena (Fig. 19.3). El límite de filtración más bajo para un filtro de arena simple son 20 μm (Huguenin y Colt 1989, Qasim et al. 2000).

La ubicación de estos sistemas puede ser intermareal, (lo cual reduce las horas efectivas de bombeo pero hace la instalación e inspección más fácil), o preferiblemente en la zona submareal. La ventaja de este sistema es lo simple y económico de su instalación, siendo muy funcional y fácil de reparar en caso de deterioros. Normalmente se instalan más de uno, separándolos unos de otros unos 10 m (Merino 1997a).

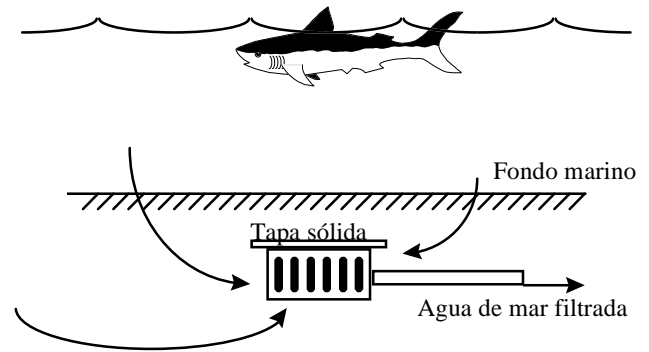


Figura 19.2. Filtro sumergido de arena (Merino 1997a).

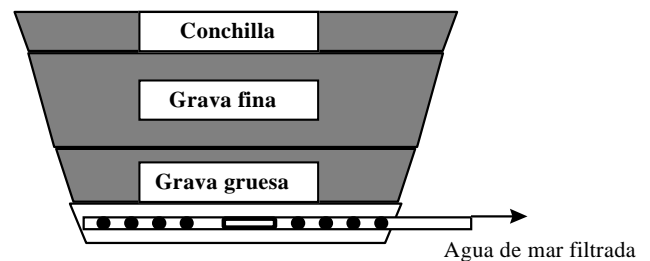


Figura 19.3. Esquema del prefiltro marino (Merino 1997a).

Sistema de Punteras: Horizontal y Vertical

Cuando se desea instalar un "hatchery" en la orilla de playa, resulta muy conveniente instalar una puntera para la succión del agua (Fig. 19.4). En el caso de la puntera horizontal, esta se entierra a unos pocos centímetros del fondo, y justo por debajo de la línea de baja marea. Los criterios para especificar el tamaño de la trinchera en que se enterrará, la cantidad de material grueso que le será compactado a su alrededor y el espesor de las capas filtrantes, tienen las mismas consideraciones que para los filtros de arena tradicionales (Driscoll 1986). Bajo las mejores condiciones de instalación se puede asumir que por cada 3 m² de área perforada se puede bombear 1 m³/h (Merino 1996a). Mayor caudal se puede obtener si se realiza la instalación de baterías de punteras horizontales, con una distancia entre punteras de al menos 3 m (Driscoll 1986). Existe la posibilidad de que el bombeo se limite a las horas de marea alta, y de que fuertes olas remuevan la cubierta de arena y dañen la estructura, o que la entierren más allá del nivel deseado (Merino 1997a).

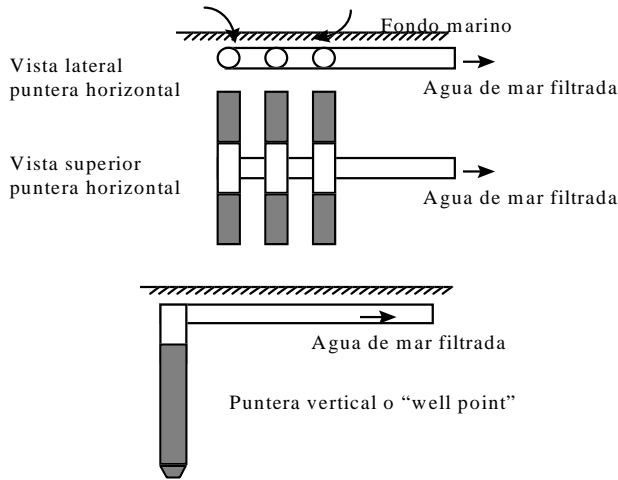


Figura 19.4. Sistema de punteras. Dibujos superiores representan a la puntera horizontal. Dibujo inferior representa a la puntera vertical o también denominada "well-point" (Merino 1997a).

Sistema de Pozo Artificial

Este sistema resulta adecuado cuando se tiene una costa rocosa y expuesta. Se construye haciendo una protección entre las rocas dejando una abertura en las partes laterales par el ingreso del agua. De esta forma queda una poza desde la cual se puede succionar el agua (Fig. 19.5). La ventaja de este sistema es que no requiere de una instalación compleja de la tubería de succión, ya que no queda expuesto al embate de las olas. La desventaja radica en su alto costo ya que deben ser construídos con hormigón de alta resistencia y con aditivos especiales para el ambiente húmedo y salino.

Sistema Sumergido Abierto de Succión

Este tipo de estructura deberá instalarse lo suficientemente alejado de la superficie y de la zona de rompeolas (Fig. 19.6), a una profundidad mínima que estará en función de la velocidad promedio en el tubo de succión (Fig. 19.7). Es importante considerar la profundidad de instalación para prevenir la succión de aire y evitar problemas de cavitación en las bombas por la supersaturación de los gases al succionar a grandes profundidades.

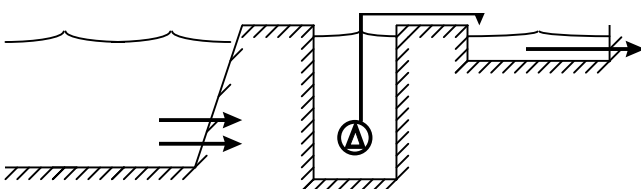


Figura 19.5. Sistema de succión a través de pozos.

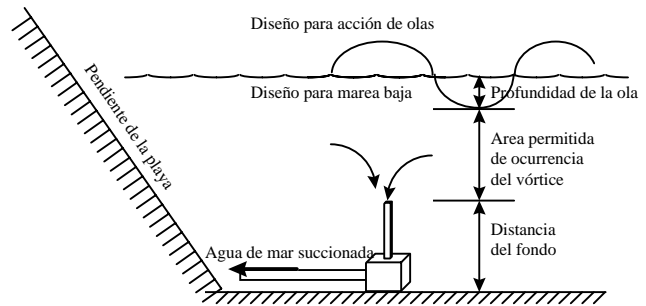


Figura 19.6. Sistema abierto sumergido de succión (Merino 1997a).

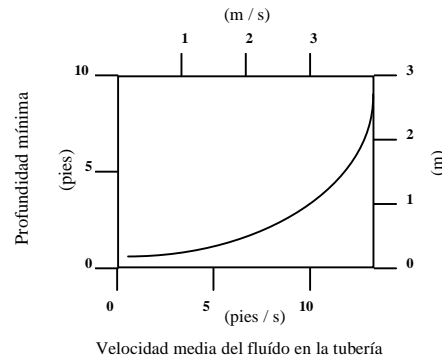


Figura 19.7. Consideraciones hidráulicas para la instalación del sistema de succión abierto sumergido (Huguenin y Colt 1989).

Localización y Altura de la Sala de Bombas

Las bombas pueden instalarse en la orilla de la playa o sumergidas en el agua. Este último caso evita los problemas de cebado, pero el acceso a la bomba en caso de avería es complicado (en un pozo, por ejemplo) (Tchobanoglous 1995, Qasim et al. 2000). Una restricción que poseen todo tipo de bombas es la altura máxima de succión o aspiración. A nivel medio del mar, esta tiene un valor máximo teórico de 10.6 m (34 ft), a una temperatura del agua inferior a 10°C (50°F). Los fabricantes recomiendan considerar como altura máxima de succión el 70.5% del valor teórico, o sea unos 7.4 m (23.8 ft). Cuando se instalan por arriba del nivel del mar y a temperaturas superiores a 20°C, la altura máxima de succión se reduce (Tabla 19.2).

Selección de Bombas

Los principales factores que influyen en la selección del tipo de bomba, son (1) flujo (m^3/m^2) y caudal (m^3/s), (2) presión o altura de succión, (3) presión o altura de descarga, (4) servicio continuo o discontinuo, (5) tipo de energía a utilizar, y (6) limitaciones de

TABLA 19.2.

Altura máxima de succión de las bombas, en función de la altitud de la intalación (m) y la temperatura del agua (Coll 1991).

Altitud (m)	<10	Temperatura del agua (°C)				
		15.6	21.1	26.7	32.2	37.8
0	10.4	7.1	7.1	7.0	6.9	6.8
152	10.2	7.0	7.0	6.9	6.8	6.6
305	10.0	6.8	6.8	6.7	6.6	6.5
457	9.9	6.7	6.7	6.6	6.5	6.4
610	9.6	6.6	6.6	6.5	6.4	6.2
915	9.2	6.3	6.3	6.2	6.1	6.0
1219	8.9	6.1	6.1	6.0	5.9	5.8
1524	8.6	5.8	5.8	5.7	5.7	5.5
1829	8.2	5.6	5.6	5.5	5.4	5.3
2134	7.9	5.4	5.4	5.3	5.2	5.1
2439	7.6	5.2	5.2	5.1	5.0	4.9

espacio, peso, etc. Además se debe tomar en cuenta su costo y los gastos de mantenimiento.

Una vez determinado el tipo de bomba que se requiere (centrífuga, rotatoria, etc.), será necesario seleccionar aquella que mejor se ajuste a las condiciones de trabajo (altura, eficiencia, etc.), y para ello se han de conocer las curvas de funcionamiento de los distintos tipos de bombas y los requerimientos del sistema en que va a operar. La selección del tipo de bomba dependerá de que su curva altura/flujo pase por el punto de operación, y que el flujo requerido esté en la zona de máximo rendimiento (Fig. 19.8) (Yoo y Boyd 1994).

Tuberías

El cálculo del diámetro de una tubería depende de la velocidad del flujo, existiendo un límite recomendable para evitar las vibraciones perjudiciales que se generan por las altas velocidades, las cuales pueden destruir la instalación. Hoy existen estándares para prácticamente todos los materiales de tuberías, y ecuaciones que definen el diámetro para un caudal determinado (Tabla 19.3).

Otro aspecto a considerar es la pérdida de flujo por las perturbaciones y el roce. Existen dos pérdidas de energía que se generan en las tuberías: las pérdidas por fricción, y las pérdidas por singularidades (Street et al. 1996). Estas pueden ser estimadas por la ecuación de Hazen-Williams (Tchobanoglous 1995):

$$J = 10.668 * C^{-1.85} * D^{-4.87} * Q^{1.85} \quad (3)$$

donde: J = pérdida de carga por unidad de longitud de la cañería (m/m), C = coeficiente de fricción de Hazen-Williams, adimensional (150 para polietileno y

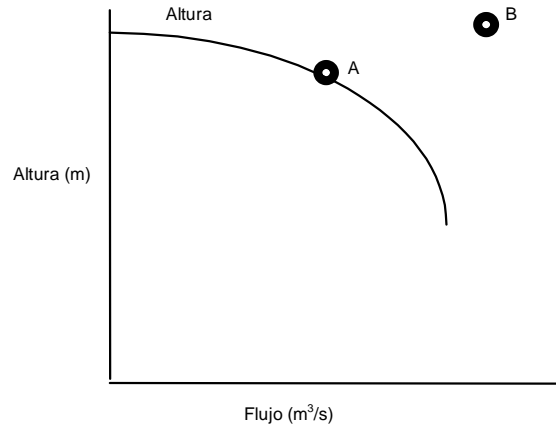


Figura 19.8. Esquema donde se muestra la altura correcta para la instalación de una bomba (A), al flujo deseado. Una bomba colocada fuera de la curva de rendimiento especificadas por el fabricante (B) no daría el flujo requerido.

TABLA 19.3.

Caudales máximos recomendados para los diámetros comerciales de tuberías.

Diámetro		Flujo (L/s)
(mm)	(pulg)	
20	½	0.1
25	¾	0.2
32	1	0.4
40	1 ¼	0.7
50	1 ½	1.2
63	2	2.0
75	2 ½	3.1
90	3	4.7
110	4	7.5
125	5	10.0
140	5 ½	13.0
200	8	30.0
400	16	165.0

Nota: Los diámetros indicados en milímetros corresponden a la medida exterior, y los indicados en pulgadas corresponden a la medida interior. Ambas son usadas para la identificación de las tuberías de PVC.

PVC), D = diámetro de la tubería (m) y Q = flujo (m³/s).

Para obtener la pérdida de carga total por fricción, se multiplica el valor de la pérdida de carga unitaria (J) por el largo total de la tubería.

$$hf = J * L \quad (4)$$

donde: hf = pérdida de carga por fricción expresada en metros de columna de agua (m) y L =largo total de la tubería (m).

La pérdida de carga por singularidades, corresponde a la disipación de la energía producida por perturbaciones del flujo generadas por cambios de dirección, cam-

bios de sección o por elementos que obstaculizan la circulación (Tabla 19.4). Esta se estima por la ecuación de Darcy-Weisbach (Tchobanoglous 1995):

$$h_s = K \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (5)$$

donde: h_s = pérdida de carga por singularidades expresada en metros de columna de agua (m), K = coeficiente de pérdida por singularidad (adimensional), Q = caudal (m^3/s), g = aceleración de gravedad ($9.8 m/s^2$) y A = área de la sección transversal de la tubería (m^2).

Para obtener la altura de carga total del sistema (H), que corresponde a la presión que debe vencer el agua expresada en metros de columna de agua, se deberá sumar la altura entre la superficie del agua y la altura de descarga (altura geométrica), mas las pérdidas de carga por fricción y por singularidades:

$$H = h_g + h_f + h_s \quad (6)$$

donde: H = altura de carga total, expresada en metros de columna de agua (m), h_g = altura geométrica, h_f = pérdidas por fricción y h_s = pérdidas por singularidades.

En esta ecuación, las pérdidas por fricción y por singularidades no tienen un valor único, ya que dependen directamente del caudal, quedando la altura de carga total (H) en función del caudal (Q). Debido a que el caudal está elevado al cuadrado, la curva resultante de esta ecuación es una parábola que tiene su origen desplazado hacia la altura h_g (altura geométrica), en el eje de la altura de carga (Fig. 19.9).

DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

En los cultivos intensivos, la concentración de gases disueltos tales como el oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amonio y nitrógeno, es un parámetro importante que afecta la calidad de agua. De ellos, el oxígeno es el principal gas en acuicultura,

TABLA 19.4.
Coeficientes de pérdida de carga (k) para singularidades (Street et al. 1996).

Accesorios	K
Codo 90° estándar	0.90
Codo 90° radio medio	0.75
Codo 90° radio amplio (curva)	0.60
Codo 45°	0.35
Te estándar	1.80

puesto que las bajas concentraciones reducen la tasa de crecimiento de los animales cultivados, incrementan la incidencia de enfermedades, y producen mortalidades masivas (Huguenin y Colt 1989).

Solubilidad de los Gases en el Agua

El oxígeno es uno de los principales componentes del aire, comprendiendo un 20.95%. Sin embargo, su solubilidad en el agua es limitada y varía directamente proporcional con la temperatura y la salinidad. Los valores de la Tabla 19.5 son aplicables a 760 mm Hg de presión atmosférica. Para corregir la solubilidad del oxígeno para otras presiones atmosféricas, se utiliza la siguiente ecuación (Boyd 1982):

$$DO_c = DO_t * \frac{P_o - P_w}{760 - P_w} \quad (7)$$

donde: DO_c = solubilidad corregida de oxígeno, DO_t = solubilidad del oxígeno a 760 mm Hg, P_o = presión atmosférica observada y P_w = presión de vapor de agua (Tabla 19.6).

Aireadores Sumergidos o Difusores

Los sistemas de aireación más utilizados en los laboratorios de moluscos son aquellos por difusión de aire. El aire es comprimido a alta o baja presión con un compresor (ver mas adelante) y es conducido a través de tuberías de PVC a los diferentes depósitos o tanques de cultivo del "hatchery". En las salidas de estos tubos, se colocan tubos flexibles de plástico los cuales se conectan finalmente a los difusores. Los difusores son tubos porosos u otros elementos similares que insuflan las burbujas en el agua. Los factores de importancia relacionadas con la eficiencia de transferencia de

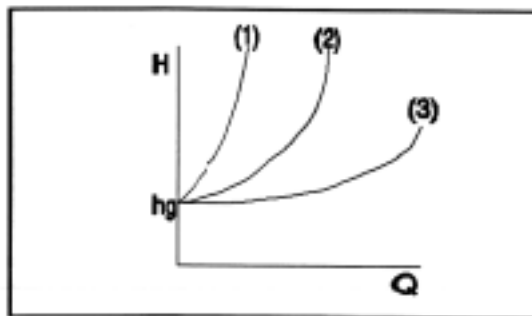


Figura 19.9. Caudal (Q) obtenido en varias instalaciones, a diferentes alturas de carga total (H). Las pendientes de las curvas están directamente relacionadas con la pérdida de carga. Por ejemplo, la curva 1 indica que esa instalación requiere mayor energía o potencia que las otras para mover el caudal requerido.

TABLA 19.5.
Solubilidad del oxígeno atmosférico en agua, a diferentes temperaturas y salinidades (Le Roy 1993).

Temperatura (°C)	Salinidad (‰)						
	5	10	15	20	25	30	35
10	10.93	10.59	10.25	9.93	9.62	9.31	9.02
11	10.68	10.35	10.02	9.71	9.41	9.11	8.83
12	10.44	10.12	9.80	9.50	9.21	8.92	8.64
13	10.21	9.90	9.59	9.30	9.01	8.73	8.47
14	9.99	9.68	9.39	9.10	8.83	8.56	8.30
15	9.78	9.48	9.19	8.92	8.65	8.38	8.13
16	9.57	9.28	9.01	8.74	8.47	8.22	7.97
17	9.37	9.09	8.82	8.56	8.31	8.06	7.82
18	9.18	8.91	8.65	8.39	8.15	7.91	7.67
19	9.00	8.74	8.48	8.23	7.99	7.76	7.53
20	8.82	8.57	8.32	8.08	7.84	7.61	7.39
21	8.65	8.40	8.16	7.93	7.70	7.47	7.26
22	8.49	8.25	8.01	7.78	7.56	7.34	7.13
23	8.33	8.09	7.86	7.64	7.42	7.21	7.00
24	8.18	7.95	7.72	7.50	7.29	7.08	6.88
25	8.03	7.80	7.58	7.37	7.16	6.96	6.77
26	7.88	7.66	7.45	7.24	7.04	6.84	6.65
27	7.74	7.53	7.32	7.12	6.92	6.73	6.54
28	7.61	7.40	7.20	7.00	6.81	6.62	6.44
29	7.48	7.27	7.07	6.88	6.69	6.51	6.33
30	7.35	7.15	6.96	6.77	6.58	6.41	6.23
31	7.23	7.03	6.84	6.66	6.48	6.30	6.13

TABLA 19.6.
Presión de vapor de agua, a diferentes temperaturas.
(Le-Roy 1993).

°C	mm Hg	°C	mm Hg
10	9.20	21	18.65
11	9.84	22	19.82
12	10.51	23	21.06
13	11.23	24	22.37
14	11.98	25	23.75
15	12.78	26	25.20
16	13.63	27	26.73
17	14.53	28	28.34
18	15.47	29	30.04
19	16.47	30	31.82
20	17.53	31	31.69

oxígeno en un sistema de aireación por difusión, dependen de factores intrínsecos de la burbuja, como: (a) número y tamaño (área superficial) de burbuja, (b) velocidad de ascenso de la burbuja, (c) profundidad del

agua a la cual son liberadas las burbujas y (d), déficit de oxígeno disuelto (Wheaton 1982, Lawson 1995).

En cuanto al tamaño de las burbujas, existen tres tipos (Kepenyes y Váradi 1984): gruesa (> 10 mm), intermedia (5-10 mm) y fina (1-5 mm). Las burbujas más pequeñas ofrecen mayor superficie de contacto aire-agua que las más grandes. La eficiencia de transferencia de gases de las burbujas pequeñas es mucho mayor al de las grandes, siendo del orden de unas 10 a 20 veces más (Tabla 19.7).

Las burbujas más pequeñas poseen una velocidad de ascenso vertical menor a las de mayor tamaño, por lo que tienen mayor capacidad de transferencia de oxígeno al medio. El lento ascenso de las burbujas pequeñas, es la causa de que exista una mayor área superficial, y una mayor fricción entre el agua y la superficie de la burbuja. En consecuencia el agua será movida con mayor turbulencia, en comparación a un mismo volumen de aire suministrado con burbujas grandes (Lawson 1995). Adicionalmente, el tiempo de contacto entre la burbuja y la columna de agua se incrementa con la profundidad,

TABLA 19.7.

Tasas típicas de transferencia de oxígeno bajo condiciones estándar para sistemas de aireación usados en cultivos de moluscos (modificado de Colt y Tchobanoglous 1979).

Sistema de aireación	Tasa de transferencia (Kg O ₂ / KW * h ⁻¹)
Sistemas por difusión de aire	
Burbuja fina	1.2 - 2.0
Burbuja media	1.0 - 1.6
Burbuja gruesa	0.6 - 1.2
Aireador tipo vénturi	1.2 - 2.4
Aireador tubo-U	4.5 - 45.6

e igualmente se incrementa la transferencia de oxígeno. Es aconsejable instalar los difusores en las zonas más profundas de los estanques, para incrementar la transferencia de gases al agua. Por otra parte, para incrementar el gradiente de transferencia de gases entre la burbuja y el agua, es posible elevar la concentración de oxígeno en la burbuja inyectando oxígeno puro (Montgomery 1985, Lawson 1995).

Por último, los difusores son dimensionados por el fabricante de acuerdo a la tasa de flujo de aire (m³/h) que se usará. Por lo general, se requieren difusores de 33 cm longitud por m³/h de aire a una presión de trabajo menor a 1 psi. Existen también los difusores cerámicos que producen burbujas muy pequeñas. Estas se usan en donde se requieren difusores de pequeño tamaño pero con una alta tasa de difusión y alta eficiencia de transferencia, siendo su presión de trabajo entre 25 y 35 psi.

Presión Hidrostática

En estos sistemas de aireación, se utiliza la presión hidrostática como una alternativa de incrementar su solubilidad en el medio acuático. La siguiente ecuación resulta muy útil para corregir la solubilidad del oxígeno a diferentes presiones atmosféricas (Colt y Orwicz 1991):

$$DO_{cz} = DO_t * \frac{P_o + P_h + P_w}{760 - P_w} \quad (8)$$

donde: DO_{cz} = solubilidad corregida de oxígeno a la profundidad z, DO_t = solubilidad del oxígeno a 760 mm Hg, P_o = presión atmosférica observada, P_h = presión hidrostática (r*g*z), r = densidad del agua de mar, g = aceleración de gravedad (9.81 m/s²), z = profundidad donde se encuentra el difusor y P_w = presión de vapor de agua (Tabla 19.6).

A medida que la burbuja asciende a la superficie, la presión ambiental experimentada por la burbuja de-

crece, hasta un valor que se equipara al de la presión atmosférica. Así, para aireadores sumergidos, la concentración de saturación promedio efectiva puede ser definida con la ecuación (Colt y Orwicz 1991):

$$DO_{ts} = \int_0^z \frac{DO_t * dz}{Z_{fondo}} \quad (9)$$

donde: DO_{ts} = concentración de saturación promedio efectiva, DO_t = concentración de saturación del gas bajo condiciones estándar, dz = derivación con respecto a la profundidad y Z_{fondo} = profundidad a la que se encuentra el difusor.

Dimensionamiento del Sistema de Aireación

Para diseñar el sistema de aireación de un "hatchery" se requiere: (1) plano esquemático indicando las distancias, (2) dimensiones de los estanques, (3) especie a cultivar, (4) tasa de flujo de agua en los estanques, (5) densidad máxima, (6) tamaño máximo del animal, (7) temperatura máxima del agua, (8) calidad del agua (OD, amonio, salinidad, otros) y (9) fuente de agua (pozo, prefiltrada, directa del mar, profundidad de captación, otros) (Merino 1996b). Adicionalmente, para la selección del equipo más apropiado se consideran: (a) cantidad de salidas de aire a utilizar, (b) mínima y máxima columna de agua a vencer, (c) cantidad de oxígeno que se desea insuflar y (d) el mínimo OD disuelto en el sistema (Wheaton 1982).

Selección del Compresor de Baja Presión

La mayoría de los sistemas de aireación con difusores, requieren mover grandes volúmenes de aire a bajas presiones. El aire usado para aireación debe estar libre de aceites ("oil-free") y tener un intervalo típico de presión de 20 a 35 kPa. Los tipos tradicionales de compresores de baja presión mas comunes y disponibles para hacer efectiva la aireación por difusión son los sopladores ("blowers") centrífugos, los cuales son apropiados para pequeños sistemas de acuicultura (laboratorios, sistemas móviles de aireación de emergencia), y con tasas de flujo de aire menores a 50 m³/h (Wheaton 1982, Lawson 1995). Por otra parte, los compresores tipo "roots", se utilizan para sistemas que requieran de más de 50 m³/h de aire. Este tipo de compresores son considerablemente más potentes, y por ende son la opción preferida para aireación continua, pues pueden producir hasta 2000 m³/h de aire (Wheaton 1982, Lawson 1995).

La selección de un compresor de baja presión dependerá de su tasa de flujo de aire, y del requerimiento de

altura piesométrica del sistema. La presión total requerida por un compresor está directamente relacionada con la profundidad de trabajo del difusor en los estanques de cultivo, debido a que se debe producir suficiente presión para forzar el movimiento del aire en contra de la presión total (atmosférica más hidrostática) ejercida por la columna de agua en el punto de descarga. Además deberán considerarse las pérdidas de presión en el difusor y en el sistema de distribución. La altura piesométrica o altura total de carga requerida por el compresor será (Merino 1996b):

$$\text{Altura total (m)} = D_z + K_{\text{tuberías}} + K_{\text{difusor}} \quad (10)$$

donde: D_z = profundidad de trabajo del difusor (m), $K_{\text{tuberías}}$ = pérdidas de carga en tuberías (m) y K_{difusor} = pérdidas de carga en el difusor (m).

Las pérdidas de carga en la tubería plástica están en función del flujo de aire y de las dimensiones de la tubería. En virtud de que el fluido es aire, el coeficiente de rugosidad deberá considerarse como para tuberías nuevas. Estas pérdidas de carga se calculan de la misma manera que para las redes hidráulicas con agua (Street et al. 1996).

Una vez que se ha estimado la pérdida de carga total del sistema a las distintas tasas de flujo calculadas, el compresor deberá ser seleccionado para suministrar el aire deseado. Esto es exactamente el mismo enfoque que se realiza para seleccionar una bomba para un determinado sistema de distribución de agua. En el punto de operación, la altura (o presión) producida por el compresor deberá ser igual a las pérdidas del sistema (Fig. 19.10). Ha de notarse que si las unidades de cultivo poseen diferentes profundidades, entonces el sistema deberá diseñarse para proveer de aire al estanque de mayor profundidad. Las válvulas pueden ser instaladas

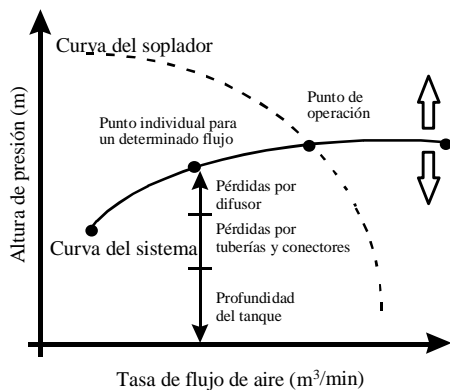


Figura 19.10. Curvas de eficiencia de un sistema de aireación y de un compresor. El punto de operación es la intersección de las curvas, el cual varía según sean las condiciones diarias de trabajo.

en las líneas de distribución que se dirigen a las unidades menos profundas para así incrementar su pérdida de altura.

TRATAMIENTO DEL AGUA DE MAR

Existen varios procesos de acondicionamiento del agua de mar, la mayoría de los cuales han sido descritos por varios autores (Huguenin y Colt 1989, Coll 1991, Merino 1997a). Un sistema de tratamiento podría incluir: (1) filtración en la toma de agua, (2) sedimentación, (3) filtración mecánica, (4) aireación, (5) filtración biológica, (6) control de temperatura, (7) filtración química, y (8) desinfección. Los procesos más comunes utilizados son descritos a continuación.

Filtración

La concentración de sedimentos suspendidos y de plancton son las principales variables costeras y estuarinas que obligan a veces al pre-tratamiento del agua a bombear al laboratorio. La mayoría de las instalaciones de cultivo están equipadas con filtros rápidos de arena a presión, filtros de medios heterogéneos, y combinaciones de filtros a escala de micrones. Una detallada revisión de los procesos de filtración es dada por Faust y Aly (1998).

Normalmente en un "hatchery" se requieren tres calidades de agua distintas. Para el caso del mantenimiento y acondicionamiento de adultos reproductores, se requerirá agua cruda o de filtrado grueso ($\approx 100 \mu\text{m}$) que permita el paso de microorganismos que servirán de alimento, pero que a la vez elimine larvas y organismos contaminantes que se fijarán en los sistemas de cultivo y en la red de distribución del agua (Bourne et al. 1989). En el caso del cultivo de larvas, se requerirá agua con filtrado fino ($\approx 1 \mu\text{m}$) además de esterilizado, siendo este último proceso descrito más adelante (Di Salvo 1988). Con este nivel de filtración se eliminan prácticamente todos los microorganismos que serán competidores o contaminantes de las larvas, aún cuando Riquelme et al. (1997) encontró que filtración menor a $5 \mu\text{m}$ afecta negativamente al crecimiento y supervivencia en *Argopecten purpuratus*. Por último, para las microalgas la exigencia de filtrado es aún mayor ($0.45 \mu\text{m}$), ya que se debe eliminar prácticamente la totalidad de microorganismos presentes en el agua de mar, para evitar la contaminación por esporas, otras microalgas no deseadas y organismos infecciosos. También en este caso resulta importante esterilizar el agua, ya que es la forma más efectiva de eliminar tanto al fitoplancton como al zooplancton (Uribe 1995a).

Filtración de Sedimentos Gruesos

Uno de los dispositivos de mayor uso para eliminar sedimentos gruesos son los filtros de arena, los que pueden retener partículas de hasta 50 μm , dependiendo de la granulometría de las arenas que se utilicen para filtrar. Existe una gran variedad de tamaños, de acuerdo a los requerimientos de caudal a filtrar para el suministro del hatchery. El inconveniente de estos filtros, es que requieren retrolavados periódicos, los cuales imponen exigencias adicionales a las características de la bomba, por el caudal y la presión requeridos para que esta operación sea efectiva (Qasim et al. 2000).

Otra alternativa la constituyen los filtros de camisa, que descriptivamente consisten de un armazón comúnmente transparente y un cilindro ranurado interior cubierto por una camisa de material filtrante graduado. Esta presenta la ventaja de que la camisa puede ser fácilmente reemplazada, pudiendo ser incluso reutilizada (Qasim et al. 2000). Además otra ventaja de este tipo de filtro es el hecho de no requerir retrolavado. La desventaja radica en la menor superficie de filtración, lo que obliga a realizar el recambio frecuente del elemento filtrante, sobre todo en los períodos de alta productividad de microalgas en el mar (Merino 1996b).

Finalmente se pueden emplear filtros de bolsa, los cuales son los más simples de todos. Estos consisten en bolsas de tela filtrante graduada (mayor a 5 μm) las cuales se instalan en las salidas de agua. Se utilizan principalmente en sistemas de suministro discontinuo. Las bolsas deben limpiarse después de cada proceso de llenado de estanques. La desventaja de este sistema, al igual que el anterior, es que tiene poca superficie de filtración (Qasim et al. 2000).

Filtración de Sedimentos Finos

Para aumentar el nivel de filtración requerido, se pueden instalar micro-filtros en serie, después del filtro de sedimentos gruesos. Estos pueden ser del tipo de camisa o de cartucho o incluso una combinación de ambos, ya que su funcionamiento es muy similar, cambiando solamente el elemento filtrante. Existen distintos tipos y tamaños de estos filtros, dependiendo de la capacidad de filtración requerida. Los filtros de cartucho, que son los más extensamente usados en "hatcheries", llegan a un nivel de filtración de 0.25 μm , pero se recomienda una serie de cuatro filtros de 10, 5, 3 y 1 μm respectivamente (Merino 1997a). Los micro-filtros de tierra de diatomeas (DE) o cerámicos, son otra alternativa de filtración, que presentan la ventaja de trabajar a altas presiones, y de tener una mayor vida útil, pero

tienen el inconveniente de tener un alto costo (Tchobanoglous 1995). Existen otras variedades de micro-filtros, pero lo importante es encontrar un sistema sencillo, efectivo, higiénico y que exista disponibilidad de repuestos en el mercado local para la rápida reposición de ellos.

Tanque de Reserva y/o de Acumulación de Agua

En una instalación de suministro de agua de mar para un laboratorio, es recomendable contar con un tanque de reserva y otro de acumulación de agua en el cual descarguen las bombas. Esto proporciona dos ventajas ante el sistema de suministro directo, ya que permite contar con una reserva de agua (tanque de reserva o reservorio) en el caso de que las condiciones de marea no permitan de un bombeo continuo, así como también permite contar con agua en el caso de que ocurran fallas mecánicas de la bomba o en el suministro (Merino 1997a).

El estanque de reserva acumula agua por bombeo directo desde el océano, y posteriormente unas bombas secundarias dirigen el agua al tanque acumulador, el cual debe instalarse en la cota más alta posible para que pueda distribuir el agua por gravedad. El exceso de agua enviado al estanque acumulador es retornado por tuberías de sobreflujo al reservorio. Las tuberías localizadas entre el laboratorio y el estanque acumulador deben permitir el máximo caudal requerido, cuando el estanque se encuentre con el 10 a 20% de su volumen total de agua (Merino 1997a).

Desinfección y Esterilización del Agua

El uso de métodos físico-químicos para el tratamiento de las aguas de entrada y salida en un laboratorio se ha estudiado particularmente debido a la necesidad de poder controlar posibles agentes patógenos asociados en el agua de mar que entra a un sistema de ambiente controlado (Wheaton 1982, Riquelme et al. 1994, Lawson 1995, Riquelme et al. 1997). Asimismo, los efluentes descargados desde el laboratorio hacia pozos o drenes deben tener un sistema de tratamiento físico-químico que asegure la no contaminación con elementos residuales hacia el mar (Merino 1997a).

Cloro

El hipoclorito de sodio es generalmente utilizado para la desinfección de aguas y superficies de trabajo. Normalmente en los "hatcheries" se pueden lavar los tanques y tuberías de distribución de agua de mar con

soluciones diluídas de cloro activo, y luego se aplican enjuagues con abundante agua dulce. El cloro además se utiliza en la desinfección directa del agua de mar luego de ser filtrada (5 al 10 % de cloro activo dependiendo de la capacidad de filtración). Para neutralizar el efecto del cloro se utiliza tiosulfato de sodio a la misma concentración que el cloro (Lawson 1995).

Ozono

El ozono es un potente agente oxidante que se puede aplicar directamente en el agua mediante máquinas productoras de ozono. La aplicación de ozono en acuicultura se ha incrementado en aquellos "hatcheries" que recirculan su agua de mar y que desean controlar enfermedades microbianas (Escobal 1996).

Irradiación Ultra violeta

El agua de mar también puede ser esterilizada mediante irradiación ultravioleta (UV). En los sistemas antiguos de UV, el agua de mar circula en el espacio que queda entre las paredes del reactor y del tubo de cuarzo que contiene en su interior la lámpara de UV. El sistema antiguo presenta problemas de aislamiento en los sellos, y con frecuencia tiene goteras. En los sistemas UV modernos, el agua circula dentro de tuberías de teflón (transparentes a la radiación UV), y las conexiones de las lámparas de UV son exteriores. El agua a tratar debe ser irradiada con un mínimo de 15,000 $\mu\text{Watt/s/cm}^2$, pero se aconsejan dosis de 35,000 $\mu\text{Watt/s/cm}^2$ (Escobal 1996).

Autoclaveado

El agua de mar que se utiliza en el mantenimiento de cepas y en los primeros matraces del cultivo de microalgas (250 mL), se debe esterilizar en una autoclave a temperaturas de 110-120°C por 15 a 20 min luego de filtrarla e irradiarla con luz UV (Lawson 1995).

Termoregulación del Agua de Mar

El control de la temperatura del agua de mar es muy ortante en el acondicionamiento de reproductores, en la inducción al desove y en el cultivo de larvas. A menudo, el mantento de la temperatura puede ser una de las lntes y también uno de los mayores costos de operación. El tipo de equipo para termoregular el agua, dependerá de la región geográfica en que se localice el "hatchery" (zona templada o tropical) y de la estación del año. En ocasiones se requerirá calentar el agua y en otras enfriarla. Los equipos de mayor uso para calentar son los calefactores de inmersión, las calderas

eléctricas o de petróleo y los generadores de vapor. Los equipos para enfriar son los "water chillers". Actualmente hay equipos conocidos como "bombas de calor" que tienen ambas funciones. Independientemente del tipo de equipo a utilizar, estos deberán conectarse a intercambiadores de calor ya sean de tubos o de placas construídos de titanio, donde por un lado circulará el líquido termoregulador (agua, vapor, freón, etc.) y por el otro, el agua de mar, sin tener contacto directo. El titanio es el metal mas apropiado para el intercambio de calor del agua de mar ya que es altamente resistente a la corrosión. Sin embargo, tiene la desventaja de que su costo es muy elevado.

El tamaño del equipo de regulación deberá seleccionarse en función de la cantidad de calor que se va a intercambiar. El calor requerido (Cr) se puede calcular a través de la siguiente fórmula (Barraza 1999):

$$\text{Cr} = m * \text{Ce} * \Delta t \quad (11)$$

donde: Cr = calor requerido, m = flujo de masa, Ce= calor específico del agua, Δt =diferencia de temperatura que se desea producir en el agua.

POLÍTICAS Y FILOSOFÍAS DE OPERACIÓN

No existe literatura que indique políticas y filosofías de operación de sistemas productivos en acuicultura. Sin embargo, a continuación exponemos algunas políticas y filosofías de operación de los "hatcheries" o granjas de cultivo de acuerdo con la experiencia directa de los autores.

Procedimientos de Operación

Es muy importante que en cada centro de cultivo cuente con un manual de procedimientos para cada proceso. Este debe establecer los tiempos necesarios para realizar un apropiado rebombeo de agua, manufactura de tanques, compras de insumos, reparación y manutención de embarcaciones, cosecha de semillas, etc.

Asignación de Responsabilidades

El encargado o responsable de un "hatchery" debe ser un profesional con reconocida experiencia y relacionado con el área, tales como un biólogo marino o un ingeniero en acuicultura. El resto del personal serán técnicos de diversos niveles según sean los lineamientos del laboratorio. Un técnico especializado en el área de cultivo de microalgas es necesario debido a la importancia de esta área en el laboratorio. Cada técnico debe

tener una tarea específica e independiente de las tareas comunes a realizar (cambio de agua, preparación de material, etc.). El encargado del laboratorio deberá realizar inspecciones semanales o quincenales de las áreas asignadas, y así tener una noción más clara de los procedimientos que le permita planificar futuras estrategias productivas en cada sector. Operativamente es aconsejable mantener programas de capacitación continua de los operarios, pues son ellos los responsables directos de la producción. Generalmente las empresas no invierten tiempo o dinero en la educación de sus operarios, lo cual repercutirá en la eficiencia y viabilidad económica del proyecto de producción. Las empresas acostumbran ver esta educación como un gasto, y no como una inversión.

Duplicación de Equipos y Sistemas, y Operación Compartida

Teniendo en cuenta que un laboratorio es una unidad de tratamiento intensivo y continuo, la duplicación de algunos equipos y sistemas resulta de vital importancia, sobre todo cuando hay fallas eléctricas, rotura de tuberías, etc. Generalmente se debe tener duplicación de bombas agua de mar, bombas de transferencias de agua,

compresores, sistema de termoregulación, sistema de succión de agua de mar y sistema de filtración. En el caso de interrupciones en el suministro eléctrico, también se debe contar con un generador que pueda suministrar la energía mínima a las unidades de mantenimiento de vida (aire cuando menos).

Mantenimiento Preventivo

Dentro de un centro de cultivo productivo es muy importante realizar manejos preventivos, pero esto muchas veces es visto por los niveles jerárquicos altos como un gasto para la empresa. Por el contrario esto sólo puede significar una inversión y un ahorro para la producción. Ser capaz de prevenir por ejemplo accidentes humanos o mecánicos, puede significar un ahorro significativo en la producción. Todos los equipos eléctricos deben tener una carta de mantenimiento y funcionamiento. Para aquellos equipos que sean especialmente sensibles a los cambios de voltaje, se les conectará a una unidad reguladora de voltaje, sobre todo los laboratorio que utilicen mucho generadores de corriente. También es conveniente mantener en existencia los repuestos más usuales y de mayor frecuencia.

PARTE II. DISEÑO DE SISTEMAS DE CULTIVO EN AMBIENTE NATURAL

INTRODUCCIÓN

En el mundo, los cultivos de moluscos en suspensión se han desarrollado con diferentes técnicas, la mayoría de ellas basadas en la experiencia japonesa. Todas ellas pretenden brindar un ambiente artificial para el crecimiento de organismos sésiles en la columna de agua, siendo esto de gran avance en el mejoramiento de la producción por unidad superficial de área (Imai 1977, Rodríguez 1994). Estas estructuras son componentes de la tecnología denominada "long-line", las que actualmente se utilizan indistintamente para el cultivo comercial de ostras y pectínidos, con ciertas modificaciones en algunos países (Akaboshi e Illanes 1983, Dupouy 1983, Pereira 1985, Ysla et al. 1988, Barnabe 1991, Martínez y Carroza 1991).

En la tecnología de cultivo tipo "long-line" se distinguen tres sistemas: fondeo, flotación, y crecimiento, cada uno de ellos constituidos principalmente por cabos, boyas, unidades de cultivo, anclas, etc. (Pereira 1996, Merino 1997b). El sistema de fondeo se usa para contrarrestar los efectos de las fuerzas dinámicas verticales y horizontales que actúan continuamente sobre el "long-line" en el ambiente marino (Carroza 1990, Martínez y Carroza 1991). El sistema de flotación es

utilizado para mantener en la columna de agua las unidades de cultivo, generalmente esta parte del "long-line" es reconocida como línea madre. El sistema de crecimiento es utilizado para mantener en cautiverio los animales de cultivo hasta que alcancen la talla deseada por el cultivador (Trench et al. 1983, Illanes y Akaboshi 1985, Illanes 1990, Román et al. 1999).

Todos los procedimientos a describirse en los próximos párrafos se enfocarán exclusivamente en los aspectos tecnológicos del cultivo del Ostión del Norte *Argopecten purpuratus*, cuyo ciclo de producción usualmente es de 16 a 18 meses, desde la fertilización, alcanzado una talla de 75 a 80 cm en promedio.

CRITERIOS ABIÓTICOS PARA LA SELECCIÓN DEL LUGAR

Al igual que con muchas otras especies (Beveridge 1987), existe un sinnúmero de variables abióticas que han de ser consideradas cuando se desea seleccionar un determinado lugar en el océano para cultivar pectínidos. Naturalmente los pectínidos suelen vivir en la zona bentónica, en donde las condiciones ambientales suelen no cambiar mucho. Luego, el área a seleccionar debe en lo posible emular las condiciones naturales de vida de

este molusco bivalvo, o en su defecto la tecnología a utilizar debe proveer del adecuado ambiente, de lo contrario se darán bajas tasas de crecimiento, altas mortalidades y aumento de incidencia de enfermedades.

Fuentes Limnológicas

La presencia de fuentes hídricas en la cercanía de las áreas de cultivo pueden afectar seriamente la densidad del agua, salinidad, temperatura y nutrientes, dependiendo de los caudales de los mismos. Generalmente en invierno las aguas de los ríos suelen ser más frías, y en verano más tibias, que las aguas del mar. El grado en que se mezclen las aguas dulces con las marinas dependerá del caudal aportado por los ríos y de la energía disponible en el océano (olas, mareas, vientos).

Las bahías y los fiordos han sido las áreas escogidas por excelencia para la instalación de cultivos, y generalmente en ellos las tasas de renovación de agua de mar son más lentas que las áreas costeras no protegidas (Uribe 1995b). Aquí generalmente existe presencia de cuerpos de agua dulce que desembocan en los cuerpos marinos, y que causan gradientes o la formación de capas de agua bien definidas en salinidad. Navarro y González (1998) indican que en el Sur de Chile *Argopecten purpuratus* presenta reducidas tasas de mortalidad y altas tasas de crecimiento, con la sola excepción de aquellas áreas en donde la salinidad es menor a 27 ‰, en donde las mortalidades se incrementan. Similarmente ocurre para *A. ventricosus* cuyos límites de tolerancia a la salinidad están restringidos entre 27 - 47 ‰ (Singnoret-Brailovsky et al. 1996).

Radiación Solar

Existe una relación muy cercana entre temperatura y radiación solar recibida por el cuerpo de agua, es así que Beveridge (1987) indica que las longitudes de onda más altas del espectro magnético (> 700 nm) son las más importantes en la transferencia de calor, y debido a sus altos coeficientes de extinción ellas son absorbidas rápidamente en los primeros metros de la columna de agua. Luego, si no existe una adecuada mezcla (ausencia de vientos y/o corrientes), se tendrá la presencia de termoclinas. La dinámica de la termoclina, así como de otros gradientes como haloclina (salinidad), afectarán al diseño de ingeniería, instalación y operación de los sistemas de cultivo.

Corrientes

Ha sido ya establecido que la velocidad de corriente juega un rol importante en el crecimiento de algunos

bivalvos. Es así que en *Argopecten irradians* el crecimiento se ve severamente afectado cuando la corriente excede los 3 cm/s, y en *Placopecten magellanicus* cuando las velocidades están entre 10 - 20 cm/s (Cole et al. 1996). Sakurai y Seto (2000) aconsejan para *Patinopecten yessoensis* velocidades menores a 10 cm/s. Wildish y Saulnier (1993) indican que altas velocidades de agua inhiben la filtración debido al incremento de los diferenciales de presión entre las inhalaciones y exhalaciones, y por lo tanto el animal tiende a cerrar sus valvas para compensar las presiones, y esto consecuentemente afecta a la alimentación y crecimiento del animal.

Este aspecto de las velocidades de corrientes tiende a ser de gran importancia al seleccionar el lugar y tipo de unidad de cultivo. Cole et al. (1996) demostraron que dependiendo de la apertura de malla de las cajas perleras ("pearl nets") la velocidad del agua podría reducirse en su interior entre un 46 a 61%. Luego, desde el punto de vista del cultivo de pectínidos, esta reducción en la velocidad de la corriente podría ser bueno o malo. Sería bueno en el caso de que el área seleccionada se caracterizase por altas velocidades de corriente, pues el pectínido localizado al interior del "pearl-net" estaría en condiciones de óptima velocidad. Sería malo si el área seleccionada tuviese velocidades de corrientes óptimas, pues la red de la unidad de cultivo reduciría las velocidades por debajo del óptimo, lo que provocaría una insuficiente tasa de reemplazo de nutrientes, de recambios de agua, y por ende acumulación de metabolitos e inanición.

Oleaje y Energía

En el ambiente acuático existen muchas clases de olas, las cuales difieren en su origen, forma y velocidad (Gaylord 1999). Las más típicas son las olas generadas por la acción del viento, el cual transfiere su energía a través de la fuerza friccional de arrastre que ejerce en la superficie del océano. El tamaño de la ola dependerá de la velocidad del viento, duración del viento, y la distancia libre de obstáculos en la que el viento sopla. La energía de la ola incrementa proporcionalmente al cuadrado de la altura de la misma (Wheaton 1982, Uribe et al. 1988).

Berrios (1999) utiliza la metodología de análisis de refracción de olas para obtener información básica de las áreas de concentración y disipación de energía. El principio del método se basa en que cuando una ola avanza hacia aguas someras, a un determinado ángulo con los perfiles de profundidad, parte de la misma se encontrará en aguas profundas y parte en aguas menos

profundas. La teoría indica que la celeridad de la onda es inversamente proporcional a la profundidad. El proceso de análisis toma como referencia distintos ángulos de frente de viento, partiendo desde las zonas de mayor profundidad hacia las de menor profundidad, así como también considera los antecedentes de periodo y altura de olas. Todo ello permitirá la construcción de ortogonales sobre una carta batimétrica, las que convergerán o divergirán en determinadas zonas del área bajo análisis. Las zonas de convergencia de ortogonales indican una alta concentración de energía, y las de divergencia señalan zonas de baja concentración de energía. La clave de selección de áreas será aquella en donde se tenga la mayor frecuencia de ortogonales divergentes, lo que permitirá reducir los costos de materiales requeridos para el diseño de los sistemas de cultivo.

Calidad del Agua

Los moluscos, al igual que muchos animales acuáticos, no poseen los medios biológicos para controlar la temperatura corporal, y por tanto ésta variará con el ambiente (Pilditch y Grant 1999). Una temperatura muy alta se traducirá en el incremento de la tasa metabólica, y concomitantemente un incremento en la tasa de consumo de oxígeno y un aumento en la excreción de amoníaco y dióxido de carbono (Lu et al. 1999). Igualmente, y no menos importante, es la salinidad la que por lo general está relacionada con el control de la presión osmótica, y por lo tanto puede afectar en forma importante al balance iónico de los animales acuáticos. La temperatura y la salinidad son elementos que al no conjugarse apropiadamente, fuera del óptimo requerido por la especie, afectarán adversamente la frecuencia de alimentación, conversión de alimento, y crecimiento (Román et al. 1999).

El oxígeno es vital para el desarrollo del cultivo, en especial para expansiones en el futuro. Hasta ahora, no existe la aplicación de medios mecánicos para incrementar los niveles de oxígeno disuelto en las áreas de cultivo en el océano, y por tanto la fuente del mismo dependerá de las condiciones naturales. La cantidad de oxígeno disponible en el mar dependerá entonces del equilibrio dinámico existente con el oxígeno presente en la atmósfera (21%) (Lawson 1995, Wheaton 1982). La solubilidad del oxígeno, y de los gases en general, varía con la salinidad, temperatura, y presión. Una fuente adicional de oxígeno proviene de la actividad fotosintética de las microalgas, las que además son importantes para la adecuada nutrición de los pectínidos.

Si bien es cierto que las microalgas son la principal fuente de alimentación de los pectínidos, también pueden ser responsable de importantes cambios en la calidad del agua, las que pueden afectar positivamente o negativamente a la actividad de cultivo (Uribe 1995a). Donde existen grandes comunidades de microalgas, permanente o esporádicamente, es posible que ocurran eventos de supersaturación de oxígeno durante el día y de hipoxia o anoxia durante la noche. Los niveles de oxígeno también pueden disminuir a niveles letales, durante la muerte masiva de microalgas, debido a la respiración microbiana relacionada a los procesos de descomposición (Becker 1994).

CRITERIOS BIÓTICOS PARA LA SELECCIÓN DEL LUGAR

Las condiciones necesarias para el cultivo de pectínidos están muy relacionadas con las variables bioecológicas de la zona de cultivo. La condición ideal para instalar un cultivo es aquel lugar cercano a las poblaciones naturales o de un laboratorio para la provisión de semillas.

Presencia y Concentración de Depredadores

En ambiente natural, los pectínidos son presa natural de algunos peces, crustáceos, equinodermos y de otros organismos (ver Capítulo 14). Los pectínidos poseen diversos mecanismos de escape, siendo el más común el cierre rápido y repetido de ambas valvas y la fuerte expulsión de agua por el sifón exhalante, lo que le da la capacidad "nadadora" suficiente para escapar de su depredador (Sakurai y Seto 2000). Los otros enemigos de los bivalvos son los organismos perforadores, donde predominan los gusanos poliquetos de género *Polydora* sp. Estos gusanos se pueden considerar como una peste, ya que son capaces de penetrar las valvas y debilitar la matriz de éstas, facilitando la depredación por crustáceos y otros invertebrados (ver Capítulo 17).

Enfermedades Endémicas, Parásitos e Incrustantes ("biofouling")

Poca es la información referente a enfermedades naturales en pectínidos (Riquelme et al. 1995a, b). Las grandes mortalidades generalmente se asocian a catástrofes naturales como los temporales, ciclones, condiciones oceanográficas extremas, etc. Los moluscos bivalvos son generalmente hospedadores primarios o secundarios de parásitos de peces, por lo que la cercanía con áreas de cultivo de peces puede resultar peligrosa. Antecedentes de parasitosis en pectínidos se han descrito para *Argopecten irradians* (Karlsson 1991)

y *A. purpuratus* (Rojas y Lorchman 1999). También el exceso de epibiontes ("fouling") ha sido descrito como causante de afectar el crecimiento y supervivencia de bivalvos, principalmente como resultado de la disminución del flujo de agua a través de las unidades de cultivo reduciendo los recursos alimenticios (Lodeiros y Himmelman 1996, Moya 1998) (ver Capítulo 13).

Productividad Primaria

Los pectínidos por su naturaleza filtradora requieren durante su ciclo de vida una variada gama de tamaños de fitoplancton para alimentarse. De este modo la producción primaria medida como la cantidad carbono ($g\ C\ m^{-2}/día$) debe ser lo suficientemente alta como para mantener una biomasa potencial de pectínidos. En el caso de Bahía Tongoy donde se registra un banco natural y además existe una intensa actividad de cultivo de *Argopecten purpuratus*, los registros han oscilado entre $2.34\ g\ C\ m^{-2}/día$ en época de verano hasta $0.14\ g\ C\ m^{-2}/día$ en invierno (Uribe 1998). Idealmente es necesario establecer una línea base de información oceanográfica en función de algunas variables que debieran tenerse en cuenta como por ejemplo temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes y corrientes.

Floraciones Algales Nocivas y su Composición

La presencia de Floraciones Algales Nocivas (FAN) o también llamadas mareas rojas (ver Capítulo 15), son aumentos en la población de una especie de microalga que produce un veneno o toxina específica que pueden causar intoxicaciones en el ser humano y por tanto causar graves daños comerciales en regiones o países. Existen alrededor de 300 especies que tienen la capacidad de producir coloraciones en la superficie del mar. Sin embargo sólo 40 de estas producen potentes toxinas

que por vía de peces o moluscos filtradores llegan a los seres humanos (Suárez y Guzmán 1998) (Tabla 19.8).

TIPOS DE SISTEMAS DE CULTIVO

Sistemas Fijos

Este método fue ideado para el cultivo de la ostra japonesa y se lleva a cabo en aguas poco profundas (2 a 4 m) durante la marea baja. Dos filas de varas son colocadas verticalmente en el fondo marino y un bastidor construido con cañas de bambú es colocado sobre ellas, formando la parte superior de la estructura. En este bastidor son suspendidos cables galvanizados o pintados con brea, con una serie de conchas, que en su conjunto se denominan "cuelgas", en las cuales se fijará y desarrollará el molusco pectínido.

Este cultivo se realiza principalmente en aguas calmas al interior de las bahías, y ocasionalmente se tienen problemas de mala circulación del agua. Para superar esta dificultad, se limita la densidad de ostras o pectínidos sobre las "cuelgas" y se utiliza un mayor espacio entre los bastidores, lo que sin duda ocasiona una subutilización del recurso marítimo, el agua.

Sistemas Sumergibles

La geometría de un sistema sumergible depende de la profundidad del lugar, la posición de la línea principal o línea madre bajo la superficie, y la longitud del "long-line". Normalmente la longitud útil (conocida como línea madre) es de 100 m para mantener una tensión funcional de trabajo durante un largo periodo de tiempo, pero esta dimensión puede ser de hasta 200 m dependiendo de las características del lugar seleccionado. Estas reglas generales inciden directamente

TABLA 19.8.
Microalgas más comunes del grupo de los dinoflagelados que son capaces de concentrar toxinas de moluscos que afectan directamente la salud humana (Suárez y Guzmán 1998).

Especie de microalga	Tipo de toxina	Compuesto activo	Conc. máx. permitida (*)
<i>Alexandrium catenella</i>	Paralizante	Saxitoxina	-
<i>Alexandrium tamarense</i>	Paralizante	Saxitoxina	80µg / 100 g
<i>Gymnodinium catenatum</i>	Paralizante	Saxitoxina	-
<i>Dinophysis acuta</i>	Diarreico	Acido okadaico	20µg / 100 g
<i>Prorocentrum lima</i>	Diarreico	Acido okadaico	-
<i>Pseudo-nitzschia multiseriata</i>	Amnésico	Acido domoico	20µg/g
<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	Amnésico	Acido domoico	-
<i>Gymnodinium breve</i>	Neurológico	Brevetoxinas	80µg / 100 g
<i>Ptychodiscus brevis</i>	Neurológico	Brevetoxinas	-

(*) Concentración máxima en función de 100 gramos de tejido de molusco

sobre los costos de inversión y de operación en un cultivo comercial de moluscos (Bonardelli 1996).

Sistemas Invertidos para Captación

Este tipo de "long-line" consiste en una línea madre ubicada en el fondo marino con sus respectivas anclas en sus extremos. Las "cuelgas" colectoras son ubicadas a atadas en la línea madre, con la particularidad que en el extremo de cada cuelga se ubica una boya que le da la flotabilidad y orientación vertical fondo/superficie. Este tipo de "long-line" es recomendado para áreas poco profundas con diferencias de mareas muy significativas.

Sistemas de Media Agua para Captación

Este consiste en una línea madre ubicada paralela a la superficie, la cual también está a media agua. Las "cuelgas" son atadas a la línea madre con una orientación superficie/fondo. A diferencia de un "long-line" invertido, aquí es necesario atar a cada cuelga un peso de aproximadamente 1 Kg en su extremo libre, lo cual le dará la tensión a la cuelga. Se debe tener mucho cuidado en la flotabilidad de este tipo de "long-line" colector, esta debe ser más negativa que positiva, por lo tanto al momento de su instalación y hasta después de la fijación solo se deben colocar de 5 a 7 boyas si la dimensión del "long-line" es de 100 m.

Sistemas de Media Agua para Engorda

Este tipo de "long-line" tiene una forma similar a la de los colectores, pero presenta diferencias estructurales: (a) el grosor de la línea madre deben ser de mayor diámetro que la línea de colectores. Se recomiendan diámetros de 18-24 mm, (b) las dimensiones de las líneas de fondeo deben ser también de mayor diámetro (entre 20-29 mm), (c) los "long-line" de engorda deben ser instalados con 2 fondeos de concreto, diseñados para el lugar y con un peso apropiado para soportar las fuerzas ejercidas sobre el "long-line" durante las operaciones de cosecha.

Sistemas Flotantes

Dentro de los sistemas flotantes encontramos a los "long-lines" dobles, los cuales son ideales para lugares poco profundos y donde el área productiva es limitada en espacio. Este tipo de "long-line" consiste en dos líneas madres paralelas en la superficie, las cuales están unidas en sus extremos comunes a los respectivos cabos o líneas de fondo (una por extremo). Las líneas madre son separadas por boyas de forma ovalada de un largo

aproximadamente de 1.5 m. Este tipo de "long-line" es recomendado para ser usado en áreas muy protegidas como por ejemplo algunas zonas de canales o manglares.

Otro de los sistemas flotantes lo conforman las balsas, las que consisten en una estructura rígida de variada forma geométrica y dimensiones, que se sostienen mediante flotadores. Entre los tres tipos de cultivo suspendido, la balsa posee el máximo rendimiento por unidad de área. Los lugares seleccionados para las balsas son bahías relativamente profundas con corrientes de marea rápidas. Sin embargo, se tiende a ubicarlas en aguas más calmadas como en bocas de bahías y golfos. No obstante, el uso de la balsa ha tenido limitados resultados para algunas especies, como es el caso de los pectínidos (Román y González 1985, Román y Acosta 1990a, b).

Sistemas de Fondo o Corral

Estos sistemas tienen su origen en el Japón, y se han aplicado en Chile como una alternativa de incrementar la biomasa en producción en épocas de exceso de captación de semilla natural. Swan (1989) describe claramente el procedimiento, el cual consiste en la siembra de animales mayores a 3 cm de longitud en el fondo marino, que aseguran 30 a 50% de supervivencia, pues tallas menores han presentado altas tasa de mortalidad causadas principalmente por depredadores naturales (ver Capítulo 11). La densidad de siembra debe ser de 10 a 15 semillas por metro cuadrado que rendirían 5 pectínidos/m² en la época de cosecha (Stotz y González 1997), aunque densidades mayores han sido aplicadas en Chile (50/m²). Las semillas cultivadas en el fondo marino suelen tener un crecimiento menor que aquellas que están suspendidas en "long-lines" (Goudey y Smolowitz 1996).

CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DEL "LONG-LINE"

La estructura de cultivo hasta ahora descrita como "long-line" se compone principalmente por un sólo cabo el cual se subdivide, para efectos técnicos, en dos secciones: líneas de fondeo y línea madre. El acercamiento básico del diseño y dimensionamiento consiste en establecer las fuerzas que se ejercerán sobre las estructuras del "long-line", esto es: flotadores, líneas de fondeo, línea madre, y unidades de cultivo. La disposición típica de un "long-line" y sus estructuras se muestran en la Figura 19.11, las que serán analizadas en este trabajo para ilustrar su dimensionamiento.

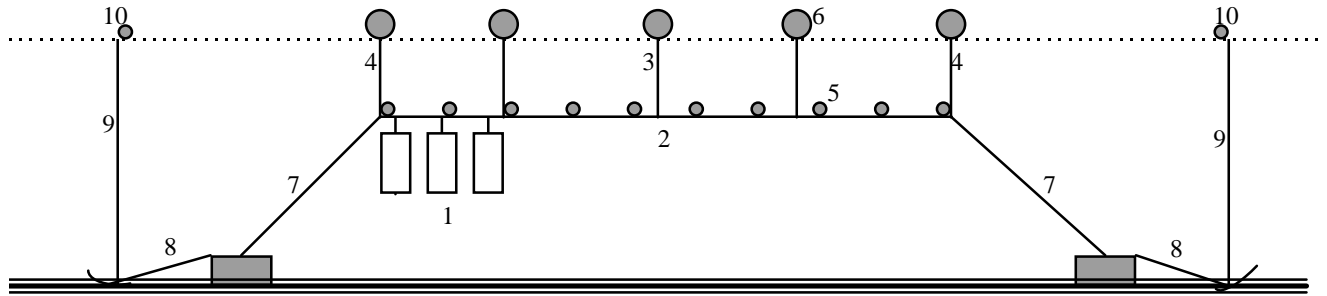


Figura 19.11. Disposición típica de un "long-line" de cultivo en Chile. 1) unidades de cultivo, 2) línea principal o línea madre, 3) cabo de boyas, 4) cabo primera boya, 5) boyas intermedias, 6) boyas superficiales, 7) línea de fondeo, 8) fondeos, 9) cabo línea orinque, 10) boya de fondeo.

Unidades de Cultivo

Las unidades de cultivo más utilizadas en el sistema "long-line" son las bolsas colectoras de juveniles, cajas perleras o "pearl-nets", y linternas (Fig. 19.12) (Pangue 1996, Riquelme 1997). Para estudiar las fuerzas sobre las unidades de cultivo se deberán considerar las peores condiciones, y bajo este concepto se asumirá la red totalmente bloqueada por el crecimiento de epibiontes ("biofouling"), presentando una pared sólida contra las corrientes y olas (Merino 1997b).

Las tensiones generadas por efecto del viento pueden ser descartadas, debido a que todas las unidades de cultivo están sumergidas, y si se considera que una linterna bloqueada por "fouling" se comporta como un cilindro (Fig. 19.13), entonces el valor del coeficiente de arrastre (C_D) puede obtenerse a partir de la Tabla 19.9, la cual resume las relaciones entre diferentes proporciones de longitud (L) y diámetro (d) de un cilindro con su respectivo valor C_D , y luego incorporar el valor en la ecuación de Morison (Berteaux 1976):

$$F_D = \frac{1}{2} * C_D * \rho * A * |v| * v \quad (12)$$

donde: F_D = fuerza de arrastre, C_D = coeficiente de arrastre, ρ = densidad másica del fluido, A = área proyectada de la estructura y $|v| * v$ = valor absoluto es introducido en lugar de v^2 para mantener el signo de la fuerza de la corriente.

Debido al crecimiento de los pectínidos (Roman et al. 1999) y de la fijación del "biofouling" (Lodeiros y Himmelman 1996), las unidades de cultivo irán aumentando su peso en el sentido de su eje vertical. Luego, utilizando el concepto de flotación y desde un punto de vista estático, será posible determinar el peso de las unidades de cultivo a través de:

$$\text{Flotación} = \text{Peso del cuerpo seco} * [1 - (\rho/\rho_B)] \quad (13)$$

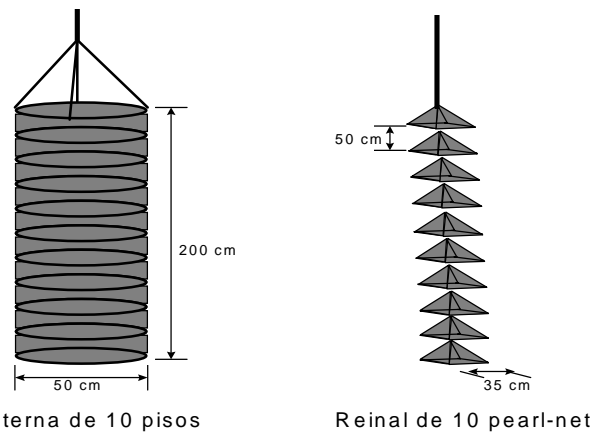


Figura 19.12. Diagrama de algunas unidades de cultivo de pectínidos y ostras (no a escala).

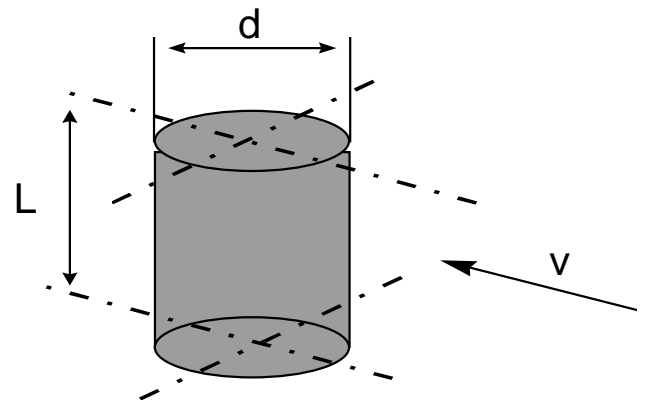


Figura 19.13. Cilindro de diámetro "d" y longitud "L" perpendicular al flujo (v).

donde: ρ = densidad del fluido (Kg/m^3) y ρ_B = densidad del cuerpo (Kg/m^3).

Una vez obtenida la tensión máxima de las unidades de cultivo debidas al peso de los animales y al "fouling", se podrá determinar el diámetro requerido de cabo para

TABLA 19.9.
Coefficiente de arrastre (C_D) de un cilindro con eje perpendicular al flujo (Smith 1974).

Forma del cuerpo	Relación de dimensión Longitud/diámetro	C_D
Cilindro	1	0.63
	2	0.68
	5	0.74
	10	0.82
	20	0.90
	40	0.98
	∞	1.20

mantener las unidades atadas a la línea madre, para lo cual se sugiere utilizar la siguiente expresión (Martínez y Carroza 1991):

$$D = (T_M * F_S / C_R)^{0.5} \quad (14)$$

donde: D = diámetro de cabo (mm), T_M = tensión máxima debida a la unidad de cultivo (N), F_S = factor de seguridad (adimensional) y C_R = constante de resistencia del cabo, dada por el fabricante (N/mm^2).

Sistema de Cabos

En todo sistema de cultivo suspendido los cabos son los materiales en los cuales se debe tener especial cuidado en su elección, especialmente debido a la gran variedad existente en el mercado (Beveridge 1987, Merino 1997b). Una vez que se ha determinado la tensión y resistencia de los cabos que se requieren para confeccionar el sistema de cultivo, es necesario determinar el material y la estructura de estos cabos. Los más usados son los confeccionados sobre la base de polietileno y otros sobre la base de polipropileno (Beveridge 1987). En ambos encontramos monofilamentos y polifilamentos. Basado en la experiencia de los autores, se sugiere que los mejores cabos para desarrollar un sistema de cultivo son los fabricados con polipropileno y con una estructura de monofilamento, debido a que estos presentan resistencia al corte mayor que los de estructura de polifilamentos. Además los cabos de monofilamento presentan una mayor resistencia a la abrasión lo que los hace más seguros.

Un factor que afecta en forma directa a los cabos es la exposición a la radiación solar, por lo tanto es muy importante en la selección de estos, determinar si están tratados con protección UV. Normalmente los cabos con tratamiento UV son de color negro. Por estas razones la adecuada o inadecuada elección de un cabo puede llevar consigo el éxito o el fracaso del cultivo.

Cabo de las Boyas Superficiales y Sumergidas

Para la determinación del diámetro del cabo de las boyas, se requiere conocer las tensiones a las que ellas serán sometidas. Primero, se deberá calcular el peso total de la estructura sumergida (Ec. 13) que se debe elevar a través del sistema de flotación de la línea madre. Posteriormente se calcula el peso total estructural en Kg de la línea madre (W_{L-L}). El peso total del sistema "long-line" sumergido (Fig. 19.11) deberá ser calculado a partir de la sumatoria de pesos de cada componente estructural de la línea madre bajo las peores condiciones de trabajo. Luego, considerando la Ec. 13, se tiene :

$$W_{L-L} = \sum \text{Flotación } i \quad (15)$$

Después se calcula el peso longitudinal (Kg/m) de la línea madre (W_L). En este caso se divide el peso estructural de la línea madre (W_{L-L}) por la longitud útil de la misma (s), y de este modo será posible conocer cuántas boyas por unidad de longitud requerirán para mantener la línea madre en un estado de flotación neutra. La siguiente ecuación resume la idea :

$$W_L = W_{L-L} / s \quad (16)$$

Finalmente se calcula el diámetro del cabo de boya. Si se asume que la configuración adoptada entre dos boyas que sostienen a la línea madre es parecida a una catenaria, entonces será posible utilizar la siguiente expresión para relacionar la forma y la tensión sobre la línea (Berteaux 1976):

$$x = \int \frac{T_0 * \sinh^{-1} (P_x/T_0)}{P} \quad (17)$$

$$y = \int dy = \frac{T_0}{P} * (\cosh (P_x/T_0) - 1) \quad (18)$$

$$s = \frac{T_0}{P} * \sinh (P_x/T_0) \quad (19)$$

$$T_{MAX} = (T_H^2 + T_v^2)^{0.5} = (T_0^2 + P_s^2) \quad (20)$$

donde: y = eje vertical de la ecuación de la catenaria, s = longitud del cabo de la catenaria, x = eje horizontal de la ecuación de la catenaria, T_{MAX} = tensión máxima (Kgf), $T_0 = T_H$ = tensión horizontal mínima de la catenaria. Constante para toda la longitud del cabo (N), P_x o P = vector de tensión total u horizontal del ancla o de la unidad de cultivo, $P_s = T_v$ = vector de tensión vertical del ancla o de la unidad de cultivo, \cosh = coseno hiperbólico y \sinh = seno hiperbólico.

Una vez obtenida la máxima tensión, entonces se podrá determinar el diámetro del cabo a través de la Ec. 14, descrita previamente. En resumen, las coordenadas de cualquier punto a lo largo del cabo (línea de fondeo, línea madre) están dadas por las Ec. 17 y Ec. 18. A su vez la longitud de arco desde el origen al punto mencionado se obtiene por la Ec. 19, y la tensión en el punto de anclaje a través de la Ec. 20. El análisis para líneas de fondeo y/o madre, en donde el punto de anclaje o de la unidad de cultivo no esté en el origen de coordenadas, podrá ser obtenido por medio de valores calculados en el extremo final de la línea (por ejemplo, $s = s_2 - s_1$).

Línea Principal o Madre

En relación a la longitud de la línea principal o línea madre, ésta se determina tomando en cuenta diferentes aspectos, siendo los siguientes algunos de los más importantes:

- Nivel de producción: es establecido por las propias políticas de producción de cada centro de acuicultura, y está en función de los niveles de inversión, cantidad de juveniles, capacidad de procesamiento, demanda de mercado, características marinas del lugar de acuicultura, etc. (Riquelme 1997).
- Productividad: La productividad tiene algunas fluctuaciones que dependen principalmente de aspectos naturales, tales como fenómenos oceánicos, mareas, corrientes, etc. los que podrían cambiar las concentraciones de los nutrientes en el medio ambiente. Otras causas de fluctuaciones de la productividad son contaminación del medio ambiente por desechos industriales, desechos agrícolas, etc. (Wolff 1994, Uribe 1995b).
- Aspectos de diseño: el material de cultivo se adquiere en longitudes discretas, generalmente establecidas por el fabricante. Usualmente los cabos son extendidos completamente de ancla a ancla, evitando uniones intermedias que podrían ser causantes de fallas estructurales durante el periodo de operación (Pereira 1996).

Para cuantificar las fuerzas que actúan sobre la línea madre, Berteaux (1976) recomienda resolver el problema sólo con poner el origen de coordenadas en un extremo de la línea madre, que dará un valor T_h con el que será posible determinar el diámetro del cabo por aplicación de la Ec. 14:

$$T_h = R_h + F_h + T_o \quad (21)$$

donde: T_h = fuerza total horizontal en el extremo de la línea madre, R_h = resistencia hidrodinámica de las

estructuras de la línea madre, F_h = fuerzas horizontales debidas a las fuerzas dinámicas (olas, vientos) y T_o = fuerzas horizontales debidas a fuerzas gravitacionales (peso cabo, peso biofouling).

Cabo y Boya de Orinque

De acuerdo con las características de trabajo que realiza este cabo (componente del "long-line"), su diámetro no debe ser menor al de la línea madre o al de la línea de fondeo, debido a que es un elemento muy importante para las operaciones de instalación y relocalización del sistema de cultivo tipo "long-line". Luego, la longitud del cabo de orinque puede obtenerse fácilmente aplicando el principio de la catenaria, para un cabo de diámetro conocido, así como también conociendo las magnitudes de resistencia hidrodinámica del mismo, cuando esté bajo condiciones de trabajo. El volumen y la corrección de la flotación de la boya de orinque puede realizarse por las Ec. 22 y Ec. 23, respectivamente.

Sistema de Flotación

En la actualidad es posible encontrar en el mercado una gran variedad de boyas, las que van desde altos costos hasta las más económicas. Dentro de esta variedad destacan:

Boyas de polietileno expandido: Este tipo de boyas es de muy bajo costo y de baja durabilidad ya que están expuestas directamente al medio. Son fuertemente afectadas por la radiación solar y después de un tiempo se llenan de agua, lo que hace que su flotabilidad se torne negativa y pierden su funcionalidad. Sólo se recomienda usar este tipo de boyas como un sistema de demarcación para los "long-line". Jamás se deben usar para dar flotabilidad a la línea madre.

Boyas plásticas: Este tipo de boyas esféricas son de un alto costo, pero son de alta durabilidad y resistencia a las altas presiones. Son ideales para ser usadas o instaladas a lo largo de la línea madre.

Boyas de polipropileno: Este tipo de boyas son de un costo mayor que las boyas plásticas, pero su particularidad es que pueden ser reparadas e infladas fácilmente, lo que les da una vida útil mucho mayor que cualquier otro tipo de boyas (5 a 6 años). Son ideales para ser usadas en "long-lines" dobles, ubicados en la superficie.

Dimensionamiento de las Boyas

El peso del sistema de cultivo (animales, epibiontes o "fouling", cabos) son parte de las fuerzas gravitacionales del sistema, y pueden ser compensadas a través

de un sistema de flotación bien dimensionado (Carroza 1990). Por medio de los análisis y resultados de la Ec. 16, es posible conocer el peso por unidad de longitud de la línea madre, y por tanto la cantidad de boyas requeridas y el peso que estas deberán ser capaces de sustentar en la columna de agua. El volumen de las boyas puede ser fácilmente estimado por :

$$V_B = [W / [(\rho - \rho_B) * g]] * F_S \quad (22)$$

donde: V_B = volumen de la boya (m^3), W = peso a sustentar por la boya, ρ = densidad agua mar ($1025 \text{ Kg}/m^3$), ρ_B = densidad del material de la boya (Kg/m^3), g = aceleración de gravedad ($9.8 \text{ m}/s^2$) y F_S = factor de seguridad.

La flotación de la boya debe ser corregida a medida que se van depositando incrustantes (fouling) y por el crecimiento de los animales. La corrección puede estimarse por:

$$\text{Flotación}' = \text{Flotación} - W \quad (23)$$

donde: Flotación' = flotación corregida de la boya (Kg), Flotación = flotación inicial de la boya (Kg) y W = peso sumergido de las estructuras a sustentar (Kg).

Sistema de Fondeos

Existen tres fuerzas (olas, corrientes y vientos) que actúan sobre el "long-line". Estas fuerzas también actuarán sobre la embarcación de trabajo, y si ella está en maniobras de inspección de la línea, entonces las fuerzas serán transmitidas a la línea madre, a la línea de fondeo, y por último al sistema de fondeo (Bonardelli 1996). Por tanto, el sistema de fondeo deberá ser suficientemente grande para resistir la peor combinación posible de estas fuerzas, sin desplazarse o colapsar (Schellin y Ostergaard 1995).

Fondeo tipo Anclas: Este tipo de fondeos son recomendadas para la instalación de líneas colectoras ubicadas en fondos blandos. Unas de las ventajas de este tipo de fondeos es que son fáciles de instalar, de remover y trasladar cuando no están en uso. Son ideales para "long-lines" de captación de larvas, pues se pueden mover fácilmente a otro lugar de fijación. Dentro de las desventajas de este tipo de fondeo es que al ser de metal están siendo afectadas constantemente por la corrosión, lo que les da una duración limitada. Otra desventaja es su alto costo.

Fondeos de Concreto: Este tipo de fondeos son muy recomendados para líneas fijas como las usadas para engorde, debido a que una vez instalados se entierran

en el fondo marino. El costo de fabricación es bajo, son de alta durabilidad, y se pueden instalar en cualquier tipo de fondo marino. Existen ciertos criterios que determinan el peso de los fondeos de concreto. Por ejemplo, si el lugar de cultivo presenta corrientes menores a 2.5 nudos se recomiendan bloques de concreto de un peso aproximado de 2,500 Kg. Por el contrario, si en el lugar ocurren corrientes más elevadas, se recomienda usar bloques de concreto con peso superiores a los 3,500 Kg. Dentro de los fondeos de concreto existe una gran variedad de formas (piramidales, rectangulares, cuadradas) siendo el más usado y recomendado el de forma de zapato. El fondeo tipo "zapato" presenta ciertas características que lo hacen ideal para la instalación de un "long-line": (a) su terminación en punta permite que se entierre con facilidad en el fondo de la misma forma que lo haría un ancla, (b) su espacio angular en la base inferior del fondeo actúa como una ventosa en el fondo marino lo que permite mantenerse inmóvil.

Dimensionamiento de la Línea de Fondeo

La línea de fondeo es definida por Berteaux (1976) como el miembro mecánico y flexible que conecta y une la estructura flotante a sus puntos de anclaje. Bonardelli (1996) indicó que si se asume una distancia constante entre las anclas, se tendrá que a medida en que la profundidad de la línea de fondeo se incrementa, la tensión y el segmento usable de la línea madre decrecen, y la relación de trabajo sugerida por este autor es de 1.6:1.0 (longitud línea de fondeo: profundidad del lugar). Carroza (1990) estableció a través de un modelo a escala, la interacción entre la línea madre, la primera boya de línea y la línea de fondeo de un "long-line", encontrando que la configuración que minimiza la tensión resultante sobre la línea de fondeo se logra a través de la relación de aspecto de 3.5:1.0 y 5.5:1.0, con ángulos de fondeo de 72.0° y 83.5° respectivamente. Se deberá tener en cuenta que con una relación de aspecto alta entre la longitud y la profundidad del lugar se reducirá el efecto de las fuerzas verticales sobre el sistema de fondeo. Sin embargo, los costos relativos para este sistema se elevan debido a la necesidad de mayor extensión de cabos. En Chile, usualmente se utiliza la relación de aspecto de 3.0 :1.0 para todos los sistemas productivos que utilizan la técnica "long-line" (Merino 1997b). Un acercamiento preliminar de diseño para dimensionar la longitud de la línea de fondeo, es:

$$n = j * z \quad (24)$$

donde: n = longitud de la línea de fondeo (m), j = valores observados en terreno para el anclaje de embarcaciones, "long-lines" y balsas jaulas (3.0 < j < 5.5) y z = profundidad del lugar (m).

Ahora, si se establece un diagrama de equilibrio sobre la configuración diagonal entre el extremo de la línea madre con la línea de fondeo, se tendrá que las fuerzas pueden ser analizadas a través del principio de la catenaria, adoptándose una estrategia similar de análisis en donde se aplicarían las Ec. 17, 18, 19 y 20. Luego, cuando se obtenga la máxima tensión que actúa sobre la línea de fondeo, entonces podrá ser determinado el diámetro del cabo por medio de la Ec. 14.

Dimensionamiento del Fondeo

De los análisis anteriores se tiene que el principal factor que genera resistencia hidrodinámica sobre el sistema "long-line" son las unidades de cultivo. En efecto, las "pearl-nets" y las linternas causan un efecto de pared normal al flujo de agua, creándose tensiones que se transmiten a la línea de fondeo y por último al anclaje. Para dimensionar y diseñar el anclaje o fondeo, han de considerarse además las características físicas del fondo del lugar de instalación, entre ellas la pendiente, tipo de substrato y la dinámica del substrato (Uribe et al. 1988, Whitlow 1994, Kery 1996).

El volumen del ancla puede determinarse por medio del reordenamiento de la Ec. 25b, para despejar VB:

$$\begin{aligned} \text{Flotación} &= F_B - W_B & (25) \\ F_B &= V_{FB} * \rho * g & (25a) \\ W_B &= V_B * \rho_B * g & (25b) \end{aligned}$$

donde: F_B = fuerza de empuje (Kg), W_B = peso del cuerpo seco (Kg, N), V_{FB} = volumen de fluido desplazado por el cuerpo (m³), V_B = volumen del cuerpo (m³), ρ = densidad del fluido (Kg/m³), ρ_B = densidad del cuerpo (Kg/m³) y g = aceleración de gravedad (9.8 m/s²).

La siguiente ecuación permite obtener el peso sumergido requerido para el anclaje en función de las fuerzas analizadas con anterioridad :

$$W_{sub} = (T_{MAX} * \cos \phi / \mu) + T_{MAX} * \text{sen } \phi \quad (26)$$

donde: W_{sub} = peso sumergido requerido para el anclaje, T_{MAX} = tensión máxima del cabo de la línea de fondeo (Ec. 20), μ = coeficiente de roce del substrato y

φ = ángulo formado entre el substrato y el cabo de la línea de fondeo (grados).

Ahora, a través de un punto de vista técnico será posible hacer una preselección entre las diferentes clases de fondeos presentes en el mercado (Tabla 19.10) para un lugar determinado, en base a su "coeficiente de agarre" (K), el cual relaciona la fuerza de agarre (H) con el peso seco del ancla (W_B) (Ec. 25b)

$$K = H / W_B \quad (27)$$

Beveridge (1987), indica que el valor de K también depende del ángulo formado entre el fondeo y la superficie del agua, además de la relación existente entre la longitud del cabo de fondeo y la profundidad del lugar, y de la naturaleza del substrato (Tabla 19.11).

CONSIDERACIONES OPERATIVAS Y PROBLEMAS

Grúas, Embarcaciones y Selección de Tamaños

Muchos de los problemas de ausencia laboral por dolores lumbares, así como también altas mortalidades en los animales, fueron reducidas al introducir sistemas mecánicos apropiadamente diseñados para las operaciones de alzamiento de sistemas de cultivo, desdobles y selección de tallas. Una de las primeras modificaciones fue el rediseño de las embarcaciones con mayor capacidad de almacenaje. Además fueron equipadas con grúas hidráulicas. Las grúas facilitaron y agilizaron

TABLA 19.10.
Coefficiente de agarre (K) de diferentes fondeos bajo dos tipos de substrato.

Tipo de fondeo	Tipo de substrato	
	Arena	Arcilla
Stockless	4.4 < K < 16.0	2.0 < K < 7.5
Mushroom	2.0 < K < 2.5	5.0
Danforth	14.6 < K < 21.0	7.1 < K < 8.5
Stato	20.0 < K < 35.0	15.0 < K < 22.0
Boss	30.0 < K < 55.0	22.0 < K < 35.0

TABLA 19.11.
Coefficientes de agarre (K) para fondeos tipo saco de arena actuando bajo diferentes substratos, y a distintas relaciones de aspecto entre longitud cabo fondeo (L) y profundidad del lugar (z).

Substrato	Relación de aspecto L : z				
	1	2	3	4	5
Arena	0.19	0.53	0.63	0.70	0.74
Arcilla arenosa	0.10	0.32	0.36	0.36	0.62
Arcilla	0.05	0.23	0.27	0.35	0.41

las operaciones diarias de control y cosecha de "long-lines", reduciendo los problemas lumbares en los operarios (Fig. 19.14). La mayor capacidad de almacenamiento en las embarcaciones, permitió transportar más animales, y las operaciones de desdoble fueron agilizadas con la incorporación de sistemas mecánicos de tipo rotatorio o de bandeja.

Limpieza y Reparación de Sistemas de Cultivo

La eliminación de epibiontes de los "long-line" es de suma importancia. La limpieza debe incluir la línea de fondeo, la línea madre y las boyas. Un exceso de "fouling" en estos artefactos traerá como consecuencia que el "long-line" pierda su tensión, dinámica y flotabilidad. Se recomienda realizar una limpieza de cabos cada 3 meses y una revisión semanal de las boyas, para su limpieza o reemplazo. Por seguridad, jamás se deben limpiar los cabos con objetos cortantes, debido a que pueden dañarse.

La reparación de los cabos no es recomendable ya que después de que se ha producido el primer corte o ruptura es probable que esto pueda volver a ocurrir, produciéndose pérdidas económicas muy importantes.

En lo que respecta a colectores, "pearl-nets", linternas u otra unidad de cultivo, se recomienda su uso y reparación únicamente durante su vida útil. Después de ésta se recomienda reemplazarlos por materiales nuevos, por razones de costo y eficiencia.

Mecanización de la Limpieza de Materiales

La utilización de máquinas ha permitido agilizar la limpieza de los materiales de cultivo, y aumentar la rotación de los mismos hacia los centros de acuicultura. Las hidrolavadoras automáticas se usan para remover los epibiontes ("biofouling") de las unidades de cultivo (Fig. 19.15). Sin embargo, las boyas aún siguen siendo limpiadas manualmente (Fig. 19.15) pues se carece hasta el día de hoy de un diseño mecanizado efectivo.

Un problema no visualizado inicialmente por los acuicultores de pectínidos en Chile fue la acumulación de material orgánico al final del proceso de limpieza de los materiales. A partir de 1997 el Servicio Nacional de Salud de Chile reguló la forma en que deberían tratarse los desechos, lo cual produjo problemas a la industria. En esta ocasión los productores de China o Japón no poseían la tecnología desarrollada para enfrentar esta nueva problemática pero gracias a los resultados de un proyecto de investigación y de desarrollo tecnológico realizado en Chile, se ha logrado dar solución, creando de plantas de tratamiento de aguas residuales del proceso de hidrolavado, y una metodología para el

manejo de desperdicios sólidos (Merino et al. 1997, 1998).

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente, el cual es definido por las normas sanitarias o de protección ambiental correspondientes a cada país. En la Tabla 19.12 se presenta una clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, antes de poder verterla al cuerpo receptor o bien llevarla al tratamiento secundario. El tratamiento secundario comprende el tratamiento de las materias no sedimentables y en el terciario, se eliminan los contaminantes que no se limpian con los tratamientos primario y secundario.

A partir de 1997, la mayor parte de las empresas productoras de pectínidos en Chile, realizan el tratamiento primario con algunas diferencias en el grado de complejidad. Sólo una empresa realiza el tratamiento secundario de activación de lodos por vía aeróbica. La aplicación de tratamientos terciarios a los residuos industriales líquidos la realizan la mayoría de las empresas a través de piscinas o drenes de infiltración.

TABLA 19.12.
Tratamientos primarios, secundarios y terciarios de aguas residuales (Ramalho 1996).

Tratamientos primarios
Cribado o desbrozo
Sedimentación
Flotación
Separación de aceites
Homogenización
Neutralización
Tratamientos secundarios
Lodos activos
Aireación prolongada (procesos de oxidación total)
Estabilización por contacto
Estabilización por lagunaje
Filtros biológicos (percoladores)
Discos biológicos
Lagunaje con aireación
Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activos: aireación por fases, mezcla completa, aireación descendente, alta carga, aireación con oxígeno puro
Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros (sumergidos)
Tratamientos terciarios o «avanzados»
Microtamizado
Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas.
Precipitación y coagulación
Adsorción (carbón activado)
Intercambio iónico
Ósmosis inversa
Electrodialísis
Cloración y ozonización
Procesos de reducción de nutrientes
Otros

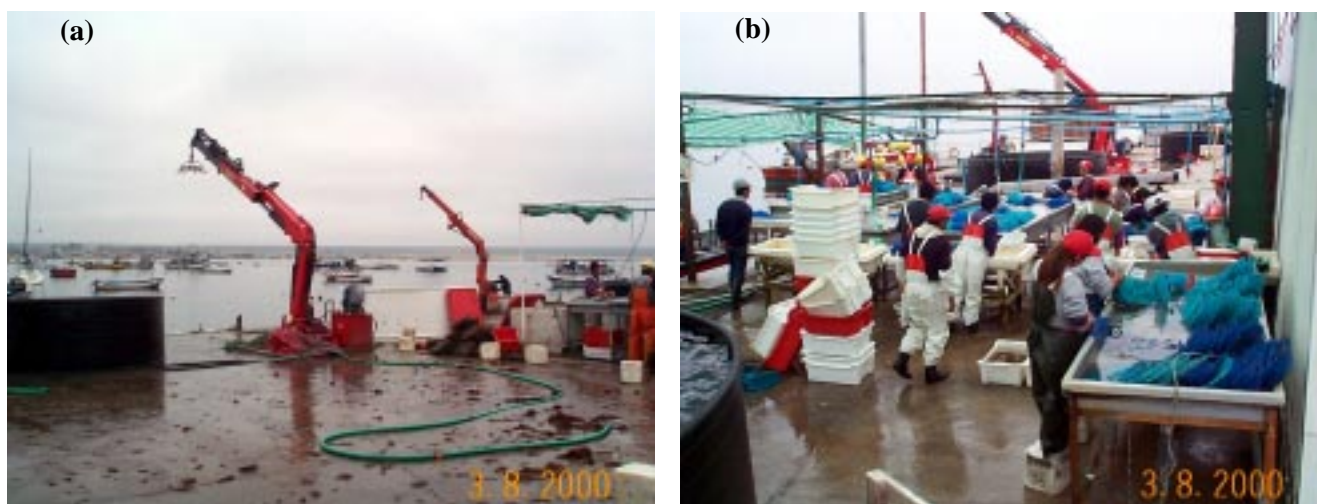


Figura 19.14. (a) Grúas hidráulicas localizadas en muelle de trabajo. (b) Operaciones diarias de selección de tallas y desdoble (Cortesía de Pesquera San José, Chile).



Figura 19.15. (a) Boyas empleadas en los sistemas de cultivo en suspensión "long-lines" en proceso de limpieza en Chile. (b) Proceso de limpieza de las unidades de cultivo en Chile, empleando hidrolavadoras.

La selección de los procesos de tratamiento de aguas residuales dependen de un cierto número de factores determinados por las normas respectivas de protección ambiental, entre los que se incluyen:

- a) Características del agua residual: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos.
- b) Calidad del efluente de salida requerido.
- c) Costo y disponibilidad de terrenos: por ejemplo ciertos tratamientos biológicos (lagunaje, estanques de estabilización) son económicamente viables únicamente en el caso de que se disponga de terrenos de bajo costo.
- d) Consideración de las futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertido más estrictos,

que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en el futuro.

- e) Costo local del agua: ciertos tratamientos sofisticados (p. ej. ósmosis inversa) podrían justificarse en determinadas regiones en que el costo del agua es elevado, y estarían fuera de lugar en regiones de bajo costo del agua.

En general, los sistemas de tratamiento de aguas residuales implementados en las empresas de cultivo de pectínidos consisten en sistemas de filtración continua para la separación y concentración de los sólidos que están siendo removidos de los materiales de cultivo y del agua que es utilizada cíclicamente por las hidrolavadoras. Luego de la filtración mecánica le sigue un tratamiento mixto de extracción de grasas y sedimen-

tación de aquellos sólidos que no fueron removidos por los filtros. Finalmente el agua es desinfectada (por aplicación de luz ultravioleta u ozono) y filtrada a nivel de micrones a través de filtros de arena a presión. Esta agua ya tratada retorna a las hidrolavadoras y el ciclo se inicia nuevamente. En la actualidad (2000) se trabaja en

la implementación de sistemas de tratamiento con miras a la oxidación del amoníaco, así como también en la posibilidad de biodegradar los sólidos orgánicos a través de bioreactores, cuya finalidad será la producción de gas.

LITERATURA CITADA

- Akaboshi, S. & J. Illanes. 1983. Estudio experimental sobre la captación, pre-cultivo y cultivo, en ambiente natural de *Chlamys (Argopecten) purpurata*, Lamarck 1819, en Bahía Tongoy, IV Región, Coquimbo. pp. 233-254. *En: H. Fuentes, J. Castillo & L. DiSalvo (eds.). Symp. Int. Avances y Perspectivas de la Acuicultura en Chile, Universidad del Norte, Coquimbo, Chile, Septiembre 1983.*
- Ambler, R., M. Edding, A. Rodríguez & S. Escobar. 1988. Excreción de amonio por *Argopecten purpuratus* (Mollusca: Pectinidae) y su utilización por *Gracilaria* sp. (Rodophyta, Gracilariaceae): A possibility of polyculture. *Gayana Bot.*, 45:309-315.
- Bariles S. & U. Gaete. 1991. Induction of sperm release in the scallop *Argopecten purpuratus* (Bivalvia:Pectinidae) using serotonin (5-hidroxytryptamine). *Malacol. Rev.* 24 (1-2):19-24.
- Barraza, J. 1999. Diseño y construcción de hatchery para moluscos. pp. 31-43. *En: Memorias del Segundo Curso Internacional de Ingeniería de Cultivo en Moluscos. Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.*
- Barnabe, G. 1991. Acuicultura. Ediciones Omega S.A., Barcelona. 369-394 pp.
- Becker, E. 1994. Microalgae. Biotechnology and microbiology. Cambridge University Press. 293 pp.
- Berteaux, H. 1976. Buoy engineering. A Wiley-Interscience Publication. 314 pp.
- Berrios, M. 1999. Oceanografía aplicada a los cultivos. pp. 10-18. *En: J. Illanes (ed.). 2º Curso Internacional en Cultivo de Moluscos. JICA-AGCI-UCN. 18 Octubre-12 Noviembre, 1999. Coquimbo, Chile.*
- Beveridge, M. 1987. Cage aquaculture. Fishing News Books Ltd., England. 351 pp.
- Bonardelli, J. 1996. Long-line shellfish culture in exposed and drift ice environments. pp. 235-253. *En: M. Polk (ed.). Open Ocean Aquaculture. Proceedings of an International Conference. Portland, Maine. May 8-10, 1996.*
- Bourne, N., A. Hodgson & J. Whyte. 1989. A manual for scallop culture in British Columbia. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences N° 1694. 215 pp.
- Boyd, C. 1982. Water quality management for pond fish culture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier. 318 pp.
- Brown, C. & C. Nash. 1988. Planning an aquaculture facility - with special emphasis on bioprogramming. pp. 19-20. *En: Aquaculture Engineering Technologies for the Future. University of Stirling, Scotland, 20-23 June, 1988.*
- Carroza, L. 1990. Determinación de una metodología para la selección y dimensionamiento de un sistema de anclaje para un long-line de cultivo. Tesis para optar al Título de Ingeniero Pesquero. Escuela de Ciencias del Mar, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Valparaíso, Chile. 187 pp.
- Cole, F., J. Parsons & C. Couturier. 1996. Flow dynamics in and around pearl nets of various mesh sizes. *Bull. Aquacul. Assoc. Canada* 3:77-79.
- Coll, J.L. 1991. Acuicultura Marina Animal. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 700 pp.
- Colt, J. & G. Tchobanoglous. 1979. Design of aeration systems for aquaculture. *En: L. Allen & E. Kinney (eds.). Proc. Bioeng. Symp. Fish. Cult, Traverse City, MI, October 1979.*
- Colt, J. & C. Orwicz. 1991. Aeration in intensive culture. *En: D. Brune & J. Tomasso (eds.). Aquaculture and Water Quality. World Aquac. Soc., Baton Rouge, LA.*
- Di Salvo, L.H. 1988. Cultivo de ostiones en sistemas de hatchery. pp. 111-112. *En: Memorias del taller internacional sobre producción de larvas y juveniles de especies marinas. Universidad Católica del Norte. Coquimbo, Chile.*
- Di Salvo, L., E. Alarcón, E. Martínez & E. Uribe. 1984. Progress in mass culture of *Chlamys (Argopecten) purpurata* Lamarck (1819) with notes on its natural history. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 57:35-45.
- Driscoll, F. 1986. Groundwater and wells. Second Edition. H.M. Smyth Company, Inc., USA. 1089 pp.
- Dupouy, H. 1983. Le pectiniculture à Saint Pierre et Miquelon. *Science et Pêche Bull. Ins. Pêches Marit. France.* 13 pp.
- Escobal, P. 1996. Aquatics systems engineering: devices and how they function. Selection, installation

- and operation. Dimension Engineering Press, California, USA. 206 pp.
- FAO. 1999. FAO fishery information, data and statistics unit. Aquaculture production statistics 1988-1997. FAO fisheries circular, No 815, Rev. 11, 203 pp.
- Faust, S. & O. Aly. 1998. pp. 273-312. *En*: Chemistry of water treatment. Ann Arbor Press, USA.
- Gaylord, B. 1999. Detailing agents of physical disturbance: wave-induced velocities and accelerations on a rocky shore. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 239:85-124.
- Goudey, C. & R. Smolowitz. 1996. Open ocean culture of sea scallop off New England. pp. 179-191. *En*: M. Polk (ed.). Open Ocean Aquaculture. Proceedings of an International Conference. Portland, Maine. May 8-10, 1996.
- Huguenin, J. & J. Colt. 1989. Design and operating guide for aquaculture seawater systems. Elsevier, Amsterdam. 264 pp.
- Illanes, J. 1988. Experiencias de captación de larvas de ostión (*Argopecten purpuratus*) en Chile, IV Región. pp. 53-57. *En*: E. Uribe (ed.). Producción de larvas y juveniles de especies marinas. Universidad del Norte, Sede Coquimbo, Chile.
- Illanes, J.E. 1990. Cultivo del ostión del norte, *Argopecten purpuratus*. pp. 211-230. *En*: A. Hernández (ed.). Cultivo de Moluscos en América Latina. Memorias segunda reunión grupo de trabajo técnico Ancud - Chile.
- Illanes, J.E. 1996. Ingeniería conceptual y básica de diseño de hatchery para moluscos. *En*: 9° Curso internacional en cultivo de moluscos. UCN-JICA, Coquimbo, Chile.
- Illanes, J. & S. Akaboshi. 1985. Tecnologías de Cultivo. pp. 23-27. *En*: 1er Taller de Acuicultura: Conocimiento actual y perspectivas en el cultivo del Ostión del Norte y Ostra Japonesa. Universidad del Norte, Coquimbo, Chile.
- Imai, T. 1977. Aquaculture in shallow seas. Progress in shallow sea culture. Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi. 615 pp.
- Karlsson, J.D. 1991. Parasites of the bay scallop *Argopecten irradians* (Lamarck, 1819). pp. 180-191. *En*: S. E. Shumway (ed.). Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Elsevier, Amsterdam.
- Kepenyes, J. & L. Váradi. 1984. Aeration and oxygenation in aquaculture. pp. 414-507. *En*: T. Pillay (ed.). Inland Aquaculture Engineering. United Nations Development Programme and FAO, Rome.
- Kery, S. 1996. Mooring issues common in most types of open ocean aquaculture. pp. 297-325. *En*: M. Polk (ed.). Open Ocean Aquaculture. Proceedings of an International Conference. Portland, Maine. May 8 - 10, 1996.
- Laing, I. & A. Psimopoulos. 1998. Hatchery cultivation of king scallop (*Pecten maximus*) spat with cultured and bloomed algal diets. *Aquaculture* 169:55-68.
- Lawson, T. 1995. Fundamentals of aquacultural engineering. Chapman & Hall, NY, USA. 355 pp.
- Le Pennec, M., R. Robert & M. Avedaño. 1998. The importance of gonadal development on larval production in pectinids. *J. Shellfish. Res.* 17(1):97-101.
- Le Roy, R. 1993. Aquaculture desk reference. Chapman & Hall. 206 pp.
- Lin, G. 1992. The toxicity of ammonia on the larvae of the bay scallop, *Argopecten irradians*. *J. Shellfish. Res.* 1(11):200-201.
- Lindbergh, J. 1999. Farming the Chilean scallop. *Aquaculture Magazine* 27-37.
- Lisec, D. 1988. Marine hatchery technology - Systems review. pp. 65-76. *En*: Aquaculture Engineering Technologies for the Future. University of Stirling, Scotland, 20-23 June, 1988.
- Lodeiros, C. & H. Himmelman. 1996. Influence of fouling on the growth and survival of the tropical scallop, *Euvola (Pecten) ziczac* (L. 1758) in suspended culture. *Aquaculture Research* 27:749-756.
- Lu, Y., N. Blake & J. Torres. 1999. Oxygen consumption and ammonia excretion of larvae and juveniles of the bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* (Say). *J. Shellfish Res.* 18:419-423.
- Martínez, G. & L. Carroza. 1991. Configuración del cabo de fondeo de un long-line de cultivo a través de simulación análoga. pp. 10. *En*: IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.
- Martínez, G., C. Aguilera & E. Campos. 1999. Induction of settlement and metamorphosis of the scallop *Argopecten purpuratus* Lamarck by excess K⁺ and epinephrine: Energetic costs. *J. Shellfish Res.* 18(1):41-46.
- Martínez, G., L. Cáceres, E. Uribe & M. Diaz. 1995. Effects of different feeding regimens on larval growth and the energy budget of juvenile Chilean scallop, *Argopecten purpuratus* Lamarck. *Aquaculture* 132:313-323.
- Merino, G. 1996a. Construcción y montaje de hatcheries para moluscos. pp. 306-329. *En*: J.E. Illanes (ed.). IX Curso Internacional en cultivo de Moluscos. UCN-JICA-AGCI.
- Merino, G. 1996b. Aeración en cultivos intensivos. *En*: J.E. Illanes (ed.). IX Curso Internacional en cultivo de Moluscos. UCN-JICA-AGCI.

- Merino, G. 1997a. Diseño de hatcheries. pp. 31-44. *En*: Curso internacional de cultivo de moluscos. JICA-UCN. Coquimbo, Chile.
- Merino, G. 1997b. Considerations for longline culture systems design: scallop production. pp. 145-154. *En*: C.E. Helsley (ed.). Open Ocean Aquaculture 97. Charting the future of ocean farming. Proceedings of an International Conference. Maui, Hawaii. April 23-25, 1997.
- Merino, G., M. Fernández & H. Maureira. 1997. Estudio impacto ambiental: Lavado de sistemas de cultivo del ostión del norte. Coquimbo-Caldera. Informe Técnico. Auspiciado por Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC) y por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 102 pp.
- Merino, G., J. Barraza & H. Maureira. 1998. Estudio impacto ambiental: Lavado de sistemas de cultivo del ostión del norte. Coquimbo-Caldera (Parte 2). Informe Técnico. Auspiciado por Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC) y por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 103 pp.
- Montgomery, J. 1985. Water treatment, principles and design. John Wiley & Sons, USA. 696 pp.
- Moya, L. 1998. Efecto del fouling en el crecimiento de ostiones *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819) cultivados en pearl nets en Bahía Tongoy, IV región, Coquimbo. Tesis de Ingeniería en Acuicultura. Universidad Católica del Norte. 120 pp.
- Navarro, J. & C. González. 1998. Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. *Aquaculture* 167:315-327.
- Navarro, R., L. Sturla, O. Cordero & M. Avendaño. 1991. Chile. pp. 1001-1015. *En*: S.E. Shumway (ed.). Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier, Amsterdam.
- Navarro, J., G. Leiva, G. Martínez & C. Aguilera. 2000. Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 247:67-83.
- Pangue, L. 1996. Crecimiento y supervivencia del ostión del norte (*Argopecten purpuratus*, Lamarck 1819) cultivado durante la etapa intermedia en tres profundidades y dos tipos de sistemas en Bahía Tongoy. Tesis de Ingeniería en Acuicultura. Universidad Católica del Norte. 30 pp.
- Pereira, L. 1985. Reproducción, captación, precultivo y cultivo de *Chlamys* (*Argopecten*) *purpurata* (Lamarck, 1819) de ambiente natural en la IV Región. Tesis de Ingeniería de Ejecución en Acuicultura. Instituto Profesional de Osorno, Chile. 48 pp.
- Pereira, L. 1996. Tecnología de cultivo de bivalvos en ambiente natural. pp. 139-170. *En*: 9º Curso Internacional en Cultivo de Moluscos. UCN-JICA-AGCI. Coquimbo, Chile. 21 Octubre - 15 Noviembre, 1996.
- Pilditch, C. & J. Grant. 1999. Effect of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus*). *Mar. Biol.* 134:235-248.
- Qasim, S., E. Motley & G. Zhu. 2000. Water works engineering. Planning, design and operation. Prentice Hall, NJ, USA. 844 pp.
- Ramalho, R. 1996. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté S.A., Barcelona, España. 705 pp.
- Ramírez, J., S. Avila & A. Ibarra. 1999. Optimization of forage in two food-filtering organism with the use of a continuous, low-food concentration, agricultural drip system. *Aquacultural Engineering* 20:175-189.
- Riquelme, M. 1997. Determinación y análisis de costos de producción en el cultivo de Ostión del Norte (*Argopecten purpuratus*). Tesis de Ingeniería en Acuicultura. Universidad Católica del Norte. 88 pp.
- Riquelme, C., P. Chavez, Y. Morales & G. Hayashida. 1994. Evidence of parental bacterial transfer to larvae in *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Biol. Res.* 27:129-134.
- Riquelme, C., G. Hayashida, A. Toranzo, J. Vilches & P. Chavez. 1995b. Pathogenicity studies on a *Vibrio anguillarum*-related (VAR) strain causing an epizootic in *Argopecten purpuratus* larvae cultured in Chile. *Dis. Aquat. Org.* 22: 135-141.
- Riquelme, C., G. Hayashida, Y. Morales, N. Vergara, E. Vasquez & P. Chavez. 1995a. Bacteriology of the scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) cultured in Chile. *Aquaculture* 138: 49-60.
- Riquelme, C., R. Araya, N. Vergara, A. Rojas, M. Guaita & M. Candia. 1997. Potential probiotic strains in the culture of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819.). *Aquaculture* 154:17-26.
- Robert, R. & A. Gérard. 1999. Bivalve hatchery technology: The current situation for the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and the scallop *Pecten maximus* in France. *Aquat. Living Resour.* 12:121-130.
- Rodríguez, H. 1994. Estado actual del cultivo de bivalvos, y posibilidades de acuicultura. Conclusiones primera reunión grupo de trabajo sobre cultivo de bivalvos. pp. 429-437. *En*: A. Hernández, C.

- Hernández, J. Morales, F. Pereira & J. Perdomo (eds.). Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Acuicultura. V Seminario Nacional de Acuicultura. Santafé de Bogota, Colombia, Octubre 25-28, 1994.
- Rojas, R. & K. Lohrmann. 1999. Problemas biológicos y enfermedades en sistemas de cultivo en hatchery. Diagnósticos y control. pp. 83-94. *En: Segundo Curso Internacional de Ingeniería de Cultivo en Moluscos. Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.*
- Román, G. & G. González. 1985. Growing of irish and spanish scallop seed on rafts. *En: Book of Abstracts, 5th Pectinid Workshop. La Coruña, Spain, 6-10 May, 1985.*
- Román, G. & C. Acosta. 1990a. Cultivo de vieira en batea. I: Crecimiento. Actas III Congreso Nac. Acuicult. 539-544.
- Román, G. & C. Acosta. 1990b. Cultivo de vieira en batea. II: Reproducción. Actas III Congreso Nac. Acuicult. 461-466.
- Roman, G., M. Campos, C. Acosta & J. Cano. 1999. Growth of the queen scallop (*Aequipecten opercularis*) in suspended culture: Influence of density and depth. *Aquaculture* 178:43-62.
- Sakurai, I. & M. Seto. 2000. Movement and orientation of the Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* (Jay) in response to water flow. *Aquaculture* 181:269-279.
- Sánchez, G. & M. Tupayachi. 1988. Pruebas preliminares sobre toxicidad aguda del cobre en la concha abanico *Argopecten purpuratus*. pp. 191-194. *En: H. Salzwedel & A. Landa (eds.). Recursos y Dinámica del Ecosistema de Afloramiento Peruano. Bol. Inst. Mar Perú-Callao.*
- Schellin, T. & C. Ostergaard. 1995. The vessel in port: mooring problems. *Marine Structures* 8:451-479.
- Shepherd, B. 1991. On choosing well: Bioengineering reconnaissance of new hatchery sites. *American Fisheries Society Symposium* 10:354-364.
- Sicard, M., A.N. Maeda-Martínez, P. Ormart, T. Reynoso-Granados & L. Carvalho. 1999. Optimum temperature for growth in the catarina scallop (*Argopecten ventricosus-circularis*, Sowerby II, 1842). *J. Shellfish Res.* 18:385-392.
- Singnoret-Brailovski, G., A.N. Maeda-Martínez, T. Reynoso-Granados, E. Soto-Galera, P. Monsalvo-Spencer & G. Valle. 1996. Salinity tolerance of the catarina scallop *Argopecten ventricosus-circularis* (Sowerby II, 1842). *J. Shellfish Res.* 15:623-626.
- Smith, W. 1974. Handbook of Marine Science. I. CRC Press Inc. 545 pp.
- Stotz, W. & S. González. 1997. Abundance, growth, and production of the sea scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819): bases for a sustainable exploitation of natural scallop beds in North-central Chile. *Fisheries Research* 32:173-183.
- Street, R., G. Watters & J. Vennard. 1996. Elementary fluid mechanics. John Wiley & Sons, Inc., USA. 757 pp.
- Suárez, B. & L. Guzmán. 1998. Mareas rojas y toxinas marinas. Editorial Universitaria. 75 pp.
- Swan, C. 1989. An introduction to scallop farming. Kevgor Aquasystems, Vancouver, British Columbia, Canada. 56 pp.
- Tchobanoglous, G. 1995. Ingeniería de aguas residuales. Redes de alcantarillado y bombeo. McGraw-Hill/Interamericana, España. 461 pp.
- Trench, B., E. Alarcón & L. DiSalvo. 1983. Evaluación comparativa de sistemas potenciales para el cultivo en el mar de *Chlamys purpurata* (Lamarck, 1819) en Bahía La Herradura de Coquimbo, Chile. pp. 255-268. *En: H. Fuentes, J. Castillo & L. DiSalvo (eds.). Symp. Int. Avances y Perspectivas de la Acuicultura en Chile, Universidad del Norte, Coquimbo, Chile, Septiembre 1983.*
- Troncoso, L., R. Galleguillos & A. Larraín. 2000. Effects of copper on the fitness of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Mollusca:Bivalvia). *Hydrobiologia* 420:185-189.
- Uribe, E. 1995a. Cultivo de microalgas. pp. 92-116. *En: A. Silva (ed.). 2º Curso Interamericano de Cultivo de Peces Marinos. AGCI-OEAUCN. Coquimbo, Chile. 21 Agosto-10 Septiembre, 1995.*
- Uribe, E. 1995b. Determinación de la capacidad de carga de Bahía Inglesa (3ª Región) y Bahía de Tongoy (4ª Región). Informe final. Fondo de Investigación Pesquera. Chile. 250 pp.
- Uribe, E. 1998. Determinación de la calidad de agua en bahías: Inglesa, Flamenco, Tongoy y Guanaqueros, que permita optimizar el cultivo del ostión del norte. Contrato de asistencia técnica FAT colectivo. Informe de Bahía de Guanaqueros y Tongoy. Universidad Católica del Norte, Septiembre, 1988. 155 pp.
- Uribe, E., J. Olivares, M. Berrios & A. Pacheco. 1988. Oceanografía aplicada a los cultivos. 1^{er} Curso Internacional en Cultivo de Moluscos, UCN-JICA. Coquimbo, Chile. 22 Octubre-21 Noviembre, 1988. 58 pp.
- Velez A., & L. Freitas. 1993. Cultivo de semillas de la vieira *Pecten ziczac* bajo condiciones ambientales controladas (Hatchery). *Facultad de Ciencias del Mar. Universidad del Norte. Serie Ocasional 2: 311-317.*

- Villalaz, J. 1994. Laboratory study of food concentration and temperature effect on the reproductive cycle of *Argopecten ventricosus*. *J. Shellfish Res.* 13:513-519.
- Wheaton, W.F. 1982. Acuicultura. Diseño y construcción de sistemas. AGT Editores, México, 704 pp.
- Whitlow, R. 1994. Fundamentos de mecánica de suelos. Compañía Editorial Continental. México. 589 pp.
- Wildish, D. & A. Saulnier. 1993. Hydrodynamic control of filtration in *Placopecten magellanicus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 174:65-82.
- Wolff, M. 1988. Spawning and recruitment in the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 42:213-217.
- Wolff, M. 1994. A trophic model for Tongoy Bay - A system exposed to suspended scallop culture (Northern Chile). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 182 :149-168.
- Yoo, K. & C. Boyd. 1994. Hydrology and water supply for pond aquaculture. Chapman & Hall, NY, USA. 483 pp.
- Ysla, L., V. Venturi & H. Nava. 1988. Efectos de la densidad y la profundidad en la crianza de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en cultivos suspendidos. pp. 163-168. *En:* H. Salzwedel & A. Landa (eds.). Recursos y dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. Bol. Inst. Mar. Callao-Perú.