

Cultivo de bivalvos en criadero

Un manual práctico



Fotografías de la cubierta:

Fila superior de izquierda a derecha: Cilindros de fibra de vidrio utilizados para el cultivo de microalgas; interior de un criadero pequeño de bivalvos; semillero flotante para semilla de bivalvos.

Fila inferior de izquierda a derecha: hembra de almeja japonesa desovando (cortesía de Brian Edwards); microfotografía de larvas D de *Crassostrea gigas* (cortesía de Michael M. Helm).

Cultivo de bivalvos en criadero

Un manual práctico

FAO
DOCUMENTO
TÉCNICO
DE PESCA

471

Preparación

Michael M. Helm

Consultor de la FAO

Nueva Escocia, Canadá

y

Neil Bourne

Consultor de la FAO

Columbia Británica, Canadá

Compilación y edición

Alessandro Lovatelli

Servicio de Recursos de Aguas Continentales y Acuicultura

Dirección de Recursos Pesqueros de la FAO

Roma, Italia

Traducción

Marie-Louise Tall

Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza

Zaragoza, España

Juan Cigarría

Tinamenor, S.A.

Pesués, España

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN

Roma, 2006

Preparación de este documento

Este manual forma parte del programa de publicaciones del Servicio de Recursos de Aguas Continentales y Acuicultura de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Constituye una síntesis de las metodologías actuales que se pueden aplicar al cultivo intensivo de moluscos bivalvos en criadero, y muestra las similitudes y diferencias entre las metodologías utilizadas en la producción de almejas, ostras y vieiras en distintas regiones climáticas. Se describen todos los aspectos del proceso de cultivo, además de otros aspectos relacionados con la elección del emplazamiento y el diseño de instalaciones apropiadas. Asimismo el manual incluye una descripción del manejo de la semilla de bivalvos tras abandonar el criadero y pasar por los semilleros situados en tierra y en el mar antes del engorde. La publicación tiene como objetivo ayudar a los técnicos que comienzan a trabajar en este campo y a aquellos inversores interesados en evaluar la complejidad de la producción intensiva en criadero.

Los autores reúnen la experiencia combinada de 80 años de trabajo en la biología, gestión y funcionamiento de los criaderos, abarcando un amplio abanico de las especies más cultivadas en distintas partes del mundo. La preparación del manual ha estado a cargo de la coordinación general del responsable de recursos de pesca (acuicultura) Alessandro Lovatelli.

Los autores desean agradecer las aportaciones de muchos antiguos y actuales compañeros y líderes de la industria, sin los cuales esta publicación no habría sido posible.

Se agradece especialmente la colaboración de Clara Guelbenzu en la revisión del manuscrito.

El diseño gráfico de la publicación ha sido realizado por J.L. Castilla Civit.

Todas las fotografías del manual han sido realizadas por los autores, salvo indicación contraria.

Además de explicar la tecnología y métodos de cultivo, el manual incorpora una breve descripción de los procesos de identificación de sitios adecuados para ubicar un criadero, así como los aspectos que hay que tener en cuenta en la planificación y diseño. También se incorporan avances que probablemente mejorarán la fiabilidad y viabilidad económica de la industria de criaderos en un futuro cercano, incluyendo temas como la poliploidía, el desarrollo de variedades seleccionadas, la crioconservación de gametos y la necesidad de contar con alimentos novedosos e inertes.

Palabras clave: Acuicultura marina, cultivo de bivalvos, criaderos de bivalvos, semilleros de bivalvos, producción de semilla de bivalvos, ostras, almejas, vieiras.

Helm, M.M.; Bourne, N.; Lovatelli, A. (comp./ed.)

Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico.

FAO Documento Técnico de Pesca. No. 471. Roma, FAO. 2006. 182 pp.

Índice

Preparación de este documento	iii
Resumen	iv
Índice de ilustraciones	xi
Índice de cuadros	xvi
Glosario	xvii
Abreviaturas, siglas y equivalencias	xxi

Introducción	1
---------------------------	----------

Primera parte – Selección del emplazamiento, diseño del criadero y aspectos económicos

1.1 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	5
1.1.1 Introducción	5
1.1.2 Consideraciones	6
1.1.2.1 <i>Reglamentación gubernamental</i>	6
1.1.2.2 <i>Calidad del agua de mar</i>	6
1.1.2.3 <i>Emplazamiento del criadero</i>	7
1.2 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL DISEÑO DEL CRIADERO	8
1.2.1 Introducción	8
1.2.2 Captación de agua de mar	9
1.2.3 Instalaciones	12
1.2.3.1 <i>Instalaciones para el cultivo de algas</i>	13
1.2.3.2 <i>Zona de mantenimiento y desove de reproductores</i>	14
1.2.3.3 <i>Zona de cultivo de larvas</i>	15
1.2.3.4 <i>Zona de cultivo de semilla</i>	15
1.2.3.5 <i>Otros requisitos de espacio</i>	15
1.3 ASPECTOS ECONÓMICOS	16
1.4 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	17

Segunda parte – Biología básica de los bivalvos: taxonomía, anatomía y ciclo vital

2.1 TAXONOMÍA Y ANATOMÍA	19
2.1.1 Introducción	19
2.1.2 Anatomía externa	20
2.1.3 Anatomía interna	21
2.2 CICLO VITAL	23
2.2.1 Desarrollo gonadal y desove	23
2.2.2 Desarrollo embrionario y larvario	25
2.2.3 Metamorfosis	26
2.2.4 Alimentación	27
2.2.5 Crecimiento	27
2.2.6 Mortalidad	27

2.3 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	29
---	----

Tercera parte – Funcionamiento del criadero: cultivo de algas

3.1 INTRODUCCIÓN	31
3.2 MANTENIMIENTO DE CEPAS E INÓCULOS	34
3.2.1 Procedimientos para el manejo de cepas	35
3.2.2 Manejo del cultivo de inóculos	38
3.3 CULTIVOS A ESCALA INTERMEDIA	39
3.3.1 Fases de crecimiento de los cultivos	40
3.3.2 Detalles de funcionamiento para cultivos a escala intermedia	41
3.3.3 Estimación de la densidad de algas	43
3.4 CULTIVOS A GRAN ESCALA	46
3.4.1 Cultivo en bolsa y en cilindro	47
3.4.2 Cultivo con iluminación interna	49
3.4.3 Principios del manejo de cultivos a gran escala	49
3.4.4 Cultivos a gran escala automatizados	53
3.4.5 Resolución de problemas	54
3.4.6 Cultivo extensivo al aire libre	55
3.5 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	57

Cuarta parte – Funcionamiento del criadero: acondicionamiento de los reproductores, puesta y fecundación

4.1 ACONDICIONAMIENTO DE LOS REPRODUCTORES	59
4.1.1 Introducción	59
4.1.2 Métodos de acondicionamiento	62
4.1.2.1 <i>Sistemas de tanques y tratamiento del agua</i>	62
4.1.2.2 <i>Alimentación de los reproductores</i>	65
4.1.2.3 <i>Cálculo de raciones alimenticias para el acondicionamiento</i>	66
4.1.2.4 <i>Adecuación de las raciones para los sistemas de circulación abierta</i> ..	67
4.1.2.5 <i>Acondicionamiento en dos fases al inicio de la temporada</i>	68
4.1.3 Acondicionamiento de bivalvos en los trópicos	68
4.2 PUESTA Y FECUNDACIÓN	69
4.2.1 Introducción	69
4.2.2 Obtención manual de gametos	71
4.2.3 El caso de la ostra plana	72
4.2.4 Inducción de la puesta en bivalvos ovíparos	75
4.2.4.1 <i>Procedimientos de tratamiento térmico</i>	75
4.2.4.2 <i>Desove en bivalvos dioicos</i>	76
4.2.4.3 <i>Desove en bivalvos monoicos</i>	78
4.2.5 Procedimientos para la fecundación	78
4.3 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	81

Quinta parte – Funcionamiento del criadero: cultivo de larvas, metodología básica, alimentación y nutrición, factores que inciden en el crecimiento y la supervivencia, fijación y metamorfosis

5.1 METODOLOGÍA BÁSICA	84
5.1.1 Introducción	84
5.1.2 Métodos para el desarrollo embrionario	84
5.1.2.1 <i>Tanques para embriones y larvas</i>	84
5.1.2.2 <i>Tratamiento del agua</i>	85
5.1.2.3 <i>Cultivo de embriones</i>	86
5.1.3 Métodos de cultivo larvario	92
5.1.3.1 <i>Iniciación de un nuevo cultivo</i>	93
5.1.3.2 <i>Manejo de cultivos larvarios</i>	94
5.1.4 Cultivo larvario más eficiente	97
5.1.4.1 <i>Cultivo de alta densidad</i>	97
5.1.4.2 <i>Cultivo en sistemas de circulación abierta</i>	98
5.1.5 Crecimiento y supervivencia de larvas	101
5.2 ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN	102
5.2.1 Introducción	102
5.2.2 Aspectos de la dieta	103
5.2.3 Composición de la dieta y raciones	105
5.2.3.1 <i>Estrategias de alimentación</i>	108
5.2.3.2 <i>Cálculo de raciones alimenticias</i>	109
5.3 FACTORES QUE INCIDEN EN EL CRECIMIENTO Y LA SUPERVIVENCIA	111
5.3.1 Introducción	111
5.3.2 Efectos de la temperatura y la salinidad	111
5.3.3 Calidad del agua de mar	114
5.3.4 Calidad de los huevos y de las larvas	117
5.3.5 Enfermedades	121
5.4 FIJACIÓN Y METAMORFOSIS	122
5.4.1 Introducción	122
5.4.2 Preparación de las larvas para la metamorfosis	123
5.4.3 Fijación de las larvas	124
5.4.3.1 <i>Estímulos para la fijación</i>	124
5.4.3.2 <i>Sustratos adecuados para la fijación</i>	124
5.5 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	130

Sexta parte – Funcionamiento del criadero: telecaptación en criadero y en semillero

6.1 INTRODUCCIÓN	135
6.2 TELECAPTACIÓN	138
6.2.1 Antecedentes	138
6.2.2 Preparación de larvas para el transporte	139
6.2.3 Preparación en el lugar de destino	139
6.2.4 Recepción de larvas con ojo	141
6.2.5 Fijación de las larvas y cultivo de la semilla	141

6.3 MÉTODOS PARA EL CULTIVO DE SEMILLA PEQUEÑA	143
6.3.1 Introducción	143
6.3.2 Sistemas de engorde de semilla sobre material de fijación	143
6.3.3 Sistemas de engorde de semilla no fijada	143
6.3.4 Operaciones en sistemas cerrados de circulación ascendente	147
6.3.5 Operaciones en sistemas cerrados de circulación descendente	148
6.3.6 Clasificación y estimación de la semilla	149
6.3.7 Operaciones en sistemas de circulación abierta	151
6.4 DIETAS Y RACIONES ALIMENTICIAS PARA SEMILLA PEQUEÑA	153
6.4.1 Composición específica de la dieta	153
6.4.2 Cálculo de la ración alimenticia	153
6.5 CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA	155
6.5.1 Variabilidad en el crecimiento de la semilla entre especies	155
6.5.2 Efecto de la ración sobre el crecimiento	156
6.5.3 Efectos combinados de la ración y de la temperatura	158
6.5.4 Supervivencia	159
6.5.5 Producción en criadero	160
6.6 CULTIVO EN SEMILLERO	161
6.6.1 Semilleros en tierra	163
6.6.2 Semilleros en barcazas	165
6.7 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	168
 Séptima parte – El futuro de los criaderos: tecnologías en desarrollo	
7.1 GENÉTICA	173
7.1.1 Poliploidía	174
7.1.2 Genética cuantitativa y molecular	175
7.2 EL FUTURO	177
7.3 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	180

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Producción de bivalvos procedentes de la pesca y de la acuicultura durante el decenio 1991-2000	1
Ilustración 2: Comparación de la producción procedente de la pesca y de la acuicultura con la contribución relativa de los principales grupos de bivalvos en 1991 y 2000	2
Ilustración 3: Selección de fotografías de criaderos que refleja las distintas dimensiones y los niveles de sofisticación de las construcciones que existen en el mundo	8
Ilustración 4: Diagrama de las diversas etapas en el tratamiento del agua de mar para uso en criaderos, desde los conductos de captación hasta los puntos donde se utiliza el agua para las diferentes actividades	10
Ilustración 5: Plano general de una planta diseñada especialmente como criadero de bivalvos ..	13
Ilustración 6: Características internas y externas de las valvas de una concha de chirla mercenaria, <i>Mercenaria mercenaria</i>	20
Ilustración 7: Anatomía del tejido blando interno de una almeja del género <i>Tapes</i>	20
Ilustración 8: Anatomía del tejido blando de la ostra plana, <i>Ostrea edulis</i> , y de la vieira Calico, <i>Argopecten gibbus</i> , visible después de haber retirado una de las valvas de la concha	21
Ilustración 9: Anatomía del tejido blando interno de una vieira hermafrodita	21
Ilustración 10: Microfotografías de secciones histológicas del ovario de una vieira, <i>Argopecten gibbus</i> , durante la gametogénesis	24
Ilustración 11: Representación de las etapas de desarrollo de la vieira Calico, <i>Argopecten gibbus</i> , dentro de un criadero	26
Ilustración 12: Microfotografías de dos especies de algas que se cultivan habitualmente en los criaderos, <i>Isochrysis</i> sp. y <i>Tetraselmis</i> sp. mostrando la diferencia relativa de tamaño celular	31
Ilustración 13: Etapas en la producción de algas	33
Ilustración 14: El proceso de cultivo de algas con los diferentes insumos necesarios	33
Ilustración 15: Incubadoras con control de luz y temperatura para el mantenimiento de pequeños cultivos de algas	34
Ilustración 16: Esquema de una cámara de transferencia de cultivos. Autoclave apta para la esterilización de volúmenes reducidos de medios de cultivo	35
Ilustración 17: Fotografías que muestran las típicas instalaciones de mantenimiento de inóculos	39
Ilustración 18: Dos sistemas diferentes de cultivo de algas a escala intermedia	40
Ilustración 19: Fases en el crecimiento de los cultivos de algas ilustradas con una típica curva de crecimiento para el gran flagelado verde, <i>Tetraselmis suecica</i>	40
Ilustración 20: Diagrama de la rejilla marcada sobre un porta de hemocitómetro	44
Ilustración 21: Contadores de partículas electrónicos utilizados en los criaderos para registrar la densidad celular en cultivos de algas	45
Ilustración 22: El cultivo a gran escala solía hacerse en grandes tanques circulares o rectangulares con iluminación superior	46
Ilustración 23: Tanques eficientes de cultivo de algas con 200 l de capacidad, enfriados con agua, y con iluminación interna	48
Ilustración 24: Ejemplos de sistemas de cultivo de algas con cilindros de fibra de vidrio, células fotovoltaicas y bolsas de polietileno	47
Ilustración 25: Relación entre la productividad del sistema de cultivo (rendimiento) y el aporte de energía lumínica	50

Ilustración 26: El efecto de la intensidad de luz sobre el rendimiento de <i>Tetraselmis</i> en recipientes de cultivo de 200 l y con iluminación interna	51
Ilustración 27: Efectos de la densidad celular poscosecha (PHCD) y del pH sobre la tasa de división celular, y la influencia de la salinidad sobre la productividad de cultivos de <i>Tetraselmis suecica</i>	51
Ilustración 28: Relación entre la densidad celular poscosecha (PHCD) y el tamaño de célula en cuanto a peso y productividad del cultivo semicontinuo de <i>Tetraselmis suecica</i>	52
Ilustración 29: Relación entre la densidad de células poscosecha y el rendimiento a una densidad celular estándar de cultivos de <i>Skeletonema costatum</i> en un sistema semicontinuo con dos intensidades de luz y concentraciones de silicato	52
Ilustración 30: Esquema de un sistema de cultivo continuo «turbidostato»	53
Ilustración 31: Ejemplos de producción de algas a gran escala en el exterior	55
Ilustración 32: Sistema típico de acondicionamiento de reproductores	60
Ilustración 33: La anatomía de una vieira Calico (<i>Argopecten gibbus</i>) en plena madurez	60
Ilustración 34: Selección de almejas cultivadas habitualmente en criadero	61
Ilustración 35: Diagrama que muestra un tanque de circulación continua para reproductores en el que los adultos se mantienen separados del fondo a través de una bandeja de malla y un tanque similar con sistema de filtración bajo gravilla	62
Ilustración 36: Ejemplos de diferentes tipos de tanques de circulación continua empleados para el acondicionamiento de reproductores	63
Ilustración 37: Un tanque de 120 l para reproductores que contiene 55 ostras de 80 g de peso vivo medio	64
Ilustración 38: Desove de una hembra de almeja japonesa	70
Ilustración 39: Obtención manual y transferencia de gametos del ostión japonés a un vaso de agua de mar filtrada utilizando una pipeta Pasteur	71
Ilustración 40: Anatomía de una ostra plana en desarrollo, <i>Ostrea edulis</i>	72
Ilustración 41: Etapas reproductivas de la ostra europea, <i>Ostrea edulis</i>	73
Ilustración 42: Aspecto de larvas veliger de <i>Ostrea edulis</i> (175 µm de longitud media de concha) en el momento en el que son expulsadas por el adulto	73
Ilustración 43: Acondicionamiento experimental de <i>Ostrea edulis</i>	74
Ilustración 44: Obtención manual de larvas en un adulto de <i>Ostrea edulis</i>	74
Ilustración 45: Diagrama de la disposición de una bandeja utilizada habitualmente para el desove de bivalvos ovíparos	75
Ilustración 46: Adultos de <i>Pecten ziczac</i> durante el ciclo térmico en una bandeja de desove ...	77
Ilustración 47: Esta secuencia de fotografías ilustra el desove de la vieira Calico dioica, <i>Argopecten gibbus</i> , en la Estación de Investigación Biológica de Bermudas	79
Ilustración 48: División de los óvulos de <i>Crassostrea gigas</i> unos 50 minutos después de la fecundación	80
Ilustración 49: Primeras etapas en el desarrollo de los óvulos	80
Ilustración 50: Los huevos fecundados se pueden incubar en agua de mar utilizando diversos tanques durante un período de 2 a 3 días, según la especie y la temperatura	84
Ilustración 51: Microfotografía de larvas D de <i>Crassostrea gigas</i>	85
Ilustración 52: Recipientes de cultivo apropiados para el desarrollo embrionario (y larvario)....	87
Ilustración 53: Ejemplos del equipo adecuado para el tratamiento del agua	86
Ilustración 54: Desarrollo embrionario desde la etapa de trocófora hasta la de larva D con un desarrollo completo de la concha	87
Ilustración 55: Mediciones de larvas: cada larva se orienta y alinea con el retículo ocular calibrado	88
Ilustración 56: La disposición de los tamices para captar larvas D de un tanque	89

Ilustración 57: El aspecto de casi 5 millones de larvas de la vieira Calico, <i>Argopecten gibbus</i> , concentradas en un tamiz de 20 cm de diámetro y después de haber sido transferidas a un frasco graduado de 4 l, antes de la valoración	89
Ilustración 58: Equipo empleado para calcular el número de larvas	90
Ilustración 59: Pasos para recoger submuestras de larvas para el recuento necesario en el cálculo de la cifra total	91
Ilustración 60: Ejemplo de la hoja de registro diario y del tipo de información que se necesita registrar para poder hacer un seguimiento de un lote o de un tanque de larvas	95
Ilustración 61: Drenaje de tanques larvarios estáticos los días de cambio de agua	96
Ilustración 62: Control automático experimental de la densidad celular del alimento en cultivos de alta densidad de larvas de bivalvos	98
Ilustración 63: Disposición típica para cultivos larvarios con circulación continua	99
Ilustración 64: Detalle de la parte superior de un tanque experimental de circulación continua que muestra el filtro tipo «raqueta»	100
Ilustración 65: Microfotografías del crecimiento y desarrollo de larvas de ostión japonés, <i>Crassostrea gigas</i> , y de la vieira zigzag, <i>Pecten ziczac</i>	101
Ilustración 66: Crecimiento comparado de larvas de algunas especies de bivalvos de agua templada	102
Ilustración 67: Larvas alimentándose mientras nadan	103
Ilustración 68: Crecimiento, desarrollo y fijación de larvas de <i>Ostrea edulis</i> alimentadas a base de varias dietas simples y mixtas	103
Ilustración 69: Comparación de lípidos totales como porcentaje del peso seco sin cenizas y la abundancia relativa de varios ácidos grasos muy insaturados (HUFAs) en varias especies de algas	104
Ilustración 70: Crecimiento de larvas de <i>Crassostrea gigas</i> , <i>Crassostrea rhizophorae</i> , <i>Mercenaria mercenaria</i> y <i>Tapes philippinarum</i> alimentadas con T-Iso, <i>Chaetoceros calcitrans</i> y una mezcla de dos especies de estas dos algas	107
Ilustración 71: Efectos de la temperatura y la salinidad sobre el crecimiento de las larvas de vieira japonesa, <i>Patinopecten yessoensis</i>	112
Ilustración 72: Crecimiento de larvas de ostión de mangle, <i>Crassostrea rhizophorae</i> y ostión japonés, <i>Crassostrea gigas</i> , a diversas temperaturas y salinidades	113
Ilustración 73: Crecimiento de larvas de almeja japonesa, <i>Tapes philippinarum</i> , desde la etapa D hasta la metamorfosis, con tres temperaturas diferentes	113
Ilustración 74: Tasa de supervivencia relativa en bioensayos que comparan el desarrollo de óvulos fecundados de ostión japonés hasta la etapa larvaria D en criadero con agua de mar tratada y agua de mar artificial	115
Ilustración 75: Crecimiento comparativo de larvas de ostión japonés durante un período de 6 días, a 25 °C en condiciones de criadero y con agua de mar normal y artificial calculado como índice de crecimiento	116
Ilustración 76: Índices de crecimiento de muestras de crías de larvas de ostra europea, <i>Ostrea edulis</i> , cultivadas en criadero a escala de vaso de precipitados	117
Ilustración 77: Contenido en ácidos grasos poliinsaturados de huevos de almeja japonesa, <i>Tapes philippinarum</i> , procedentes de reproductores que habían sido alimentados en el criadero con diferentes dietas durante el acondicionamiento	118
Ilustración 78: Comparación de la composición en ácidos grasos poliinsaturados de stocks salvajes y acondicionados en criadero de larvas de ostra europea, <i>Ostrea edulis</i>	118
Ilustración 79: Relación entre el contenido total de lípidos como porcentaje del peso seco y el porcentaje de huevos de ostión japonés, <i>Crassostrea gigas</i> , que llegan a la etapa de larva D	119
Ilustración 80: Relación entre el contenido total en lípidos de huevos de ostión japonés recién desovados y meses del año en dos años diferentes y contenido en clorofila α en el agua de mar sin filtrar suministrada a reproductores en un criadero con un protocolo de acondicionamiento estándar	119

Ilustración 81: Relación entre el incremento del crecimiento de larvas de <i>Ostrea edulis</i> en un período de 4 días tras la liberación y contenido total de lípidos en el momento de la liberación de reproductores acondicionados del criadero	120
Ilustración 82: Comparación de los incrementos de peso (orgánico) seco sin cenizas y contenido lipídico por larva en relación con la longitud de concha media en larvas de cuatro especies de bivalvos	120
Ilustración 83: Microfotografías de larvas de <i>Argopecten gibbus</i> nadando y mostrando el órgano ciliado de alimentación y natación, el velo, y larvas pediveliger con ojo de la misma especie	122
Ilustración 84: Comportamiento natatorio de «encadenamiento» (o «embudo») de larvas maduras antes de la fijación	123
Ilustración 85: Sistema de telecaptación de ostras ubicado en la Isla de Vancouver, Columbia Británica, Canadá	125
Ilustración 86: En este ejemplo se muestra la utilización de láminas de PVC con superficie mate como sustrato para la fijación de semilla de ostra y su colocación en el fondo de los tanques de cultivo larvario	126
Ilustración 87: Las larvas pediveliger de vieira pueden fijarse con densidades de hasta 2 000 por litro en tanques llenos de material de fijación equipados con sistemas estáticos de recirculación o continuos	128
Ilustración 88: Bandejas cilíndricas con fondo de malla de nailón empleadas para la fijación de larvas pediveliger de vieira en la Estación de Investigación Biológica de Bermudas	129
Ilustración 89: Recepción de un envío de larvas con ojo de ostión japonés envueltas en malla de nailón en un lugar de telecaptación en la Columbia Británica, Canadá	139
Ilustración 90: Colocación de tanques en un emplazamiento de la Columbia Británica, Canadá ...	140
Ilustración 91: Sistemas de tanques simples utilizados para engordar semilla sobre el material de fijación	144
Ilustración 92: Sistema cerrado de tanques diseñado para semilla de vieira en cilindros con un sistema de circulación de agua descendente	145
Ilustración 93: Diagrama que ilustra las diferencias en la circulación de agua en sistemas ascendentes y descendentes para semilla	146
Ilustración 94: Sistemas ascendentes y cerrados utilizados para cultivar semilla pequeña de ostra ..	147
Ilustración 95: Clasificación de la semilla utilizando tamices manuales (pantallas) en tanques poco profundos	150
Ilustración 96: Módulos de tanques con un sistema ascendente para semilla de mayor tamaño y con sistema continuo	152
Ilustración 97: Ejemplo de un producto registrado de pasta de algas, adecuado para sustituir parcial o totalmente las algas vivas cultivadas en criadero y empleadas en el cultivo de semilla de bivalvos	153
Ilustración 98: Comparación del crecimiento de semilla de ostión japonés, almeja japonesa y vieira Calico en condiciones similares	156
Ilustración 99: Relación entre la ración alimenticia y el crecimiento de semilla de ostión japonés	157
Ilustración 100: Comparación del crecimiento de semilla de ostra europea y ostión japonés a 24 °C alimentada con varias raciones de una dieta mixta de <i>Isochrysis</i> y <i>Tetraselmis</i>	158
Ilustración 101: Crecimiento y supervivencia de semilla de vieira Calico, <i>Argopecten gibbus</i> , en un período de 6 semanas tras la fijación	160
Ilustración 102: Diagrama que resume diversos aspectos de la producción en criaderos y muestra el rango de temperaturas y las necesidades alimenticias diarias por número unitario de animales en cada una de las etapas	161
Ilustración 103: Semilleros en tierra y sobre una plataforma flotante	162
Ilustración 104: Ejemplos de semilleros en tierra	163

Ilustración 105: Datos de un sistema de semillero en tierra con estanques en Nueva Escocia, Canadá, operativo desde principios de mayo hasta finales de octubre	164
Ilustración 106: Ejemplos de criaderos sobre plataformas flotantes	166
Ilustración 107: Pequeño criadero de sistema ascendente y fabricación comercial que funciona con una bomba de circulación axial en la Granja Ostrícola de Harwen, Port Medway, Nueva Escocia, Canadá	167
Ilustración 108: Sistemas flotantes ascendentes que utilizan la energía mareal «FLUPSYS»	167
Ilustración 109: Representación del proceso de inducción de la triploidía	175
Ilustración 110: Dispositivo que ejerce presión sobre los huevos para evitar que se reduzca el número de cromosomas como resultado de la supresión de la meiosis y experimentos de crioconservación de gametos y larvas de bivalvos	179

Índice de cuadros

Cuadro 1: Volumen celular, peso orgánico y contenido bruto en lípidos de algunas de las especies de algas cultivadas habitualmente en la alimentación de larvas y semilla de bivalvos ...	32
Cuadro 2: Composición y preparación del medio de cultivo de mantenimiento de Erdschreiber ..	35
Cuadro 3: Medio de cultivo F/2 de Guillard utilizado para el cultivo de algas en criaderos de bivalvos (1975)	37
Cuadro 4: Medio HESAW utilizado para el cultivo de algas en criaderos de bivalvos. A partir de Harrison <i>et al.</i> (1980)	37
Cuadro 5: Soluciones de sales de nutrientes para el enriquecimiento de cultivos de diatomeas en agua de mar tratada	42
Cuadro 6: Densidades celulares de cosecha (células μl^{-1}) alcanzadas en un lote a pequeña escala (L) y en cultivo semicontinuo (SC) de 2 l ó 20 l para la selección de especies interesantes desde el punto de vista nutritivo	43
Cuadro 7: Comparación entre rendimientos de <i>Tetraselmis</i> y <i>Phaeodactylum</i> en diversos sistemas de cultivo a gran escala	48
Cuadro 8: Efecto de la dieta en la producción de larvas de <i>Ostrea edulis</i>	65
Cuadro 9: Resumen de información de interés para el acondicionamiento y la producción de huevos (o larvas) de una serie de bivalvos cultivados habitualmente	69
Cuadro 10: Resumen de datos de densidades embrionarias típicas, tamaño inicial de larvas D, densidades de larvas D y condiciones de cultivo con respecto a la temperatura y salinidad adecuadas para el cultivo de embriones y primeras larvas de diversos bivalvos	87
Cuadro 11: Relación entre la luz de malla del tamiz y el tamaño mínimo de larvas retenidas ...	90
Cuadro 12: Número medio de larvas en el cultivo inicial (N_0) y supervivencia inmediatamente previa a la fijación (N_p) en 5 comparaciones con densidades altas y normales en la ostra plana <i>O. edulis</i> y 3 comparaciones con el ostión japonés, <i>C. gigas</i>	98
Cuadro 13: Número de células de algas ingeridas por larva y por día, respecto de la longitud media de la concha de larvas de tres bivalvos cultivados habitualmente	111
Cuadro 14: Volumen de agua en el tanque y necesidades alimenticias diarias de semilla de bivalvos de distintos tamaños cuando se cultivan con una biomasa de 200 g de peso vivo en 1 000 l	137
Cuadro 15: Peso vivo medio de semilla de <i>Ostrea edulis</i> y <i>Crassostrea gigas</i> al final de un período de 7 días	158
Cuadro 16: Efectos combinados de la temperatura y de la ración alimenticia sobre semilla de <i>Ostrea edulis</i> que comienza el período de crecimiento semanal con un peso vivo medio de 2 mg	159

Glosario

Algas	plantas acuáticas que se reproducen por esporas
Altura de la concha	distancia en línea recta desde el umbo hasta el margen ventral de la concha
Anterior	delantero o perteneciente a la cabeza
Aurícula	proyección auriculada o alada en la charnela de la vieira (puede referirse a la cámara del corazón que recibe la sangre del resto del cuerpo)
Axénico	cultivo de especies en condiciones de esterilidad
Biso	filamentos que los bivalvos utilizan para adherirse a un sustrato
Bivalvo	molusco pelecípodo con concha de dos valvas unidas por una charnela
Branquia	apéndice en forma de hoja que sirve para la respiración y filtración de alimentos en el agua (también llamado ctenidio)
Cigoto	célula resultante de la unión de los gametos masculino y femenino
Cilios	filamentos cuyo movimiento rítmico produce una corriente de agua en los bivalvos
Circulación ascendente	en un criadero, un sistema de cultivo en el que se induce el flujo de agua a través de la base del recipiente de la semilla (véase circulación descendente)
Circulación descendente	en un criadero, un sistema de cultivo en el que el agua entra por la parte superior de un recipiente de semilla (véase circulación ascendente)
Ctenidios	apéndices en forma de hoja que respiran y filtran alimentos en el agua (también se utiliza el término «branquias»)
Cuerpo polar	células diminutas liberadas durante la división meiótica del óvulo después de la penetración del espermatozoide. Contienen el exceso de material cromosómico para formar un óvulo haploide
Charnela	zona dorsal de la concha de los bivalvos donde se unen las dos valvas
Detrito	material orgánico procedente de la descomposición de restos animales o vegetales
Diatomea	alga unicelular bacilariofícea; las células están encerradas en un caparazón silíceo o frústula y pueden formar cadenas
Dimiario	bivalvos con dos músculos aductores, p. ej. almejas y mejillones
Dioico/dioecio	organismo en el que se producen los gametos masculinos y femeninos en diferentes individuos
Diploide	número normal de cromosomas (2n) en una célula
División meiótica	proceso en el que un número normal de cromosomas (2n) se reduce al número haploide (n)
Dorsal	perteneciente al dorso

Embrión	organismo en las primeras fases de desarrollo; en los bivalvos, antes de la etapa larvaria
Engorde	proceso de cultivo de semilla producida en criadero hasta alcanzar la talla comercial
Exhalante	zona del bivalvo desde la que el agua fluye hacia el exterior
Exótico	proveniente de otro país o región geográfica
Fecundación, fertilización	unión del óvulo y el espermatozoide
Fijación natural de semilla	en bivalvos, semilla obtenida de la puesta de poblaciones naturales
Fijación	proceso de comportamiento de las larvas maduras que consiste en buscar un sustrato adecuado donde adherirse
Flagelados	grupo de algas unicelulares caracterizadas por disponer de un órgano locomotor o flagelo
Frústula	caparazón silíceo que recubre las diatomeas
Gameto	célula sexual madura, haploide y funcional capaz de unirse a la del sexo contrario para formar un cigoto
Gametogénesis	proceso por el que se forman óvulos y espermatozoides
Haloclina	zona donde se produce un cambio brusco en la salinidad
Indígena	autóctono, nativo, no importado
Inhalante	zona de los bivalvos donde el agua fluye hacia el interior
Lámina branquial	lámina u hoja de la branquia de un bivalvo
Larva D	la fase veliger inicial de los bivalvos, también llamada larva de charnela recta
Larva de charnela recta	fase larvaria inicial, a veces llamada fase de larva D
Larva veliger	la fase larvaria de la mayoría de los moluscos, caracterizada por la presencia de un velo
Larva	fase del desarrollo de los bivalvos desde el embrión hasta la metamorfosis
Ligamento	material fibroso elástico que une las dos valvas de un bivalvo a través de la charnela
Línea paleal	ligera línea circular sobre la superficie interior de la concha de los bivalvos, que señala la adherencia del manto a la concha
Longitud de la concha	distancia en línea recta desde el margen anterior al margen posterior de la concha
Mancha ocular	órgano fotosensible que se desarrolla cerca del centro de la larva madura de algunos bivalvos
Manto	pliegue blando segregado por la concha que encierra el cuerpo del bivalvo
Material de fijación	material utilizado para recolectar semilla de bivalvos
Media	promedio

Metamorfosis	en los bivalvos, el período de transformación entre la fase larvaria y la fase juvenil
Microalgas	pequeñas algas del tamaño de una célula, diatomeas unicelulares o en cadena, cultivadas en los criaderos como alimento para larvas y semilla
Microlitro (µl)	la millonésima parte de un litro o la milésima parte de un ml
Micrómetro (µm)	la millonésima parte de un metro o la milésima parte de un mm
Monoico o monoecio	organismo que produce tanto los gametos masculinos como femeninos en el mismo individuo
Monomiario	bivalvos con un músculo aductor, p. ej. ostras y vieiras
Mordeduras	situación en la que las conchas de dos vieiras se enganchan, dañando las partes blandas en el interior
Músculo aductor	músculo grande que ejecuta movimientos de cierre entre las dos valvas
Palpo	apéndice sensorial que acompaña el aparato bucal, facilitando la introducción de alimentos
Pedal	perteneciente al pie
pH	medida de acidez
Plancton	organismo acuático flotante o con escasa autonomía en el agua, puede ser fitoplancton (plantas) o zooplancton (animales)
Planctotrófico	organismo que se alimenta de plancton
Poliploide	animal que tiene un número de cromosomas diploides (2n) mayor de lo normal
Posterior	trasero, alejado de la cabeza
Pronúcleos	en el óvulo, el núcleo haploide después de la meiosis pero antes de la fusión con el núcleo espermático
Pseudoheces	heces falsas, material residual no absorbido por el aparato digestivo
PSU	unidades prácticas de salinidad. Una medida de salinidad, equivalente a partes por mil
PUFAs	ácidos grasos poliinsaturados
Resilio, ligamento interno	parte interna del ligamento localizado a lo largo de la charnela de un bivalvo que produce la apertura de las valvas cuando se relaja el músculo aductor
Salinidad	el contenido en sales del agua de mar, normalmente medido en partes por mil (ppt) o en unidades prácticas de salinidad (PSU)
Semilla	un bivalvo recién fijado o adherido (en bivalvos también se llama poslarva o juvenil). En un criadero, juveniles de tamaño comercial
Tentáculo	protuberancia sin segmentaciones que sobresale del borde del manto con una función sensorial especializada
Termoclina	zona donde se produce un cambio brusco de temperatura vertical
Tetraploide	animal poliploide que presenta el doble de cromosomas (4n)
Triploide	un animal poliploide con un juego adicional de cromosomas (3n)
Trocófora	fase planctónica en el embrión del bivalvo

Umbo	proyecciones picudas en la parte dorsal de la concha. Es la parte más vieja de la concha
Urogenital	sistema de órganos relacionados con la excreción (riñón) y la reproducción (gónada)
Valva	una de las dos partes de la concha de un bivalvo, una concha está compuesta de dos valvas
Velo	órgano ciliado locomotor de las larvas
Ventral	perteneciente a la parte inferior de un animal

Abreviaturas, siglas y equivalencias

BBSR	Bermuda Biological Station for Research [Estación de Investigación Biológica de Bermudas]
DHA	Ácido docosahexaenoico
DOPA	Dihidroxifenilalanina
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
EPA	Ácido eicosapentaenoico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FLUPSY	Sistema flotante de circulación ascendente
FSW	Agua de mar filtrada
GI	Índice de crecimiento
GRP	Plástico reforzado con vidrio
HUFA	Ácido graso muy insaturado
LDR	Fotorresistores
MAFF	Ministry of Agriculture, Food and Fisheries [Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Reino Unido]
NTM	Mortalidad Neta por Tratamiento
PHCD	Densidad celular poscosecha
PUFA	Ácido graso poliinsaturado
PVC	Cloruro de polivinilo
RSR	Relé sensor de resistencias
SI	Sistema Internacional
TBT	Tributilestaño
TCBS	Tiosulfato-citrato-sales biliares-sacarosa
UV	Ultravioleta

En el manual no se han utilizado todas las abreviaturas que aparecen a continuación, pero se incluyen a modo de referencia para su uso en otros documentos.

<	menor que
>	mayor que
n.a.	abreviatura inglesa –también escrita N/A– que tiene dos significados: not analysed (datos sin analizar) o not available (datos no disponibles)
µm	micra
mm	milímetro
cm	centímetro
m	metro
km	kilómetro
inch	pulgada
ft	pie
yd	yarda
mi	milla
ft²	pie cuadrado
yd²	yarda cuadrada
mi²	milla cuadrada
m²	metro cuadrado
ha	hectárea
km²	kilómetro cuadrado

cc	centímetro cúbico (= ml)
m ³	metro cúbico
ft ³	pie cúbico
yd ³	yarda cúbica
µl	microlitro
ml	mililitro (= cc)
l	litro
µg	microgramo
mg	miligramo
g	gramo
kg	kilogramo
t	tonelada métrica (1 000 kg)
oz	onza
lb	libra
cwt	unidad de peso de los países de habla inglesa que en el Reino Unido y Canadá equivale a 112 libras (50,8 kg) y en EE.UU. a 100 libras (43,36 kg) (consúltese las equivalencias de unidades de peso)
t	tonelada (su valor varía en las unidades del Reino Unido [sistema imperial] y de EE.UU. – Consúltese las equivalencias de unidades de peso)
psi	libras por pulgada cuadrada
psu	unidades prácticas de salinidad
gpm	galones por minuto (sistema imperial = Reino Unido)
mgd	millones de galones por día (sistema imperial = Reino Unido)
cfm	pies cúbicos por minuto
ppt	partes por mil (también escrito ‰)
ppm	partes por millón
ppb	partes por billón (mil millones)
min	minuto
hr	hora
kWhr	kilovatio-hora

Equivalencias

Sería recomendable utilizar esta sección del anejo junto con la de abreviaturas.

Nota: los términos ingleses «gallon» y «tonne» tienen valores diferentes según se haya escrito el texto original en inglés «británico» o «americano».

Longitud:

1 µm	0,001 mm = 0,000001 m
1 mm	0,001 m = 1 000 µm = 0,0394 in
1 cm	0,01 m = 10 mm = 0,394 in
1 m	1 000 000 µm = 1 000 mm = 100 cm = 0,001 km = 39,4 in = 3,28 ft = 1,093 yd
1 km	1 000 m = 1 093 yd = 0,621 mi
1 inch	25,38 mm = 2,54 cm
1 ft	12 in = 0,305 m
1 yd	3 ft = 0,914 m
1 mi	1 760 yd = 1,609 km

Peso:

1 µg	0,001 mg = 0,000001 g
1 mg	0,001 g = 1 000 µg
1 g	1 000 000 µg = 1 000 mg = 0,001 kg = 0,0353 oz

1 kg	1 000 g = 2,205 lb
1 mt	1 000 kg = 1 000 000 g = 0,9842 t (Reino Unido) = 1,102 t (EE.UU.)
1 oz	28,349 g
1 lb	16 oz = 453,59 g
1 cwt (Reino Unido)	112 lb = 50,80 kg
1 cwt (EE.UU.)	100 lb = 45,36 kg
1 t (Reino Unido)	20 cwt (Reino Unido) = 2 240 lb
1 t (EE.UU.)	20 cwt (EE.UU.) = 2 000 lb
1 t (Reino Unido)	1,016 mt = 1,12 t (EE.UU.)

Volumen:

1 µl	0,001 ml = 0,000001 l
1 ml	0,001 l = 1 000 µl = 1 cm ³
1 l	1 000 000 µl = 1 000 ml = 0,220 galones imperiales (Reino Unido) = 0,264 galones (EE.UU.)
1 m ³	1 000 l = 35,315 ft ³ = 1,308 yd ³ = 219,97 galones imperiales (Reino Unido) = 264,16 galones (EE.UU.)
1 ft ³	0,02832 m ³ = 6,229 galones imperiales (Reino Unido) = 28,316 l
1 galón inglés	4,546 l = 1,2009 galones (EE.UU.)
1 galón norteamericano	3,785 l = 0,833 galones imperiales (Reino Unido)
1 MGD	694,44 GPM = 3,157 m ³ /min = 3 157 l/min

Concentraciones - disolución de sólidos en líquidos:

1 %	1 g en 100 ml
1 ppt	1 g en 1 000 ml = 1 g en 1 l = 1 g/l = 0,1%
1 ppm	1 g en 1 000 000 ml = 1 g en 1 000 L = 1 mg/l = 1 µg/g
1 ppb	1 g en 1 000 000 000 ml = 1 g en 1 000 000 l = 0,001 ppm = 0,001 mg/l

Concentraciones - dilución de líquidos en líquidos:

1 %	1 ml en 100 ml
1 ppt	1 ml en 1 000 ml = 1 ml en 1 l = 1 ml/l = 0,1%
1 ppm	1 ml en 1 000 000 ml = 1 ml en 1 000 l = 1 µl/l
1 ppb	1 ml en 1 000 000 000 ml = 1 ml en 1 000 000 l = 0,001 ppm = 0,001 ml/l

Superficie:

1 m ²	10,764 ft ² = 1,196 yd ²
1 ha	10 000 m ² = 100 ares = 2,471 acres
1 km ²	100 ha = 0,386 mi ²
1 ft ²	0,0929 m ²
1 yd ²	9 ft ² = 0,836 m ²
1 acre	4 840 yd ² = 0,405 ha
1 mi ²	640 acres = 2,59 km ²

Temperatura:

°F	(9 ÷ 5 x °C) + 32
°C	(°F - 32) x 5 ÷ 9

Presión:

1 psi	70,307 g/cm ²
-------	--------------------------

Unidades científicas

Los científicos suelen emplear formas diferentes de algunas de las unidades que se describen en el glosario. Utilizan el denominado Sistema Internacional de Unidades (SI) y las unidades se conocen como unidades SI. En las revistas científicas, por ejemplo,

1 ppt se escribe 1 g l^{-1} en lugar de 1 g/l (consúltese apartado de concentraciones más arriba). También se escribe 1 g kg^{-1} en lugar de 1 g/kg , 12 mg kg^{-1} en lugar de 12 mg/kg , $95 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ en lugar de $95 \text{ } \mu\text{g/kg}$, y una densidad de carga de 11 kg/m^3 se escribiría 11 kg m^{-3} . Este sistema de normalización no suele emplearse en criaderos comerciales ni en unidades de engorde, por lo que no se ha utilizado en este manual. Se puede obtener más información sobre este tema realizando búsquedas en internet sobre unidades SI.

Introducción

Los moluscos bivalvos (ostras, mejillones, almejas y vieiras) constituyen una parte importante de la producción pesquera mundial. Durante el decenio 1991-2000 se observó un aumento constante de la producción de bivalvos, pasando de 6,3 millones de toneladas desembarcadas en 1991 a más del doble en 2000, con 14 204 152 toneladas métricas (t) de bivalvos procedentes de la pesca y de la acuicultura (Ilustración 1).

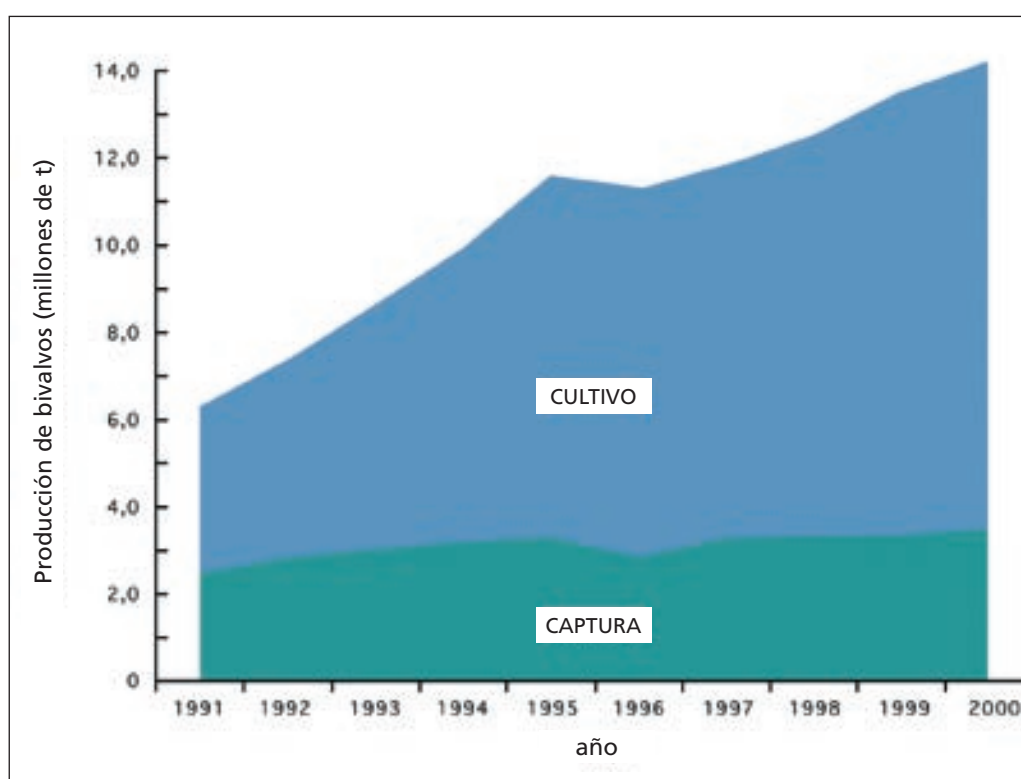


Ilustración 1: Producción (en millones de toneladas) de bivalvos procedentes de la pesca y de la acuicultura durante el decenio 1991-2000 (a partir de los Anuarios de Estadísticas de Pesca de la FAO).

Sin lugar a dudas, esta creciente tendencia global en el consumo de productos de mar va a continuar en el futuro. Los productos de la pesca forman parte importante y esencial de la dieta en muchos países del mundo donde la necesidad de mayores producciones va a aumentar con el crecimiento demográfico mundial. La demanda de productos de la pesca también va a aumentar en aquellos países donde los productos del mar se consideran una parte importante y saludable de la dieta. La mayor parte de la demanda de productos del mar se refiere al pescado, sin embargo la producción y cosecha de moluscos, especialmente de bivalvos, también va a tener un papel esencial a la hora de satisfacer esta creciente demanda. La captación de bancos naturales de bivalvos va a seguir teniendo importancia, pero muchas de estas poblaciones naturales ya se encuentran cerca de los límites máximos sostenibles y en algunos lugares ya los han sobrepasado, situación que puede paliarse a través de la acuicultura, que ofrece una alternativa a la explotación de las poblaciones naturales. Durante el período 1991-2000, los desembarques procedentes de la pesca apenas aumentaron en 2,5-3,5 millones de toneladas, mientras que los desembarques procedentes del cultivo se duplicaron

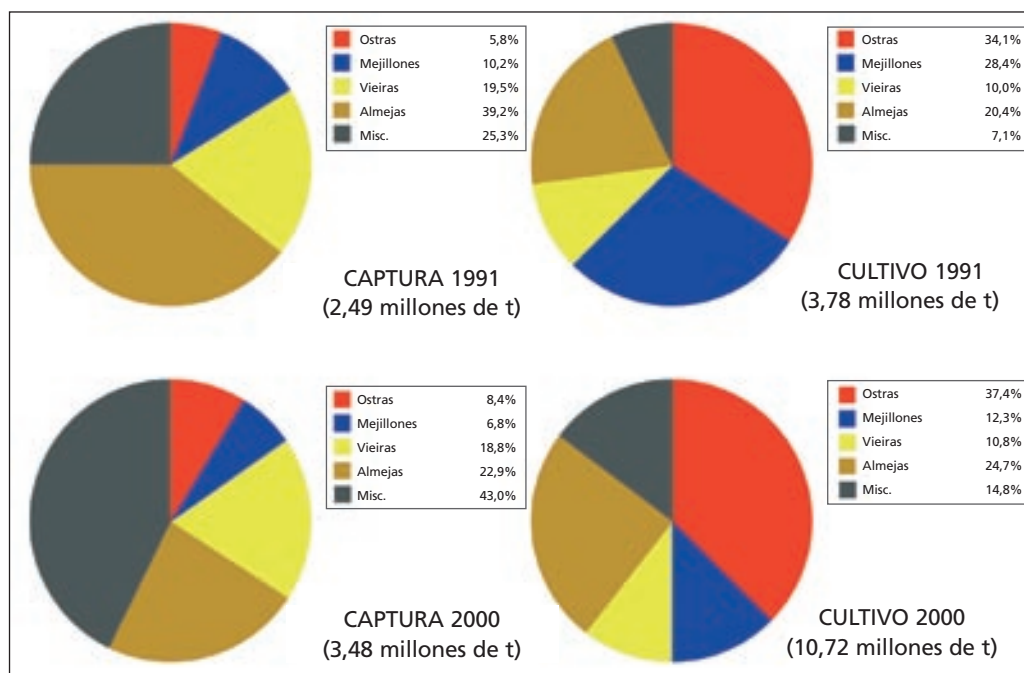


Ilustración 2: Comparación de la producción procedente de la pesca y de la acuicultura con la contribución relativa de los principales grupos de bivalvos en 1991 y 2000.

durante el mismo período, aumentando de 6,3 a 14 millones de toneladas (Ilustración 2). En 2000 alrededor del 75% de la producción mundial de bivalvos procedía ya de alguna forma de cultivo.

Los bivalvos son animales ideales para la acuicultura, ya que son herbívoros que requieren un manejo mínimo y que no necesitan más alimento que las algas que se encuentran de forma natural en el agua de mar. Aunque se hayan cultivado durante siglos, los recientes avances tecnológicos en el campo del cultivo de moluscos han permitido incrementar la producción de forma significativa. Los métodos y tecnologías de cultivo requieren constantes mejoras para poder satisfacer la demanda creciente y para convertir el cultivo de bivalvos en una actividad económicamente atractiva para los inversores y para aquellos que deseen iniciarse en dicha actividad. Cada vez más será de vital importancia mejorar la eficacia de las actividades acuícolas, dado que las zonas donde se puede practicar el cultivo de moluscos en el mundo ya son limitadas y será cada vez más difícil encontrar nuevos emplazamientos para esta actividad debido al incremento de la presión demográfica y el desarrollo urbanístico de las costas.

Un requisito esencial para cualquier actividad de cultivo o de explotación es contar con semilla abundante, fiable y barata. Actualmente, en la mayoría de las explotaciones de bivalvos del mundo se recolecta la semilla en bancos naturales y se coloca el sustrato (material de fijación) en las zonas de reproducción; luego se recogen las larvas en metamorfosis, para luego transferir la semilla recolectada a las zonas de engorde hasta que ésta alcance la talla comercial. En otros casos, se recolecta la semilla en zonas de abundancia natural y se transporta a zonas de engorde que pueden estar alejadas de la fuente de semilla (telecaptación). La recolección de semilla en zonas de reclutamiento natural seguirá siendo importante en las explotaciones de bivalvos de todo el mundo y sin lugar a dudas en algunas zonas esta práctica podrá intensificarse para satisfacer la mayor demanda de semilla de las explotaciones. Es por tanto necesario reconocer la importancia que tienen estas zonas de reproducción y hacer un gran esfuerzo para conservarlas.

En muchos otros lugares de cultivo, no existen zonas de reproducción natural que suministren semilla y, si existen, no pueden producir suficiente semilla para satisfacer los requisitos de la fase de engorde, incluso la reproducción es errática y no se puede garantizar una fuente fiable de semilla. Se dan además otros inconvenientes que condicionan la recolección de semilla natural para su uso en las actividades acuícolas, ya que, a veces, los engordadores de algunas zonas desarrollan y cultivan razas o variedades de bivalvos que se ajustan a sus necesidades particulares, pero puede que ese tipo de semilla no se encuentre disponible localmente. Otro caso es el de aquellos productores que deseen introducir una especie no autóctona (exótica) y no dispongan de una fuente de semilla, para los que la alternativa consiste en la recolección en bancos naturales de bivalvos para producir luego la semilla en el criadero. Los criaderos de bivalvos llevan funcionando más de cincuenta años y hoy en día están bien implantados en muchos países, formando parte integral de muchas explotaciones y constituyendo la mayor o única fuente de semilla. Indudablemente en el futuro los criaderos de bivalvos desempeñarán un papel muy importante dentro del conjunto de actividades acuícolas, conforme la explotación de moluscos se especialice y aumente la demanda de semilla.

Los criaderos ofrecen varias ventajas con respecto a la recolección en bancos naturales ya que son fiables y pueden suministrar semilla a los engordadores según sus requisitos y cuando les sea conveniente –a menudo mucho antes en la época de crecimiento que con los bancos naturales. Pueden proporcionar semilla que no está disponible en los bancos naturales, como es el caso de las variedades genéticas con características biológicas mejoradas para su explotación en zonas locales o semilla de bivalvos exóticos. El coste supone la mayor desventaja de la producción de semilla en criadero ya que es más caro criar la semilla en unas instalaciones que recolectarla de un banco natural. Aunque en el pasado los factores económicos probablemente hayan sido la causa del fracaso de algunos criaderos de bivalvos, las recientes mejoras tecnológicas han potenciado enormemente su fiabilidad y su viabilidad económica, puesto que es posible producir semilla a precios competitivos y, de hecho, en algunas partes del mundo, los criaderos constituyen la única fuente de semilla para la industria acuícola comercial. No obstante, aún queda margen para acrecentar la eficacia de los criaderos y aumentar su aceptación como mejor fuente de semilla.

La construcción y el funcionamiento de un criadero de bivalvos es una empresa importante y costosa, por lo tanto la fase de desarrollo tiene que estudiarse concienzudamente, de lo contrario estará abocada al fracaso. No existe un plan único para construir un criadero de bivalvos y ponerlo en funcionamiento; de hecho, muchos han comenzado como explotaciones pequeñas y han ido creciendo a la vez que el mercado de sus productos. Los criaderos varían enormemente en cuanto a su diseño, configuración y construcción, en función de las especies cultivadas, objetivos de producción, y, sobre todo de las condiciones locales y las preferencias personales de sus propietarios o de la empresa. En cambio, los elementos básicos son los mismos para cualquier criadero de bivalvos e incluyen un método para acondicionar a los reproductores e inducir la puesta, criar y fijar las larvas, engordar la semilla hasta una talla aceptable, y unas instalaciones para la producción de grandes cantidades de algas para la alimentación en todas las fases del ciclo productivo. Si bien los elementos esenciales son comunes a todos los criaderos, también es cierto que existen variaciones en cuanto a tecnologías y a la eficacia en cada fase productiva, que deben ser mejoradas de forma constante para conseguir que los criaderos sean cada vez más rentables.

Esta publicación no se ha concebido como un manual de gestión de criaderos. Existen otros documentos que también describen los criaderos de bivalvos, y muchos se están volviendo obsoletos y no incluyen las mejoras tecnológicas más recientes. Este manual pretende ser una introducción práctica a los elementos básicos de las actividades que se

llevan a cabo en un criadero, dirigido a principiantes en este campo. También permitirá a los futuros inversores valorar la posibilidad de construir y gestionar un criadero de bivalvos y entrar en el negocio de producción de semilla para la industria acuícola. El manual no está ideado como una publicación científica en el sentido convencional y gran parte del contenido se basa en la propia experiencia del autor, así como en la experiencia acumulada a lo largo de un período de más de 80 años. Aunque existe una extensa bibliografía sobre criaderos de bivalvos, muchas de las publicaciones prácticas tienen una divulgación limitada o están agotadas y sólo están disponibles a través de los servicios especializados de las bibliotecas. Puede ocurrir que muchos lectores no consigan estos documentos y por lo tanto se ha hecho un esfuerzo para que este manual sea lo más completo posible y para garantizar y facilitar su acceso. En lugar de incluir unas extensas referencias bibliográficas en el texto, se ha optado por ofrecer una lista de lecturas recomendadas al final de cada sección del manual para proporcionar otras fuentes de información sobre temas concretos y aspectos relacionados con el funcionamiento de un criadero.

Primera parte

Selección del emplazamiento, diseño del criadero y aspectos económicos

1.1 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	5
1.1.1 Introducción	5
1.1.2 Consideraciones	6
1.1.2.1 <i>Reglamentación gubernamental</i>	6
1.1.2.2 <i>Calidad del agua de mar</i>	6
1.1.2.3 <i>Emplazamiento del criadero</i>	7
1.2 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL DISEÑO DEL CRIADERO	8
1.2.1 Introducción	8
1.2.2 Captación de agua de mar	9
1.2.3 Instalaciones	12
1.2.3.1 <i>Instalaciones para el cultivo de algas</i>	13
1.2.3.2 <i>Zona de mantenimiento y desove de reproductores</i>	14
1.2.3.3 <i>Zona de cultivo de larvas</i>	15
1.2.3.4 <i>Zona de cultivo de semilla</i>	15
1.2.3.5 <i>Otros requisitos de espacio</i>	15
1.3 ASPECTOS ECONÓMICOS	16
1.4 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	17

1.1 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

1.1.1 Introducción

Uno de los factores más importantes a la hora de construir un criadero de bivalvos –que no siempre se tiene en cuenta– es la selección de un emplazamiento idóneo. Existen varios aspectos que pueden condicionar la ubicación de una instalación en el lugar inadecuado, como por ejemplo, la falta de alguno de los componentes esenciales de la infraestructura, la disponibilidad de terreno a un coste razonable, el suministro local de electricidad y de agua dulce, la existencia de personal cualificado o de buenas comunicaciones. Puede ocurrir que una empresa o un particular decida construir un criadero al lado de una instalación de engorde de bivalvos que ya esté en funcionamiento, en cuyo caso, el criadero se convertiría en una unidad adicional de la instalación ya existente. En otras ocasiones, por ejemplo, un particular o una empresa pueden poseer o ser propietarios de los derechos de propiedad sobre un emplazamiento, que reúne las condiciones idóneas para la construcción de un criadero. Si bien es cierto que no siempre es posible construir los criaderos en el lugar adecuado, al menos se deberían seguir ciertos criterios para evitar condenar el criadero al fracaso.

1.1.2 Consideraciones

1.1.2.1 Reglamentación gubernamental

El primer aspecto que hay que considerar es la posibilidad de que la reglamentación gubernamental permita la construcción de un criadero de bivalvos en el emplazamiento escogido. Esto se puede resolver rápidamente consultando con las autoridades locales, estatales, provinciales o federales. Si la ley no permite la construcción de un criadero en el lugar elegido, habrá que encontrar otro emplazamiento autorizado o bien intentar cambiar la reglamentación gubernamental para así conseguir la autorización necesaria para el lugar escogido.

Antes de obtener la autorización para construir cualquier tipo de infraestructura puede que sea necesario tramitar una serie de permisos y licencias para cumplir con las normas de construcción locales y con las reglamentaciones nacionales y locales sobre el medio ambiente. Este proceso puede llevar tiempo y llegar a ser costoso y quizás se necesite contar con una evaluación del impacto potencial del criadero en el medio local antes de que se conceda, o no, el permiso para empezar a construir.

1.1.2.2 Calidad del agua de mar

Antes de analizar los elementos que conforman el emplazamiento idóneo para instalar un criadero, es esencial poder garantizar la calidad de la captación de agua de mar durante todo el año en el sitio en cuestión. Este requisito es imprescindible, ya que si no se dispone de una buena captación de agua de mar, será difícil, si no imposible, desarrollar las actividades del criadero de manera eficiente y rentable. Por este motivo es muy importante obtener toda la información que se pueda sobre la calidad del agua de mar del sitio escogido a lo largo de todo el año. No sólo se necesita información de las aguas superficiales sino también de toda la columna de agua, ya que pueden aparecer termoclinas y circulaciones ascendentes de forma periódica. Si con anterioridad se han realizado estudios oceanográficos de la zona, deberían analizarse los datos. Pero si no se cuenta con esta información, el interesado debería realizar un muestreo detallado de las aguas en el emplazamiento propuesto y durante al menos un año.

La ubicación geográfica del sitio y las posibles especies de cultivo determinarán en parte los parámetros ambientales del agua de mar que necesitan ser examinados. Las larvas, los juveniles y los adultos de los bivalvos tienen requisitos fisiológicos estrictos, como por ejemplo, la temperatura del agua, la salinidad y los niveles de oxígeno; parámetros que deben mantenerse en el criadero. La temperatura del agua es más elevada en los trópicos que en las zonas templadas y los bivalvos autóctonos están bien adaptados a estas condiciones y las toleran bien. Sin embargo, las temperaturas en el criadero no deberían descender demasiado para evitar efectos negativos sobre la supervivencia de las larvas y los juveniles o sobre su crecimiento. En las zonas templadas, la temperatura del agua no debería sobrepasar los niveles inferiores o superiores letales para las larvas y para los juveniles. La salinidad puede sufrir grandes variaciones y la tolerancia a estas fluctuaciones varía en las diferentes especies de bivalvos. Algunas necesitan altos niveles oceánicos de salinidad mientras que las especies eurihalinas (de estuarios y de aguas salobres) muestran una tolerancia mucho mayor. Las estaciones de lluvias torrenciales pueden desencadenar períodos de baja salinidad, y las fuertes escorrentías asociadas a estas lluvias también pueden provocar un incremento de la cantidad de limo y de otros materiales que a su vez pueden crear problemas en el criadero. Las elevadas concentraciones (afloraciones) de algunas algas marinas y especies bacterianas pueden liberar sustancias tóxicas que podrían llegar a reducir la supervivencia y crecimiento de las larvas o de los juveniles de bivalvos, e incluso en casos extremos provocar importantes mortandades. Es esencial recopilar tantos datos como sea posible sobre estos parámetros antes de tomar una decisión sobre la idoneidad de un emplazamiento para un criadero de

bivalvos. Las medidas correctoras para mejorar un inadecuado nivel de calidad del agua de mar pueden resultar muy costosas y comprometer la rentabilidad de un proyecto.

Sería conveniente evitar aquellos emplazamientos que puedan verse afectados por vertidos procedentes de plantas industriales, ya que todavía no se conocen a fondo los efectos letales y subletales de muchos contaminantes industriales. Tampoco se comprenden bien los efectos aditivos de varias industrias ubicadas en un mismo lugar y que vierten residuos potencialmente tóxicos para los tramos aguas abajo. Los efectos de dichos efluentes pueden ser muy perjudiciales para las larvas de los bivalvos. Por ejemplo, un compuesto que se encuentra en muchas pinturas marinas antiincrustantes, el tributilestaño (TBT), ha resultado ser letal para las larvas de bivalvos, aún en concentraciones tan bajas como unas partes por billón. Se debe evitar la captación de agua de mar desde zonas cercanas a puertos deportivos y comerciales. Siempre que sea viable, es aconsejable realizar estudios de bioensayos utilizando embriones de bivalvos para ayudar a determinar la calidad del agua en el emplazamiento donde se piensa instalar el criadero. La presencia de materiales deletéreos puede ser temporal o estacional, por tanto el muestreo de los bioensayos debe llevarse a cabo durante un período de no menos de un año y realizarse preferentemente cada semana.

También es recomendable evitar los focos de contaminación agraria, incluso forestal. Recientemente se ha podido demostrar que la escorrentía de algunos suelos agrícolas puede llevar concentraciones de plaguicidas deletéreos para el crecimiento y supervivencia de las larvas de bivalvos. A veces, la contaminación doméstica no sólo contiene contaminantes tóxicos para las larvas de bivalvos, sino que su alto contenido orgánico puede provocar el agotamiento del oxígeno y dar lugar a mayores niveles de bacterias que a su vez pueden reducir el crecimiento y provocar la mortalidad de las larvas.

Al decidir sobre el emplazamiento de un criadero de bivalvos también hay que tener en cuenta otros factores como el desarrollo urbano y prever la posibilidad de que la «civilización» llegue pronto a engullir el sitio. El desarrollo urbanístico, con todos los problemas que conlleva, es una de las mayores preocupaciones en el cultivo de bivalvos. Si está previsto que la urbanización llegue pronto al emplazamiento, convendrá tomar todas las medidas necesarias para mantener al mínimo las fuentes potenciales de contaminación. Esto requiere una estrecha colaboración entre los responsables de la planificación y las empresas constructoras.

1.1.2.3 Emplazamiento del criadero

El criadero debe estar situado cerca del océano para reducir al mínimo la distancia que hay que salvar para bombear el agua, y así evitar tener que emplear tuberías muy largas. También tiene que estar ubicado tan cerca como sea posible del nivel del mar para evitar bombear agua sobre grandes distancias verticales. Si se dan fluctuaciones frecuentes en la temperatura y la salinidad de las aguas superficiales, será preciso colocar las tomas a cierta profundidad (hasta 20 m por debajo de la superficie) para mantener niveles más constantes de temperatura y salinidad del agua. Dependiendo de la naturaleza de los estratos geológicos, a veces se pueden perforar pozos cerca de la orilla para acceder a los acuíferos de agua de mar. Una captación de agua de esta naturaleza mantendrá la temperatura más constante durante todo el año y proporcionará agua ya filtrada, por haberse percolado a través de los estratos. Sin embargo, puede que se necesite oxigenar esta agua antes de poder utilizarla. Siempre conviene consultar con un ingeniero debidamente cualificado cuando se toman decisiones sobre las mejoras metodológicas y tecnológicas en el abastecimiento de agua.

El emplazamiento debe disponer de suficiente superficie para los edificios auxiliares y permitir una futura ampliación de las instalaciones. Otro aspecto importante

es la necesidad de contar con una vigilancia apropiada, además de un suministro adecuado de energía eléctrica, captación de agua dulce y personal cualificado para el funcionamiento del criadero. Deben existir buenas comunicaciones para facilitar el suministro de materiales y el rápido transporte de larvas y semilla a su destino. También hay que considerar la proximidad de instituciones, tales como universidades, laboratorios gubernamentales y bibliotecas, ya que estos recursos pueden ser de gran ayuda en el funcionamiento del criadero y en la búsqueda de soluciones a problemas. Como paso previo es recomendable elaborar una relación de parámetros que han de cumplirse, o que hay que comprobar, cuando se está valorando la posibilidad de elegir un emplazamiento para un criadero de bivalvos. Hay que analizar todos los elementos de la lista para comprobar que el emplazamiento cumple el máximo número de requisitos.

1.2 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL DISEÑO DEL CRIADERO

1.2.1 Introducción

No existe un diseño único para los criaderos de bivalvos. La distribución de los criaderos varía de un sitio a otro, según la especie cultivada, la ubicación geográfica, el presupuesto, la especie que se quiera producir, además de las preferencias personales (Ilustración 3). Existen criaderos pequeños que producen semilla para sus propias actividades de engorde de bivalvos. Otros son más grandes y se dedican sólo a la producción de semilla para la venta o para sus propias actividades además de un excedente que venden a otros productores. Hay criaderos que tienen semillero propio, mientras que algunos sólo producen larvas maduras para enviar a otros sitios, a diferencia de los criaderos que cultivan y suministran semilla de tamaño variable, desde 1 a 12 mm de longitud de concha. Todo ello depende en gran medida de la naturaleza, necesidades y nivel de sofisticación de las actividades de engorde que de forma conjunta conforman la clientela.



Ilustración 3: Selección de fotografías de criaderos que refleja las distintas dimensiones y los niveles de sofisticación de las construcciones que existen en el mundo. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Tinamenor S.A. (Pesués, España), Criadero Turpiolito, (Golfo de Cariaco, Venezuela), criadero de vieiras de la Estación de Investigación Biológica de Bermudas que utiliza contenedores de carga aislados y el criadero de ostras SMS (Point Pleasant, Nueva Escocia, Canadá).

Muchos criaderos se han construido sin demasiada planificación o sin pensar en la posibilidad de ampliar en el futuro. Hay criaderos que se construyen con el objetivo inicial de producir una cantidad determinada de semilla y una vez cumplido ese objetivo deciden ampliar y añadir un módulo, pero la instalación posterior de módulos adicionales no suele ser ni eficiente ni cómoda para el trabajador. En otros casos, los criaderos se construyen inicialmente para producir semilla de una única especie, pero después, al empezar a producir otras especies, el criadero deja de ser eficiente en su nuevo papel.

Se puede ahorrar mucho tiempo y evitar muchas frustraciones con una buena planificación antes de construir el criadero. Hay que considerar varios aspectos antes de diseñar un criadero, pero hay dos factores que requieren una atención especial. En primer lugar, el trabajo en el criadero tiene que ser cómodo para los operarios y eficiente para que las actividades sean lo más rentables posible, y en segundo lugar, es necesario contar con una posible ampliación en el futuro.

Los criaderos de bivalvos tienen dos partes principales, el sistema de agua de mar y las instalaciones propiamente dichas.

1.2.2 Captación de agua de mar

Como ya se apuntó, es necesario contar con agua de mar de alta calidad, y es importante asegurarse de que la fuente de agua de mar y el sistema de bombeo y tratamiento estén convenientemente situados cerca del criadero y que se haga uso óptimo del mismo para mantener al mínimo los gastos de explotación y de capital.

El criadero debe estar ubicado lo más cerca posible del nivel del mar para evitar tener que bombear agua. Las tomas de agua de mar deben ser lo más cortas posible y estar ubicadas convenientemente para que se puedan arreglar o mantener con un esfuerzo mínimo. Es recomendable colocar las tomas de agua salada a cierta profundidad para evitar fluctuaciones en la temperatura y la salinidad y para reducir también el número de organismos y residuos que puedan entrar en el sistema. En zonas templadas es conveniente que las tomas estén por debajo de cualquier termoclina que se dé en verano para reducir las variaciones de temperatura. En las zonas donde puede haber períodos de lluvias fuertes, las tomas instaladas a suficiente profundidad evitarán tanto las fluctuaciones súbitas de salinidad como la excesiva acumulación de lodos por la lluvia. La colocación de las tomas a cierta profundidad evita que se produzcan fuertes afloraciones de plancton, que podrían llegar a ser perjudiciales para las larvas de los bivalvos, y reducir considerablemente la entrada en el sistema de organismos incrustantes que pueden adherirse a las cañerías y reducir notablemente el caudal de agua que llega al criadero. Se puede evitar la incidencia de muchas de las fuentes de variabilidad arriba mencionadas perforando pozos para la captación de agua de mar. Esta es una posibilidad que habría que contemplar antes de abordar cualquier otra solución.

El tamaño de la bomba y el diámetro de las cañerías dependerá de la escala a la que se trabaje y los volúmenes de agua de mar necesarios para todas las etapas de la producción. Las bombas se pueden encontrar en establecimientos comerciales y el tipo y tamaño de bomba se puede determinar comentándolo con los distribuidores. Es importante asegurarse de que las superficies que entran en contacto con el agua de mar no sean tóxicas. La mayoría de los plásticos, hierro fundido y ciertas clases de acero inoxidable son una opción adecuada. Sería aconsejable evitar el uso de bombas con componentes de acero dulce o latón.

Una vez bombeada directamente desde el océano, el agua de mar pasa primero a través de filtros de arena que retienen la mayor parte del material particulado de más de 20-40 µm

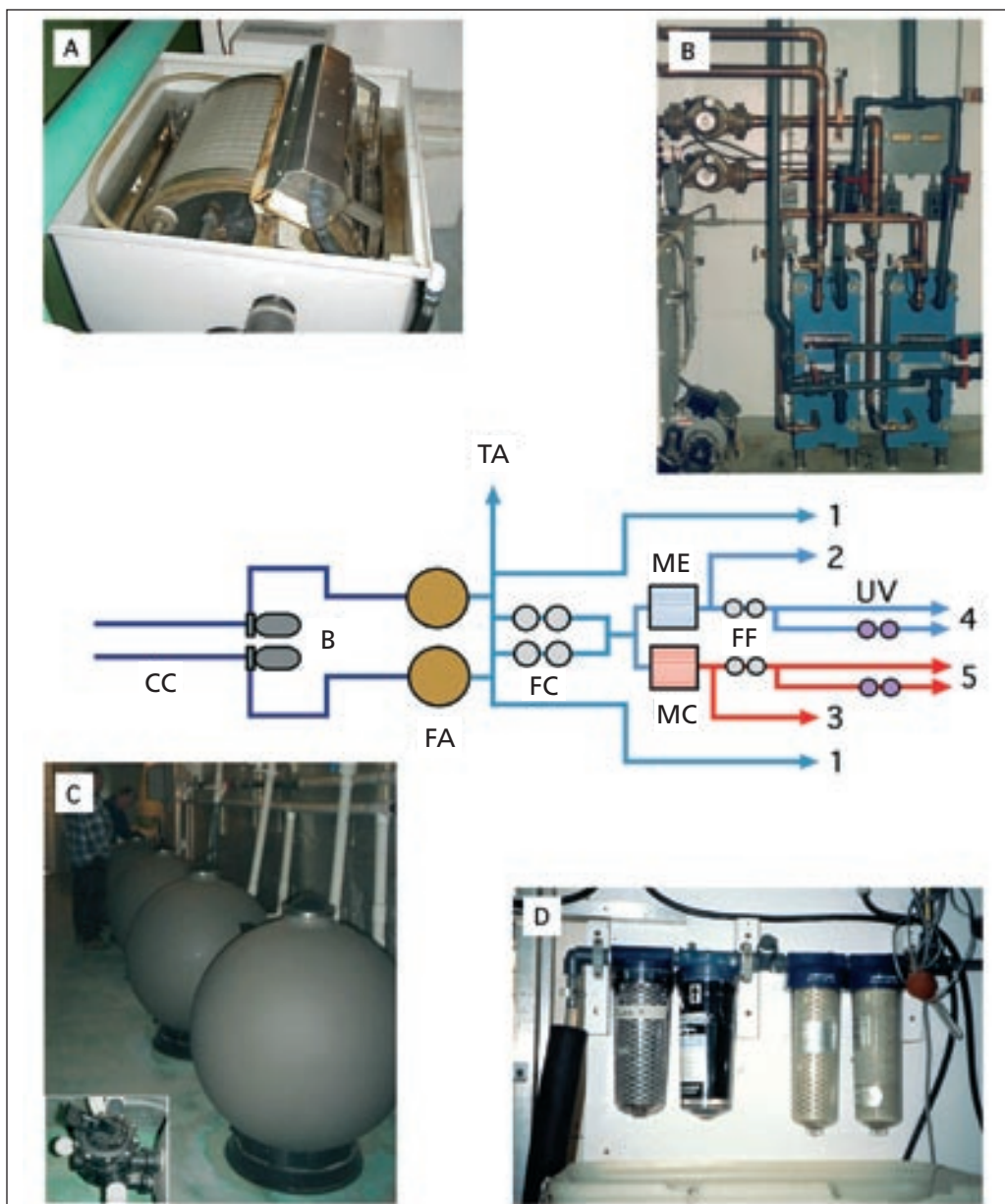


Ilustración 4: Diagrama de las diversas etapas en el tratamiento del agua de mar para uso en criaderos, desde los conductos de captación (CC) hasta los puntos donde se utiliza el agua para las diferentes actividades (1 a 5). **B** – bombas de agua de mar; FA – filtros de arena (fotografía C) o filtros de tambor alternativos de autolimpieza (fotografía A); TA – hacia los tanques de almacenamiento (si fuera necesario); FC – filtros de cartuchos de 20 μm y 10 μm ; ME – módulo de enfriamiento del agua de mar (si fuera necesario); MC – módulo de calentamiento del agua de mar (si fuera necesario – fotografía B); FF – filtrado final (5 μm y 1 ó 2 μm – fotografía D); UV – módulos de desinfección con luz ultravioleta (si fuera necesario).

Indicaciones de uso (los niveles de tratamiento varían de un criadero a otro):

- 1 – Agua sin calentar y filtrada con arena para reproductores y juveniles de mayor tamaño (paso 3 si se necesita calentar el agua).
- 2 – Agua de mar refrigerada y filtrada a 10 μm para el desove de reproductores o para el cultivo a gran escala de algas de especies resistentes. El agua refrigerada (o a temperatura ambiente) se suele mezclar con agua de mar calentada para proporcionar temperaturas intermedias con diferentes fines.
- 3 – Agua de mar calentada y filtrada a 10 μm para acondicionar y desovar reproductores y para cultivar semilla de mayor tamaño. Algunos criaderos tienen un sistema separado de calefacción bien para agua de mar sin filtrar o para agua filtrada con arena para acondicionar a los reproductores.
- 4 – Agua refrigerada y filtrada a 1 μm y desinfectada o no con UV para el cultivo de algas.
- 5 – Agua calentada y filtrada a 1 μm y desinfectada o no con UV para el cultivo de larvas.

(Ilustración 4). Un filtro de arena en buenas condiciones elimina la mayor parte de los desechos y organismos del agua que pudieran afectar a las larvas de los bivalvos. También elimina muchos de los organismos incrustantes que podrían adherirse y crecer en las tuberías del criadero. No sólo pueden generar problemas en el caudal de agua sino que al morir provocan condiciones anaerobias que pueden llegar a ser tóxicas para las larvas de los bivalvos. También pueden retener y eliminar bacterias perjudiciales para las larvas. Los filtros de arena se comercializan en las tiendas especializadas y son parecidos o iguales a los que se emplean para filtrar el agua de las piscinas. Se suelen instalar una serie de dos o más filtros de este tipo que se retrolavan de forma regular para evitar la obturación del medio de filtración. Se puede emplear otro tipo de filtros según la preferencia personal y los costes. Los filtros de tambor giratorio y autolimpiables son una alternativa para eliminar el material particulado de gran tamaño, y los filtros de cartuchos o bolsas de gran superficie son muy efectivos para retener partículas de menor tamaño.

Otra manera de obtener agua de mar para un criadero es bombeándola desde un pozo de agua marina. En los últimos años ésta se ha convertido en la fuente de agua de mar preferida de los criaderos. Se trata de excavar o perforar un pozo cerca del criadero y a suficiente profundidad como para suministrar bastante agua marina para el criadero. El agua de este tipo de pozos es de alta calidad y suele tener una salinidad y temperatura constantes. Además ya se ha filtrado a través de la roca sedimentaria o porosa, contiene pocos desechos y pocos o ningún organismo incrustante. El agua que se capta de esta manera no necesita filtrarse o filtrarse muy poco. La construcción de pozos de agua de mar puede tener un coste inicial elevado pero éste se ve compensado al reducirse los gastos de explotación.

Después de filtrada el agua de mar, toda o parte se bombea hacia un tanque de almacenamiento de hormigón o de fibra de vidrio. El empleo de un tanque de almacenamiento es cuestión de preferencias y existen muchos criaderos que no cuentan con ellos. Son útiles cuando sólo se puede obtener agua en momentos determinados, p. ej. con marea alta. A veces se utiliza este método en zonas con un suministro eléctrico poco fiable, para así garantizar el aporte de agua de mar. Se bombea suficiente agua al tanque como para que abastezca al criadero hasta que se rellene el tanque de nuevo. El tanque se coloca en alto para que con el efecto de la gravedad se mantenga un caudal de agua suficiente en todo el criadero. Otros criaderos cuentan con un sistema de agua de mar continuo y el agua se bombea al criadero de forma constante para que se use donde sea necesario y luego se elimina como residuo. Muchos criaderos han instalado recientemente sistemas de recirculación completos o parciales para reducir los gastos de explotación, lo cual es especialmente interesante si existe un suministro limitado de agua de mar o si se ha calentado o enfriado. Se pueden utilizar filtros activados biológicamente con el agua recirculada para eliminar los residuos metabólicos y guardarla hasta que se vaya a reutilizar. Si se ha calentado o enfriado el agua, se pueden usar intercambiadores de calor para calentar o enfriar parcialmente el agua que entra y así reducir los costes energéticos.

Las tuberías no deben ser tóxicas, normalmente se emplean de PVC (cloruro de polivinilo), Clase 40 ó 80, aunque a veces como alternativa se emplean conductos y accesorios de ABS o polietileno. El diámetro de las tuberías depende de las necesidades de agua, pero en la mayoría de los criaderos las líneas principales de distribución dentro del criadero tienen 50 mm o menos de diámetro a pesar de que los conductos principales de captación puedan tener hasta 15 cm de diámetro. Las tuberías deberían estar bien apoyadas y a suficiente altura, para así estar apartadas pero accesibles para las operaciones de limpieza. Las válvulas y desagües tienen que estar convenientemente ubicados. Si el agua se ha filtrado suficientemente no será necesario limpiar las tuberías

con frecuencia. En el caso de que sea necesaria una limpieza periódica es importante contar con tomas o juntas de rosca limpias y ubicadas de tal forma que las líneas puedan limpiarse con facilidad in situ o desmontarse rápidamente para realizar una limpieza a fondo.

En la mayoría de los criaderos instalados en zonas templadas se necesita contar con la posibilidad de calentar y a veces enfriar parte del agua de mar. En el mercado se pueden encontrar módulos con este fin y junto con el distribuidor se puede calcular la capacidad necesaria para garantizar la disponibilidad de un suministro adecuado a la temperatura precisa. De nuevo es esencial evitar que las superficies de aquellos módulos que entran en contacto con el agua de mar sean tóxicas para las larvas de bivalvos. La mayoría de los intercambiadores de calor que se encuentran en el mercado utilizan titanio en la superficie de transferencia de calor, el material más empleado en los criaderos. El gerente del criadero puede decidir esterilizar (o dicho de forma más correcta, desinfectar) toda o parte del agua de mar antes de su uso, especialmente en el caso de enfermedades. El agua de mar se puede esterilizar con luz UV (ultravioleta) o con ozono. Existen en el mercado módulos comerciales y con un simple cálculo se puede determinar el tamaño de módulo que se precisa. Estos módulos comerciales suelen estar clasificados según su calidad a la hora de esterilizar el agua dulce. En el caso del agua de mar, donde la carga orgánica y turbidez producida por los materiales coloidales suele ser superior a la del agua dulce, se aconseja utilizar estos módulos a mitad del caudal (o menos) recomendado, para obtener resultados satisfactorios. Si se esteriliza utilizando luz UV, el agua tiene que filtrarse aproximadamente a 1 μm antes de la esterilización ya que las partículas en el agua absorben rápidamente la luz UV y por lo tanto se reduce la eficiencia del módulo. La filtración se puede incorporar fácilmente al módulo de UV y muchos módulos disponibles cuentan con filtros y lámparas de UV.

En algunos lugares existe una normativa oficial que regula el vertido de efluentes de criaderos, que hay que estudiar antes de construir un criadero y en el caso de que exista una reglamentación al respecto, debe cumplirse.

Es esencial contar con grandes desagües que bajen hacia el fondo de las zonas húmedas y que estén colocados convenientemente en todo el criadero. Estos desagües tienen que estar preparados para descargar grandes volúmenes de agua cuando se realizan operaciones tales como el vaciado de tanques.

Algunos criaderos producen especies o variedades o razas de especies exóticas, y según la normativa oficial, habría que instalar un centro de cuarentena para asegurarse de que no se introducen plagas, parásitos o enfermedades junto con las especies o larvas exóticas y evitar que puedan escapar de forma accidental hacia el entorno natural. Para ello es necesario disponer de un sistema separado de drenaje en la zona del criadero destinada a la cuarentena y que vacíe su contenido en tanques especiales donde los efluentes puedan ser esterilizados con una fuerte solución de hipocloruro. Luego se trata el agua esterilizada con tiosulfato para neutralizar cualquier resto de cloro antes de devolverla al exterior. Las instalaciones de cuarentena tienen que contar con una sala independiente para mantener, acondicionar y desovar adultos. Los desagües procedentes de esa sala también vaciarán en los tanques de tratamiento de cuarentena.

1.2.3 Instalaciones

El diseño del criadero tiene que estudiarse con detenimiento para facilitar un trabajo eficiente y cómodo. Además, el criadero debe ser versátil y poder adaptarse a los cambios sin caer en la necesidad de hacer grandes obras. En algunos criaderos, por ejemplo, donde se han construido tanques de hormigón, después no ha sido fácil hacer



Ilustración 5: Plano general de una planta diseñada especialmente como criadero de bivalvos (véase la explicación en el texto que a continuación sigue).

cambios. Es mejor contar con tanques de plástico o de fibra de vidrio que se desplazan con facilidad o se cambian si la ocasión lo requiere. El suelo debe ser de hormigón y tener suficientes desagües. Todas las superficies tienen que estar cubiertas de una terminación duradera y resistente al moho para garantizar unas buenas condiciones de limpieza. Los armarios y módulos de almacenamiento de madera que están sobre el suelo deberían montarse sobre pedestales de hormigón para evitar que se dañen con el agua de mar. Si no es posible, las superficies de madera tienen que pintarse con una resina epoxídica de buena calidad.

Los criaderos tienen varias zonas interconectadas y que, por practicidad, se han dividido de la siguiente manera: cultivo de algas, acondicionamiento y desove de reproductores, cría de larvas, cultivo de juveniles y zonas de servicio (Ilustración 5).

1.2.3.1 Instalaciones para el cultivo de algas

El éxito de un criadero de bivalvos depende de la producción de algas. Es una parte muy importante de cualquier criadero y es imprescindible un buen diseño para proporcionar una zona de trabajo adecuada para este fin ya que se necesita contar con grandes cantidades de algas de alta calidad (CA – Ilustración 5). Como las algas se utilizan en todas las fases de producción, la instalación debería ubicarse en una zona céntrica y conveniente. El espacio necesario para el cultivo de algas dependerá en parte de los niveles de producción, los métodos de cultivo y si las algas se van a cultivar dentro del criadero con iluminación artificial, o si se van a criar en el exterior con luz natural, o una combinación de los dos métodos. Si se opta por usar la luz natural se necesitará un invernadero bien ventilado que tendrá que instalarse de forma tal que reciba la máxima cantidad de luz solar, aunque habrá que proteger a los cultivos más jóvenes o menos densos del sol directo.

Será necesario contar con una pequeña sala para mantener las cepas de algas [también llamadas cultivo patrón (CP)]. Las dimensiones varían pero pueden llegar a ser tan reducidas como de 2 x 3 m. La sala debe contar con aislamiento y temperatura fría constante. Si se utilizan luces fluorescentes se necesitarán estanterías al fondo para

proporcionar la fuente de luz. También será necesario contar con un aporte de aire. En esta sala también se guardan tubos de ensayo con cultivo inclinado de algas y pequeños matraces con cepas monoespecíficas y axénicas normalmente dentro de una incubadora refrigerada e iluminada. Los métodos se describen en la Parte 3.

En la siguiente fase de cultivo se utilizan las cepas de la sala fría y se cultivan en matraces de 4 l y botellones de 20 l delante de una batería de lámparas fluorescentes (LF). Esto puede ser parte de la zona principal de cultivo de algas o una pequeña sala independiente. El espacio necesario dependerá del número de especies y la cantidad de algas que se produzcan. Esta zona requiere un aporte de aire y dióxido de carbono y debe mantenerse de 15 a 18 °C. Otra pequeña sala adyacente (SA) alberga una autoclave (a), que se utiliza para termoesterilizar el medio para los cultivos más pequeños. Algunos criaderos utilizan métodos alternativos para preparar el medio de cultivo que se describen en la Parte 3.

El tamaño de la zona principal de cultivo de algas dependerá del número de especies que se cultiven y de la cantidad de algas que se necesiten. Esta zona puede llegar a ocupar una parte sustancial del criadero.

Si la mayoría de las algas se cultivan dentro del criadero utilizando el método de cultivo en tandas entonces tiene que haber suficiente espacio para una serie de tanques de 3-4 m de diámetro y 2 m de profundidad. Si se emplean los métodos de cultivo en saco o cilindro alto se puede reducir la superficie de suelo necesaria. Las reactancias para las lámparas fluorescentes empleadas para iluminar los cultivos tienen que ser del tipo «funcionamiento en frío» o estar aisladas en una zona independiente desde donde se pueda disipar el calor que generan. En condiciones ideales esta zona debería mantenerse de 15 a 20 °C.

En muchos criaderos, una parte importante de las algas, si no todas, se cultivan en invernaderos, que pueden ser estructuras independientes o anejas a un lateral del criadero –preferentemente el lado sur en el hemisferio norte y el lado norte en el hemisferio sur– para así obtener máxima luz solar. El tamaño de los invernaderos dependerá del método de cultivo y de las cantidades de algas que se vayan a producir.

Debe haber suficiente energía eléctrica para la iluminación artificial cuando la natural es inadecuada. El aporte de aire y dióxido de carbono es esencial. También deberá haber una correcta ventilación o instalación de aire acondicionado para mantener la temperatura a o por debajo de 20 °C aquellos días en los que la fuerte luz solar calienta las instalaciones. Se necesitará un generador en aquellas zonas donde el suministro de electricidad sea poco fiable o pueda estar desconectado durante varias horas. Aunque la falta de luz durante una o dos horas no compromete la supervivencia de los cultivos de algas, sí es necesario airearlos. Sin aireación las diatomeas se irán al fondo de los cultivos y éstos pueden llegar a peligrar.

1.2.3.2 Zona de mantenimiento y desove de reproductores

Se necesita contar con espacio para mantener y acondicionar a los reproductores (SR – Ilustración 5). Esto dependerá en parte del número de especies que se mantienen y si el acondicionamiento o parte de éste se realiza en entorno abierto en lugar de en el criadero. Puede que sea preciso utilizar agua de mar calentada o refrigerada en esta parte del proceso en algunos períodos del año. También es deseable poder aislar los tanques para así ajustar el fotoperíodo ya que las fluctuaciones de luz y oscuridad pueden afectar a la maduración de las gónadas.

Hay que contar con espacio para las bandejas de desove (bd), aunque éstas pueden formar parte de la zona de cultivo larvario ya que el espacio no se necesita de forma continua. Luego se pueden almacenar las bandejas o platos de desove cuando ya no se empleen. Los métodos para el acondicionamiento de reproductores, desove y fecundación se describen en la Parte 4.

1.2.3.3 Zona de cultivo de larvas

Otra parte importante del criadero está ocupada por la instalación de cultivo larvario (CL) y sus dimensiones estarán determinadas por la escala de producción. El espacio está ocupado por tanques, en un número que dependerá de los niveles de producción y las técnicas utilizadas para cultivar las larvas. En la costa pacífica de Norteamérica se cultivan larvas a densidades bajas de 2-3 por ml en grandes tanques que miden 3-4 m de diámetro, 4-5 m de altura, con capacidad para 40 000 a 50 000 l. En otros criaderos, las larvas se cultivan en tanques más pequeños de hasta 5 000 l de volumen a densidades larvarias mayores. Cuando se diseña esta parte del criadero, el gerente debe tomar decisiones sobre la producción deseada para satisfacer la demanda del mercado y la metodología que empleará para criar las larvas.

Los tanques de cultivo larvario están normalmente realizados en fibra de vidrio o de un plástico adecuado y deben estar convenientemente lavados antes de su uso. Independientemente del tamaño del tanque, es preciso que haya grandes desagües por debajo del nivel del suelo capaces de soportar grandes volúmenes de agua cuando se vacíen los tanques. En la sala de cultivo larvario se necesita contar con una zona de preparación (P) para lavar, clasificar, contar y medir las larvas y para acomodar el equipo utilizado. Esta área debe estar dotada de armarios y estanterías para guardar el equipo cuando no se use.

1.2.3.4 Zona de cultivo de semilla

Una vez que las larvas maduras se han fijado (se han asentado y han iniciado la metamorfosis) se trasladan a tanques en la sala de cultivo de juveniles (CJ) para su cultivo hasta que alcancen la talla suficiente para transferirse a los sistemas de semilleros, que pueden estar en el criadero o en otro sitio. Normalmente esto ocurre cuando los juveniles (semilla) sobrepasan los 2 mm de longitud de concha. El tamaño y tipo de tanques, en cuanto a volumen y superficie utilizada para este fin, varía de una especie a otra.

Las larvas maduras se fijan en el criadero o en instalaciones externas (a veces a cierta distancia). Cuando este procedimiento se da dentro del criadero se suele hacer en la zona de cultivo larvario, y con frecuencia directamente en los tanques larvarios. Puede que sean necesarios tanques adicionales para estos propósitos específicos. La semilla (fase inicial de juveniles) se transfiere después a los sistemas de tanques en una zona independiente y específica para el cultivo de juveniles (JC). El tamaño y tipo de tanques, en cuanto a volumen y superficie utilizada para este fin, varía de una especie a otra. Los juveniles se crían en sistemas de circulación ascendente, descendiente o en bandejas con variada configuración hasta que sobrepasan los 2 mm de longitud de concha. No es muy rentable cultivar la semilla hasta una talla superior dentro del criadero basándose en alimento cultivado ya que las necesidades de alimento incrementan de manera exponencial con el tamaño. Si el sistema de semillero está ubicado fuera del criadero, se debe asignar suficiente espacio para esta actividad. Los métodos de cultivo larvario se describen en la Parte 5 y los de cultivo de semilla en la Parte 6.

1.2.3.5 Otros requisitos de espacio

Como se ha comentado antes, los criaderos que trabajan con reproductores procedentes de lugares remotos o con especies exóticas a veces necesitan someterlos a cuarentena y cultivar las crías de forma separada. Este tipo de criaderos cuenta con salas de cuarentena (SC) para este fin, y el efluente de las mismas se vierte en los tanques de tratamiento

(TT). Cuentan también con un laboratorio seco (LS), oficina (O) y cuarto de baño (CB). En el laboratorio seco se realizan las transferencias de algas (si no hay otro espacio asignado para esta actividad), se pesan y mezclan las sustancias químicas, se guardan los microscopios para estudiar los cultivos, los registros y el equipo científico.

La maquinaria estática, como las bombas principales, filtros y prefiltros de arena (para eliminar partículas de hasta 10 µm), el módulo de calentamiento o enfriamiento de agua de mar, las calderas, el sistema de ventilación, los compresores o calefactores de aire, un generador de reserva para suministrar energía en caso de emergencia, junto con los paneles eléctricos y equipamiento de control, se guardan en una sala de máquinas insonorizada (SM). Es preferible duplicar el equipo esencial por si hubiera un fallo mecánico o eléctrico. Se necesita aire comprimido en todas las fases del cultivo así como anhídrido carbónico para el cultivo de algas. En muchos criaderos las bombas de entrada de agua de mar y los filtros de arena están ubicados en una caseta de bombas cerca del punto de captación y la filtración final de agua de mar puede hacerse en el punto de uso en lugar de en el módulo central de filtración fina.

Como el almacenamiento es siempre un problema en un criadero, es útil tener una amplia zona para uso general (ZUG) que pueda emplearse para almacenar equipo y material, envasar semilla así como para taller. La mayor parte de las zonas de trabajo deberían contar con encimeras y fregaderos (ef). Es preferible que las distintas partes del criadero se puedan aislar en caso de que haya un brote de alguna enfermedad.

1.3 ASPECTOS ECONÓMICOS

Un criadero de bivalvos es un negocio y como tal debe gestionarse, de forma eficiente y ser económicamente viable. Las subvenciones o ayudas de los gobiernos pueden servir para compensar los costes, especialmente durante las etapas iniciales de la actividad, pero luego el criadero tiene que mantenerse sólo y ser rentable. Los aspectos económicos de la construcción y funcionamiento de un criadero de bivalvos varían de una empresa a otra, de una zona a otra y de un país a otro, pero en cualquier caso esta actividad siempre tiene que dar beneficios.

Los criaderos son actividades caras. Se necesita bastante capital para construir un criadero y financiar sus actividades. El propietario debe contar con suficiente capital circulante como para llevar adelante actividades hasta que se generen ingresos. Antes de tomar la decisión de construir un criadero hay que examinar con detenimiento todas las facetas de la construcción y funcionamiento y determinar el nivel al que el criadero será viable económicamente. Hay que tener en cuenta muchos costes, incluidos la compra del terreno, la construcción del criadero, la instalación del sistema de agua de mar, el equipo necesario en todas las fases de la producción, el mantenimiento, los gastos generales de material y electricidad, la amortización de préstamos y la necesidad de contar con personal capacitado.

La rentabilidad puede variar enormemente dependiendo de otros factores como la zona geográfica, la escala operativa y si forma parte de un negocio de cultivo de bivalvos plenamente integrado. En las zonas templadas un elemento importante de los gastos de explotación es el calentamiento (y enfriamiento) del agua de mar, un coste que normalmente se evita en las zonas tropicales. Esto puede condicionar el emplazamiento elegido para el criadero en zonas templadas hacia sitios donde haya agua de mar templada al menos en algún momento del año, para reducir de esta manera los costes de la calefacción.

Algunos criaderos son pequeñas empresas familiares que solo producen suficiente semilla para sus propias necesidades de producción. Los criaderos de este tipo suelen estar en funcionamiento unos meses al año, con una producción limitada, y sus costes son mucho menores que los de criaderos más grandes.

Los criaderos grandes suelen formar parte de un negocio de cultivo de bivalvos plenamente integrado o pueden dedicarse sólo a producir semilla. Si el criadero es parte de un negocio integrado de cultivo, puede que funcione para recuperar gastos y no obtenga ganancias o incluso funcione con pequeñas pérdidas, ya que los beneficios de la empresa se obtendrán en otras fases del negocio de cultivo. En el caso de que el criadero solo exista para producir y vender semilla a otros productores, se tiene que sacar beneficio de la actividad del criadero. Esto no hace sino subrayar el hecho de que antes de construir un criadero hay que hacer una valoración minuciosa del mercado de la semilla que se vaya a producir; no sólo la cantidad de semilla que se pueda vender, sino también el precio que se estará dispuesto a pagar por esa semilla.

Otro aspecto del funcionamiento de un criadero de bivalvos es mantener un nivel crítico de producción para permitir la rentabilidad. Un criadero no puede existir produciendo simplemente unos miles de juveniles cada año, lo cual resulta demasiado costoso. De hecho, los costes asociados a la producción de unos miles de juveniles son prácticamente los mismos que si se produjeran varios millones – es decir, se aplican las economías de escala. El gerente debe determinar el nivel crítico de producción que necesita alcanzar para rentabilizar la actividad, lo cual nos lleva de nuevo a la necesidad de conocer la amplitud y valor del mercado de este producto.

Es imprescindible llevar un registro minucioso de los costes, producción y ventas para valorar la rentabilidad del criadero.

1.4 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Anon. 1979. Feasibility study for a commercial oyster hatchery in Tasmania. Tas. Fish. Devel. Authority: 115 pp.

Breese, W.P. & Malouf, R.E. 1975. Hatchery manual for the Pacific oyster. Sea Grant Program Pub. No. ORESU-H-002. Oregon State Univ. Corvallis, Oregon, USA: 22 pp.

Castagna, M. & Kraeuter, J.N. 1981. Manual for growing the hard clam *Mercenaria*. VIMS Spec. Rep. In Applied Mar. Sci. and Ocean Eng. **249**: 110 pp.

Curtin, K. 1983. Oyster hatchery pilot scheme; setting up, operation and future role of hatcheries. N.Z. MAF: 16 pp.

Dupuy, J.L., Windsor, N.T. & Sutton, C.E. 1977. Manual for design and operation of an oyster seed hatchery for the American oyster, *Crassostrea virginica*. Spec. Rep. Applied Mar. Sci. Ocean. Eng. **142**. VIMS, Gloucester Point, Virginia.

Helm, M.M. 1994. Towards reliable bivalve seed supply in Nova Scotia. Bull. Aquacul. Assoc. Canada **94** (4): 9–14

Holliday, J.E. 1984. International developments in oyster hatchery technology. Misc. Bull. 1. Div. Fish, Dept. Agriculture. New South Wales, Australia: 101 pp.

Huguenin, J.E. & Colt, J. (eds.) 1989. Design and operating guide for aquaculture seawater systems. Dev. Aquaculture Fish. Sci. Elsevier. **20**: 264 pp.

- Hurley, G., Henderson, K., Percy, M. & Roscoe, D.** 1987. Design of a small scale shellfish hatchery. Nova Scotia Dept. Fish. Halifax, NS, Canada: 45 pp.
- Im, K.H. & Langmo, R.D.** 1977. Hatchery produced Pacific oyster seed: economic feasibility on cultch in the Pacific Northwest. Sea Grant, Oregon State Univ. Corvallis, Oregon, USA. Pub. No. ORSESU-T-77-010: 80 pp.
- Neima, P.G. & Kenchington, E.** 1997. Report on commercial scallop hatchery design. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., **2176**: 55 pp.
- Robert, R. & Gerard, A.** 1999. Bivalve hatchery technology: the current situation for the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, and the scallop *Pecten maximus* in France. Aquat. Living Resour. **12** (2): 121–130
- Spencer, B.E., Helm, M.M. & Dare, P.J.** 1977. Recommended quarantine measures for marine molluscs. MAFF Fish. Res. Tech. Rep., Lowestoft, No. 32: 7 pp.
- Utting, S.D. & Helm, M.M.** 1985. Improvement of seawater quality by physical and chemical pre-treatment in a bivalve hatchery. Aquaculture, **44**: 133–144
- Wickins, J.F. & Helm, M.M.** 1981. Sea water treatment. p 63–128. In: Hawkins, A. D. (ed.) Aquarium Systems. Academic Press, London: 452 pp.