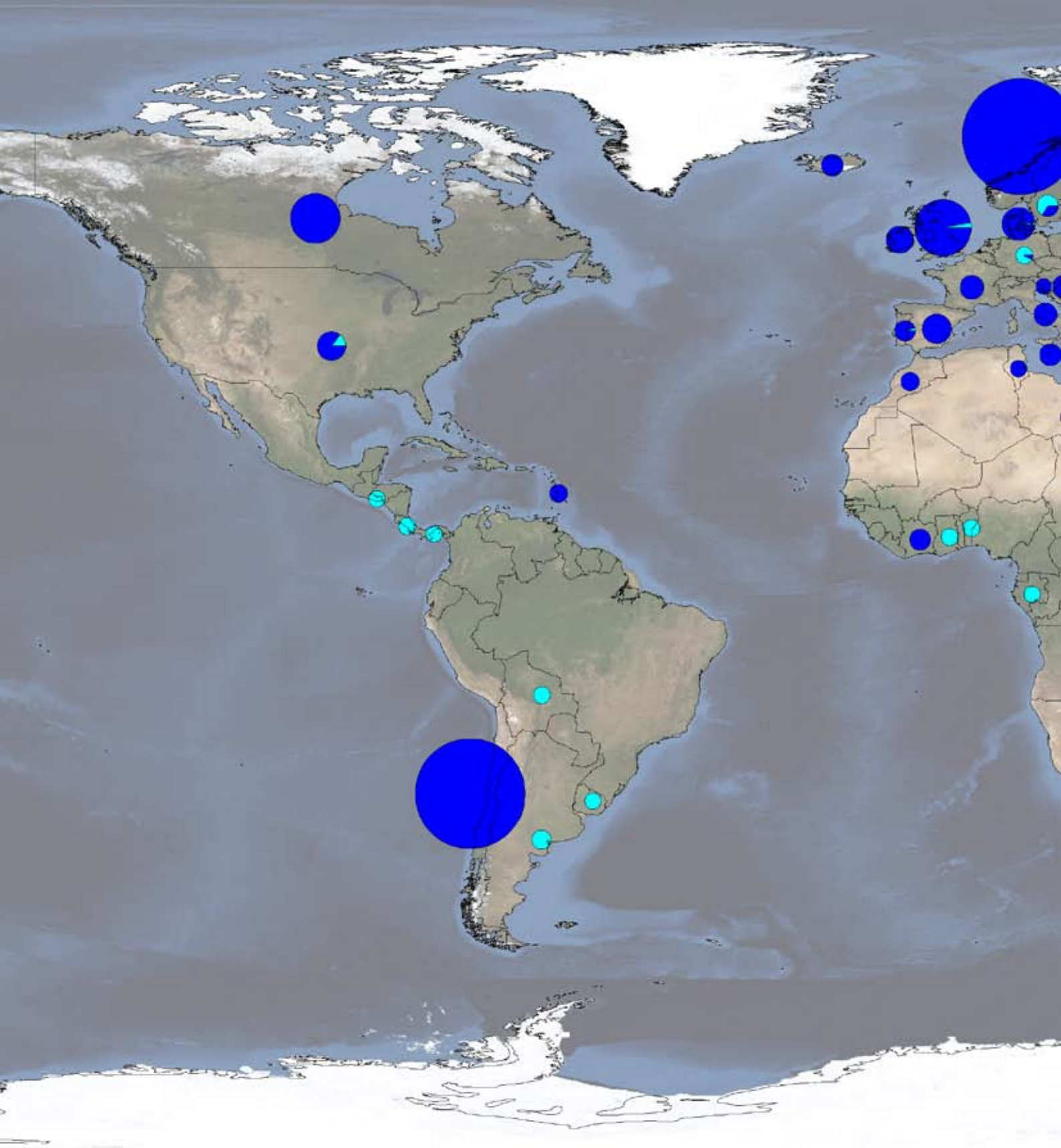
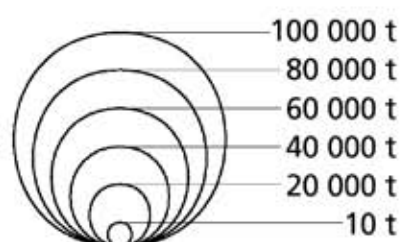




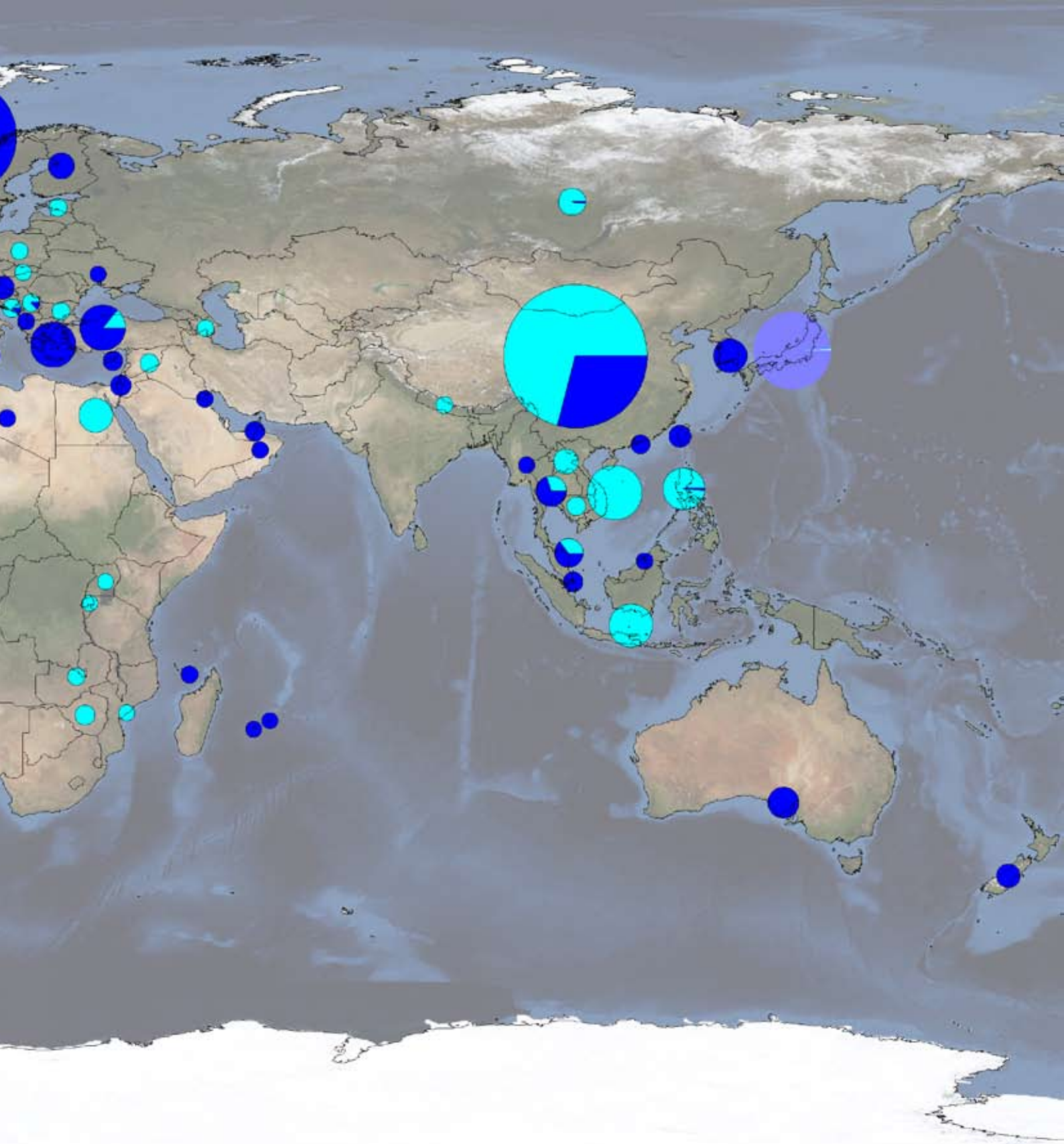
Producción de la acuicultura en jaulas 2005

Datos obtenidos de las estadísticas de pesca suministradas a la FAO por los Estados Miembros en 2005. En caso de no existir datos de 2005, se utilizaron los de 2004.



● agua dulce

● agua marina y salobre



La acuicultura en jaulas: un panorama mundial



La acuicultura en jaulas: un panorama mundial

Albert G.J. Tacon¹ y Matthias Halwart²

Tacon, A.G.J. y Halwart, M.

La acuicultura en jaulas: un panorama mundial. En M. Halwart, D. Soto y J.R. Arthur (eds). *Acuicultura en jaulas – Estudios regionales y panorama mundial*. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 498. Roma, FAO. 2008. pp. 1–16.

RESUMEN

El engorde y producción de organismos acuáticos cultivados en jaulas es una práctica relativamente nueva en la acuicultura. Aunque los orígenes del uso de jaulas para mantener y transportar los peces por períodos cortos se remontan a dos siglos atrás en Asia, el cultivo comercial en jaulas se inició en Noruega en la década de 1970 con el surgimiento y desarrollo de la cría de salmón. Al igual que en la agricultura terrestre, la tendencia dentro de la acuicultura hacia el desarrollo y utilización de sistemas intensivos de cría en jaulas obedece a una combinación de factores. Entre estos se incluyen la creciente competencia a la que se enfrenta el sector por los recursos disponibles (incluyendo agua, suelo, mano de obra, energía), las economías de escala, la presión para obtener mayor productividad por unidad de área y la necesidad del sector de acceder y extenderse a costa de nuevos espacios explotados para la cría en aguas abiertas como en lagos, pantanos, ríos y aguas costeras salobres y en mar abierto.

Aunque no existe información estadística oficial sobre el total de la producción mundial de especies acuáticas de cría dentro de los sistemas de cultivo en jaulas o sobre el crecimiento del sector en conjunto, existe alguna información sobre la cifra de unidades de jaulas de cría y de estadísticas de producción que proporcionan a la FAO algunos Estados Miembros. Un total de 62 países proporcionaron datos sobre la acuicultura en jaulas en el año 2005: 25 países informaron directamente de cifras de producción de la acuicultura en jaulas y 37 ofrecieron información de la cual se pudieron obtener los datos de este tipo de acuicultura. Hasta la fecha, la acuicultura comercial en jaulas se ha limitado principalmente a la cría de especies de peces con escamas de alto valor (en términos comerciales) alimentados con piensos compuestos, entre los que se incluyen el salmón (salmón del Atlántico, coho y salmón rey), la mayor parte de las principales especies de peces carnívoros marinos y de agua dulce (incluyendo el medregal del Japón, besugo, corvina japonesa, lubina, dorada, cobia, trucha arcoiris criada en el mar, tollo mandarín, y cabeza de serpiente), junto a una proporción creciente de especies de peces omnívoros de agua dulce (incluyendo a la carpa china, tilapia, *Colossoma* y bagre).

Los sistemas de acuicultura en jaula empleados por los piscicultores son en la actualidad tan diversos como el número de especies que se crían, y varían desde las explotaciones tradicionales en jaulas operadas en forma familiar (típicas en la mayoría de los países de Asia) a las modernas explotaciones comerciales en jaulas de gran escala para salmón y truchas en el Norte de Europa y el continente americano. El rápido crecimiento y el éxito de la industria de cría del salmón en jaulas se ha debido a una combinación de factores interrelacionados, entre ellos el desarrollo y utilización de una tecnología rentable y fácilmente renovable (que incluye la producción de semillas en pisciculturas), el acceso a extensas zonas acuáticas adecuadas, buena selección de especies y aceptación en el mercado, mayores inversiones corporativas, y un entorno regulador eficaz y apoyado por el Gobierno. Este documento analiza las cuestiones actuales y los retos para el desarrollo de la acuicultura en jaulas, y en particular la necesidad de minimizar el impacto potencial en el medio ambiente y en los ecosistemas de un sector en rápido crecimiento.

¹ Aquatic Farms Ltd, 49-139 Kamehameha Hwy, Kaneohe, HI 96744 Estados Unidos de América

² Fisheries and Aquaculture Department, FAO, 00153 Rome, Italia

INTRODUCCIÓN

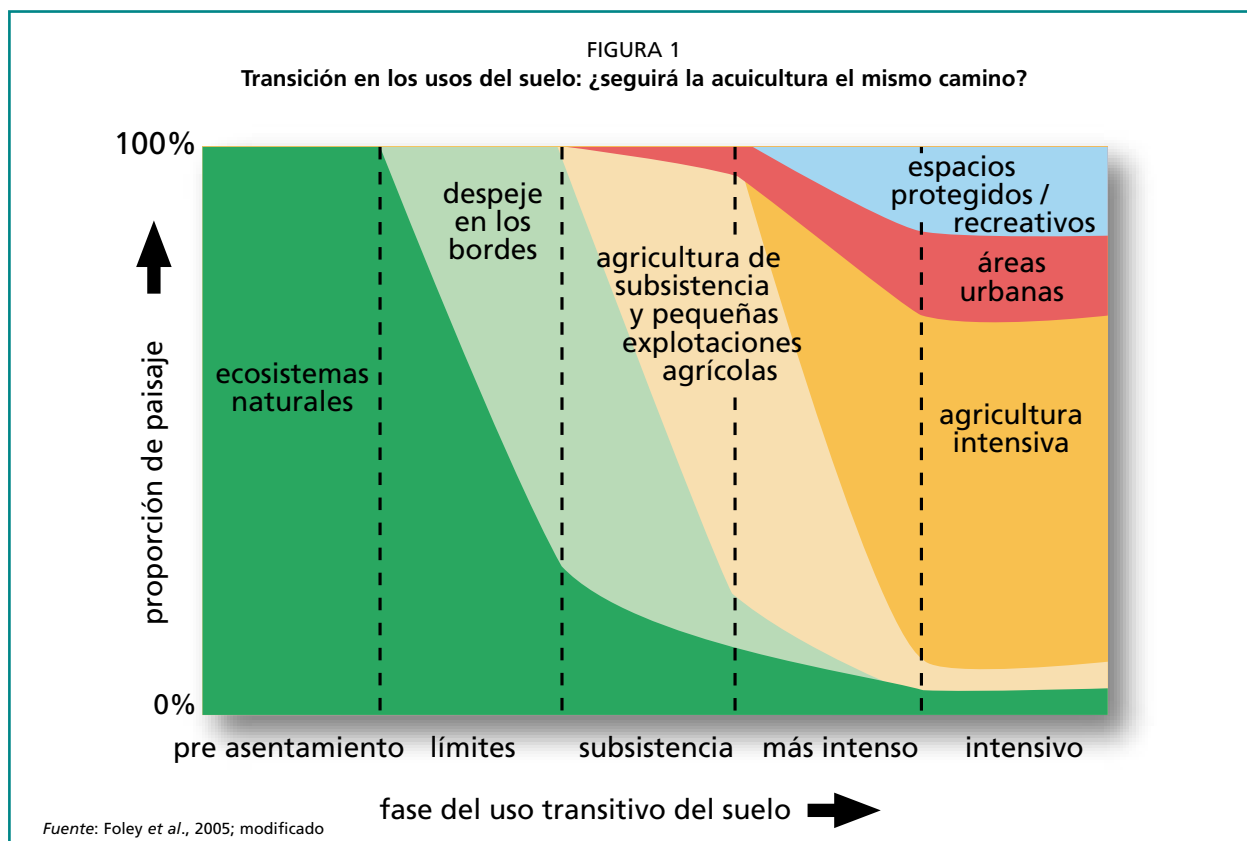
El engorde y producción de organismos acuáticos cultivados en jaulas es una práctica relativamente nueva en la acuicultura. Aunque los orígenes del uso de jaulas para mantener y transportar los peces por períodos cortos se remontan a dos siglos atrás en Asia (Pillay y Kutty, 2005), y puede tener un origen aún más antiguo entre las prácticas tradicionales de los pescadores que vivían en embarcaciones en el Mekong (de Silva y Phillips, en este volumen) el cultivo comercial en jaulas en el mar se inició en Noruega en la década de 1970 con el surgimiento y desarrollo de la cría de salmón (Beveridge, 2004). El sector de la acuicultura en jaulas ha crecido rápidamente durante los últimos 20 años y experimenta en la actualidad veloces cambios como respuesta a las presiones de la globalización y a la creciente demanda de productos acuáticos tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. Se prevé que el consumo de pescado en los países en desarrollo se incremente un 57 por ciento, de 62,7 millones de toneladas en 1997 a unos 98,6 millones en 2020 (Delgado *et al.*, 2003). En comparación, el consumo de pescado en los países desarrollados se incrementará tan sólo el 4 por ciento en el mismo período, de 28,1 millones de toneladas a 29,2 millones en 2020. El rápido

crecimiento de la población, la mayor riqueza y el proceso de urbanización en los países en desarrollo están produciendo cambios drásticos en el suministro y la demanda de proteínas animales, procedentes tanto de la ganadería como del pescado (Delgado *et al.*, 2003).

Al igual que en la agricultura terrestre (Figura 1), la tendencia hacia el desarrollo dentro de la agricultura y el uso de sistemas intensivos en la cría en jaulas se debió a una combinación de factores, incluyendo la creciente competencia a la que se enfrenta el sector por los recursos disponibles (Foley *et al.*, 2005; Tilman *et al.*, 2002), la necesidad de economías de escala y la presión para una mayor productividad por unidad de área. Particularmente, la necesidad de contar con espacios adecuados ha llevado al sector a acceder y extenderse hacia nuevas áreas sin explotar de cultivo en aguas abiertas, como lagos, embalses, ríos, aguas costeras salobres y aguas en mar abierto.

AUSENCIA DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

Aunque no existe información estadística oficial sobre el total de la producción mundial de cría de especies acuáticas dentro de los sistemas de cultivo en jaulas o sobre el crecimiento del sector en su conjunto (FAO, 2007), existe alguna información



sobre la cifra de unidades de jaulas para cultivo y de estadísticas de producción que proporcionan a la FAO algunos Estados miembros. Un total de 62 países ofrecieron datos sobre la acuicultura en jaulas en el año 2005: 25 países otorgaron directamente cifras de producción de la acuicultura en jaulas y otros 37 ofrecieron información de la cual se pudieron obtener los datos sobre este tipo de acuicultura (Cuadro 1).

De esos 62 países y provincias/regiones, 31 países proporcionaron datos relevantes a la FAO en 2004 y 2005.

Según lo informado por esos 62 países, el total de producción acuícola en jaulas y provincias/regiones alcanzó 2 412 167 toneladas o 3 403 722 toneladas si se incluyen los datos de los expertos, en particular de Chen *et al.* (este volumen), sobre China

Sobre la base de la información parcial antes mencionada, entre los principales productores de cultivos en jaulas en 2005 se incluyen: Noruega (652 306 toneladas), Chile (588 060 toneladas), Japón (272 821 toneladas), Reino Unido (135 253 toneladas), Viet Nam (126 000 toneladas), Canadá (98 441 toneladas), Turquía (78 924 toneladas), Grecia (76 577 toneladas), Indonesia (67 672 toneladas) y Filipinas (66 249 toneladas) (Figura 2).

Sin embargo, es necesario señalar que, como se indica más arriba, la interpretación significativa de los datos anteriores está limitada por el hecho que para más de la mitad de los países (37 de 62) el método de cultivo debía de ser extrapolado en base a otra información existente.

La información que falta puede distorsionar seriamente el panorama general y China, es el caso más importante en ese sentido. Según el informe de Chen *et al.* (este volumen), la producción total de la acuicultura en jaulas en China continental en 2005 fue de 991 555 toneladas (704 254 toneladas en jaulas en aguas interiores y 287 301 toneladas en jaulas de aguas costeras).

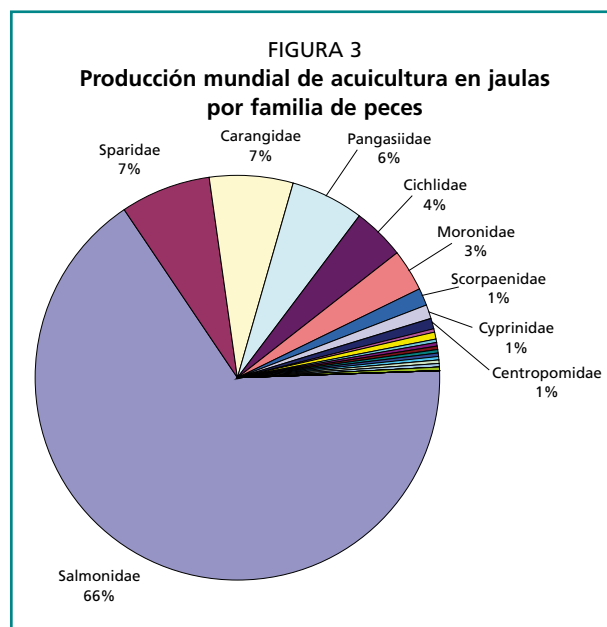
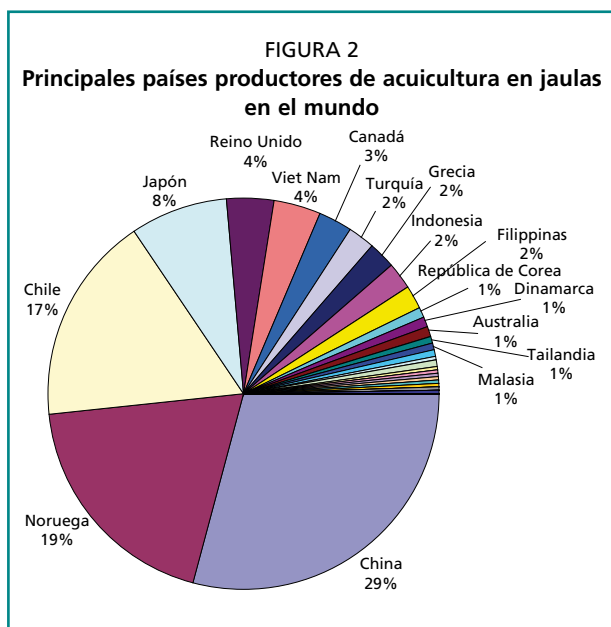
En términos de importancia nacional o regional, el total de la producción de cultivo en jaulas en China alcanzó solo el 2,3 por ciento del total de la producción acuícola en 2005 (Chen *et al.*, este volumen; FAO, 2007).

En contraposición, Masser y Bridger (este volumen) informaron que la producción de la acuicultura en jaulas fue de alrededor un 70 por ciento del total de la producción acuícola en Canadá en 2004, y De Silva y Phillips (este volumen) han estimado que la cría en jaulas es responsable de el 80 o 90 por ciento del total de producción de peces marinos en Asia.

CUADRO 1

Países miembros de la FAO que informan sobre la producción acuícola en jaulas, o que están dedicados activamente en la acuicultura comercial en jaulas, pero que no informan sobre sus actividades a la FAO

Países que informan a la FAO de la acuicultura en jaulas	Países que están involucrados activamente en la acuicultura comercial en jaulas
América Latina y el Caribe	
Argentina, Bolivia, Chile, Costa Rica, El Salvador, Martinica (Francia), Panamá, Uruguay	Brasil, Colombia, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua
América del Norte	
Canadá, Estados Unidos de América	
Europa septentrional	
Alemania, Bulgaria, Dinamarca, Eslovaquia, Estonia, Federación de Rusia, Finlandia, Irlanda, Islandia, Noruega, Polonia, Reino Unido, Suecia	
Región Mediterránea	
Albania, Bosnia y Herzegovina, Croacia, Chipre, Egipto, Eslovenia, Francia, Grecia, Israel, Italia, Jamahiriya Árabe Libia, Malta, Marruecos, Portugal, República Árabe Siria, Túnez, Turquía	España
África subsahariana	
Benin, Gabón, Ghana, Mauritania, Mayotte (Francia), Mozambique, Reunión (Francia), Zambia, Zimbabwe	Costa del Marfil, Kenya, Madagascar, Nigeria, Rwanda, Sudáfrica, Uganda
Asia y Oceanía	
Azerbaijan, Brunei Darussalam, Camboya, China, Filipinas, Indonesia, Japón, Kuwait, Malasia, Nepal, Omán, RAE de Hong Kong, República Democrática Popular Lao, República de Corea, Singapur, Tailandia, Taiwan Provincia de China, Viet Nam	Australia, Bangladesh, China, India, Irán (República Islámica del), Nueva Zelandia, República Popular Democrática de Corea

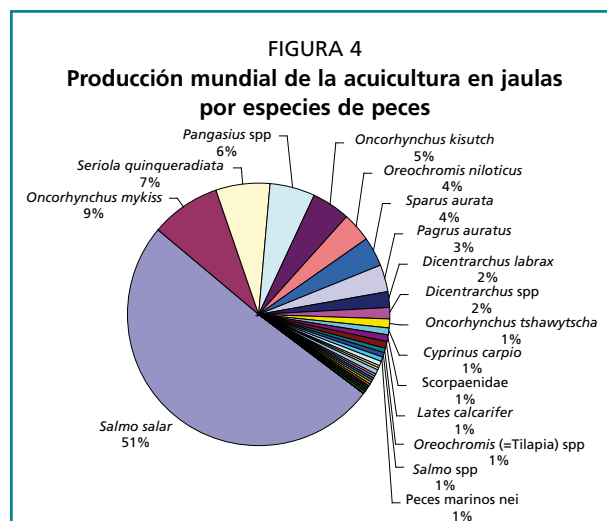


PRINCIPALES ESPECIES CULTIVADAS, SISTEMAS DE CRÍA EN JAULAS Y AMBIENTES DE CULTIVO

Hasta la fecha, la acuicultura comercial en jaulas se ha limitado principalmente a la cría de especies de peces con escamas de alto valor (en términos comerciales) alimentados con piensos compuestos, entre las que se incluyen el salmón (salmón del Atlántico, coho y salmón rey), la mayor parte de las principales especies de peces carnívoros marinos y de agua dulce (incluyendo el medregal del Japón, besugo, corvina japonesa, lubina, dorada, cobia, trucha arcoiris criada en el mar, tollo mandarín, cabeza de serpiente), junto a una proporción creciente de especies de peces omnívoros de agua dulce (incluyendo a la carpa china, tilapia, *Colossoma* y bagre).

Sin embargo, los sistemas empleados por los piscicultores en el cultivo en jaulas son hoy en día tan diversos como el número de especies que se cultivan, y varían desde las explotaciones en jaulas operadas en forma familiar (típicas en la mayoría de países asiáticos; De Silva y Phillips, 2007; Pillay y Kutty, 2005) hasta las jaulas comerciales que se utilizan en Europa y América (Grøttum y Beveridge, este volumen; Masser y Bridger, este volumen).

En términos de diversidad, se calcula que en total se crían en jaulas 40 familias de peces, pero que sólo cinco familias (Salmonidae, Sparidae, Carangidae, Pangasiidae y Cichlidae) representan el 90 por ciento de la producción y una familia (Salmonidae) es responsable del 66 por ciento de la producción total (Figura 3).



A nivel de especies, existen cerca de 80 especies que se crían hoy en jaulas. Una de ellas, (*Salmo salar*), representa cerca de la mitad (51 por ciento) de toda la producción en jaulas (Figura 4), y otras cuatro especies (*Oncorhynchus mykiss*, *Seriola quinqueradiata*, *Pangasius* spp. y *Oncorhynchus kisutch*) representan cerca de la cuarta parte (27 por ciento).

El 90 por ciento de la producción total procede de tan sólo ocho especies (además de las mencionadas más arriba: *Oreochromis niloticus*, *Sparus aurata*, *Pagrus auratus* y *Dicentrarchus labrax*); el otro 10 por ciento corresponde a las restantes, más de 70 especies.

Sobre la base de la información obtenida de los estudios regionales, el salmón del Atlántico es en la actualidad, por volumen y valor, la especie que más

CUADRO 2

Total reported Atlantic salmon *Salmo salar* aquaculture production in 2005 (FAO, 2007)

País	Cantidad (toneladas y en porcentajes sobre el total)	
Noruega	582 043	(47,02%)
Chile	374 387	(30,24%)
Reino Unido	129 823	(10,49%)
Canadá	83 653	(6,76%)
Islas Feroe	18 962	(1,53%)
Australia	16 033	(1,30%)
Irlanda	13 764	(1,11%)
Estados Unidos de América	9 401	(0,76%)
Islandia	6 488	(0,52%)
Francia	1 190	(0,10%)
Federación de Rusia	204	(0,02%)
Dinamarca	18	
Grecia	6	
Total	1 237 977	

Fuente: FAO, 2007

se cría en jaulas. La producción acuícola de estas especies de aguas frías aumentó más de 4 000 veces, de las 294 toneladas en 1970 a 1 235 972 toneladas en 2005 (con un valor de 4 767 000 millones de dólares EE.UU.). Entre los países que cuentan actualmente con una capacidad de producción superior a las 10 000 toneladas figuran Noruega, Chile, Reino Unido, Canadá, las Islas Faroe, Australia e Irlanda (Cuadro 2)³.

Según Forster (2006) el espectacular aumento y el éxito comercial de la cría de salmón dentro de estos países pueden atribuirse a una serie de factores interrelacionados, entre los que se incluyen:

- Desarrollo de una tecnología de cultivo en jaulas fácilmente renovable y rentable (esto es, el uso de sistemas relativamente sencillos y estándar de cultivo en jaulas flotantes para la cría del salmón);
- Acceso a zonas extensas y adecuadas de aguas costeras prístinas (Noruega y Chile cuentan con 1 800 y 1 500 kilómetros de costas respectivamente);
- El salmón es una buena especie para cultivar (hay más de tres especies diferentes, requiere de una tecnología sencilla, crece bien en jaulas, tiene un rápido crecimiento para alcanzar un gran tamaño y gran rendimiento en filetes: el 60 por ciento es de una carne muy aceptable);

- Buen desarrollo de mercado y del producto (incluyendo que se adquiere fresco durante todo el año, trae buenos beneficios para la salud, cuenta con productos con valor añadido, denominaciones de origen, comercialización genérica);
- Beneficios de mayores de inversiones corporativas, economías de escala, y la consecuente estabilidad financiera y cumplimiento con las regulaciones;
- Beneficios de un buen apoyo del Gobierno nacional y de un marco regulador (tiene asignado un espacio y un proceso predecible para obtener permisos, marco regulador práctico, seguridad en la tenencia, financiación pública y privada de la investigación y desarrollo en apoyo del sector); y
- Importancia dada a la óptima salud y condiciones del salmón, con el consecuente desarrollo de una mejor gestión en la salud de los peces (incluyendo la óptima calidad de los alevines, calidad y condiciones físicas del agua, desarrollo exitoso de vacunas, y desarrollo en general de una mejor asistencia en cuanto a manejo, nutrición, piensos de los peces y prácticas de gestión de poblaciones).

No obstante, la producción mundial de salmón del Atlántico descendió ligeramente en 2005 y parece existir una desaceleración en el ritmo de crecimiento. Sobre las otras especies que se crían en jaulas, es difícil separar los datos según el tipo de ambiente en el que tiene lugar el cultivo. La FAO distingue entre producción en agua dulce, salobre

³ Nótese que el volumen de producción de China se ha tomado de Chen *et al.* (este volumen). Estos autores informan sobre el uso de especies (26 de peces, 3 de crustáceos, 1 de reptiles) pero no suministran cifras de producción por especie.

y marina. Sin embargo, la información que ofrecen los países a la FAO no es siempre consecuente en distinguir entre cultivo en aguas salobres y ambientes marinos, por lo que ambos han sido agregados más abajo.

China lidera en agua dulce con una producción de más de 700 000 toneladas, equivalente al 68,4 por ciento del total de la acuicultura en jaulas en agua dulce, seguida de Viet Nam (126 000 toneladas, 12,2 por ciento) e Indonesia (67 700 toneladas o 6,6 por ciento) (Cuadro 3). Mientras que la producción en China se compone de unas 30 especies acuáticas para las que no existen cifras disponibles específicas de producción (Chen *et al.*, este volumen), la producción en otros países se compone en su mayor parte de bagre y sargentos (Cuadro 4). La mayoría de los grandes productores de acuicultura en jaulas marinas y en aguas salobres se encuentran en las regiones templadas, al tiempo que las principales especies incluyen salmónidos, medegrales, peces de la familia de las percas y rascacios (Cuadros 5 y 6).

CUESTIONES Y DESAFÍOS PERCIBIDOS EN EL DESARROLLO DE LA ACUICULTURA EN JAULAS

A pesar del evidente éxito a nivel económico y técnico de la cría de salmón en jaulas, el sector se enfrenta a numerosos desafíos y cuestiones durante su desarrollo.

En general, estos desafíos y cuestiones están relacionados con el uso de un sistema de cultivo en jaulas de redes abiertas y los consecuentes impactos reales o percibidos de estos sistemas de cultivo sobre el medio ambiente acuático y el ecosistema que les rodea. Entre ellos se incluyen:

- mayor pérdida de nutrientes por el alimento no consumido, desechos fecales y excrementos de los peces criados en jaulas, y los posibles impactos (negativos y positivos) sobre la calidad del agua y la salud del medio ambiente acuático y el ecosistema (Mente *et al.*, 2006; León, 2006);
- mayor riesgo de aparición de enfermedades en los peces criados en jaulas (Chen *et al.*, esta obra; Merican, 2006; Tan *et al.*, 2006) y el riesgo

CUADRO 3

Los diez primeros protagonistas de la acuicultura en jaulas en agua dulce por país

País	Cantidad (toneladas)	en porcentaje sobre el total
China	704 254	68,4
Viet Nam	126 000	12,2
Indonesia	67 672	6,6
Filipinas	61 043	5,9
Federación de Rusia	14 036	1,4
Turquía	10 751	1,0
República Democrática Popular de Lao	9 900	1,0
Tailandia	7 000	0,7
Malasia	6 204	0,6
Japón	3 900	0,4

CUADRO 4

Producción de las diez principales especies/taxones en acuicultura en jaulas en agua dulce (excluyendo China)

Especies	Cantidad (toneladas)	en porcentaje sobre el total
<i>Pangasius</i> spp	133 594	41,1
<i>Oreochromis niloticus</i>	87 003	26,7
<i>Cyprinus carpio</i>	21 580	6,6
<i>Oreochromis</i> (=Tilapia) spp	16 714	5,1
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	14 625	4,5
<i>Salmo</i> spp.	12 071	3,7
<i>Channa micropeltes</i>	11 525	3,5
<i>Salmo trutta</i>	8 551	2,6
Peces de agua dulce nei	6 914	2,1
Acipenseridae	2 368	0,7

- potencial de transmisión de enfermedades a (y desde) las poblaciones naturales de peces (Ferguson *et al.*, 2007);
- mayor dependencia de las especies de peces carnívoros criados en jaulas en los recursos pesqueros usados como piensos, incluyendo la harina de pescado, el aceite de pescado, y especies de morralla de bajo valor (Asche y Tveteras, 2004; De Silva y Phillips, este volumen; Edwards *et al.*, 2004; Kristofersson y Anderson, 2006; Tacon *et al.*, 2006). Nótese que esta dependencia no es exclusiva de los sistemas de cría en jaulas, sino que se aplica también a las especies de peces y crustáceos carnívoros criados en estanques y lagunas;
 - mayor dependencia de algunos sistemas de acuicultura en jaulas en las semillas capturadas en el medio silvestre, en los casos de aquellas especies marinas de peces para las cuales el desarrollo de viveros es nuevo o la producción, actualmente, no es suficiente para satisfacer la demanda (FAO, 2006d; Merican, 2006; Ottolenghi *et al.*, 2004; Rimmer, 2006);
 - mayor riesgo de que los peces escapen de las jaulas y sus consiguientes impactos potenciales (negativos y positivos) en las poblaciones de peces silvestres, incluyendo impactos potenciales a nivel genético, ecológico y social (FAO, 2006d; Ferguson *et al.*, 2007; Hindar *et al.*, 2006; Naylor *et al.*, 2005; Soto *et al.*, 2001);
 - incremento de los impactos potenciales de la cría en jaulas (negativos y positivos) en otras especies animales, incluyendo las aves y mamíferos depredadores atraídos por los peces en las jaulas (Beveridge, 2004; Nash *et al.*, 2000);
 - mayor preocupación comunitaria (en algunos países) sobre el uso compartido de las aguas interiores y costeras para la cría de peces en jaulas (debido al posible desplazamiento de pescadores y otros, y la contaminación visual percibida y la consiguiente necesidad de incrementar las consultas con todas las partes interesadas (FAO, 2006d);

CUADRO 5

Producción de los diez principales países con acuicultura en jaulas en aguas marinas y salobres

País	Cantidad (toneladas)	en porcentaje sobre el total
Noruega	652 306	27,5
Chile	588 060	24,8
China	287 301	12,1
Japón	268 921	11,3
Reino Unido	131 481	5,5
Canadá	98 441	4,2
Grecia	76 212	3,2
Turquía	68 173	2,9
República de Corea	31 895	1,3
Dinamarca (incluyendo las Islas Faroe)	31 192	1,3

CUADRO 6

Producción (toneladas) de las diez principales especies/taxones en acuicultura en jaulas en aguas marinas y salobres (excluyendo China)

Especies	Cantidad (toneladas)	en porcentaje sobre el total
<i>Salmo salar</i>	1 219 362	58,9
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	195 035	9,4
<i>Seriola quinqueradiata</i>	159 798	7,7
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	116 737	5,6
<i>Sparus aurata</i>	85 043	4,1
<i>Pagrus auratus</i>	82 083	4,0
<i>Dicentrarchus labrax</i>	44 282	2,1
<i>Dicentrarchus spp.</i>	37 290	1,8
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	23 747	1,2
Scorpaenidae	21 297	1,0

- mayor necesidad de establecer y ejecutar controles gubernamentales adecuados sobre el desarrollo del sector, incluyendo planificación y controles medioambientales, y la ejecución de buenas (o mejores) prácticas de gestión en las explotaciones (Alston *et al.*, 2006; Boyd *et al.*, 2005; Chen *et al.*, este volumen; FAO, 2006d); y
- mayor interés público (en algunos países y en los mercados de los países en desarrollo) en la sostenibilidad medioambiental y ecológica a largo plazo de los sistemas de cultivos intensivos (Goodland, 1997), y en particular en lo que concierne a la sostenibilidad ecológica a largo plazo de la cría de especies de peces carnívoros dentro de sistemas de cultivo en jaulas basados en el uso de recursos pesqueros como insumos alimentarios (Costa-Pierce, 2003; Tacon *et al.*, 2006).

Es importante repetir, que la acuicultura (incluyendo el uso de sistemas de cría en jaulas) tiene también otros numerosos e importantes beneficios sociales, económicos y medioambientales, incluyendo un mayor impacto en la seguridad alimentaria y la mitigación de la pobreza, mayores oportunidades de empleo en las comunidades rurales, mayor suministro y disponibilidad de productos alimentarios marinos, mejoramiento de la nutrición y el bienestar humanos, mayor entrada de divisas, mejora del tratamiento de las aguas residuales/reciclaje del agua y oportunidades para el riego de cultivos, y la mejora del reciclaje de los nutrientes. Todos estos factores deben de ser tenidos en consideración y sopesados por su importancia en una comparación equilibrada de los sistemas de producción alimentaria (FAO, 2006d; Halwart y Moehl, 2006; Hambrey, 1999, 2001; Tacon, 2001).

EL CAMINO A SEGUIR

El cultivo en jaulas tiene un gran potencial de desarrollo. Por ejemplo, la cría en jaulas a nivel familiar intermedio tiene gran éxito en muchas partes de Asia (Phillips y De Silva, 2006) y una de las claves para su continuo crecimiento y ulterior desarrollo no será cómo promoverlo, si más bien cómo gestionarlo (Hambrey, 2006). Sin embargo, existe también una necesidad urgente de reducir la actual dependencia de algunos sistemas de cultivo en jaulas del uso de peces de escaso valor/morralla como insumo alimentario, incluyendo el bagre Pangasid y especies de gran valor como el pez Mandarín, cabeza de serpiente, cangrejos y peces de escama marinos (Tacon *et al.*, 2006). Con niveles diferentes de intensidad, otras formas de acuicultura en jaulas están surgiendo en África y los desafíos se

relacionan principalmente con el de contar con un ambiente económico, político y regulador favorable (Rana y Telfer, 2006).

Sin embargo, la cría intensiva en jaulas de peces de escama de alto valor está creciendo con rapidez y existen importantes consecuencias sociales y medioambientales derivadas de este crecimiento y de la transformación de este subsector. Igual que las tendencias globales en la producción ganadera, existe el riesgo de que el rápido crecimiento de las operaciones intensivas pueda marginar a los pequeños productores, y la elevada producción a diferentes niveles de intensidad puede conducir a una degradación medioambiental, si no se planifica y gestiona adecuadamente. Considerando que la mayor parte de la acuicultura en jaulas tiene lugar en el medio ambiente costero ya de por sí frágil y sometido a una gran presión, existe un consenso cada vez mayor sobre la necesidad de dar un particular empuje a la sostenibilidad medioambiental del subsector.

Expansión, intensificación, contaminación medioambiental y estado de nuestros océanos y aguas interiores

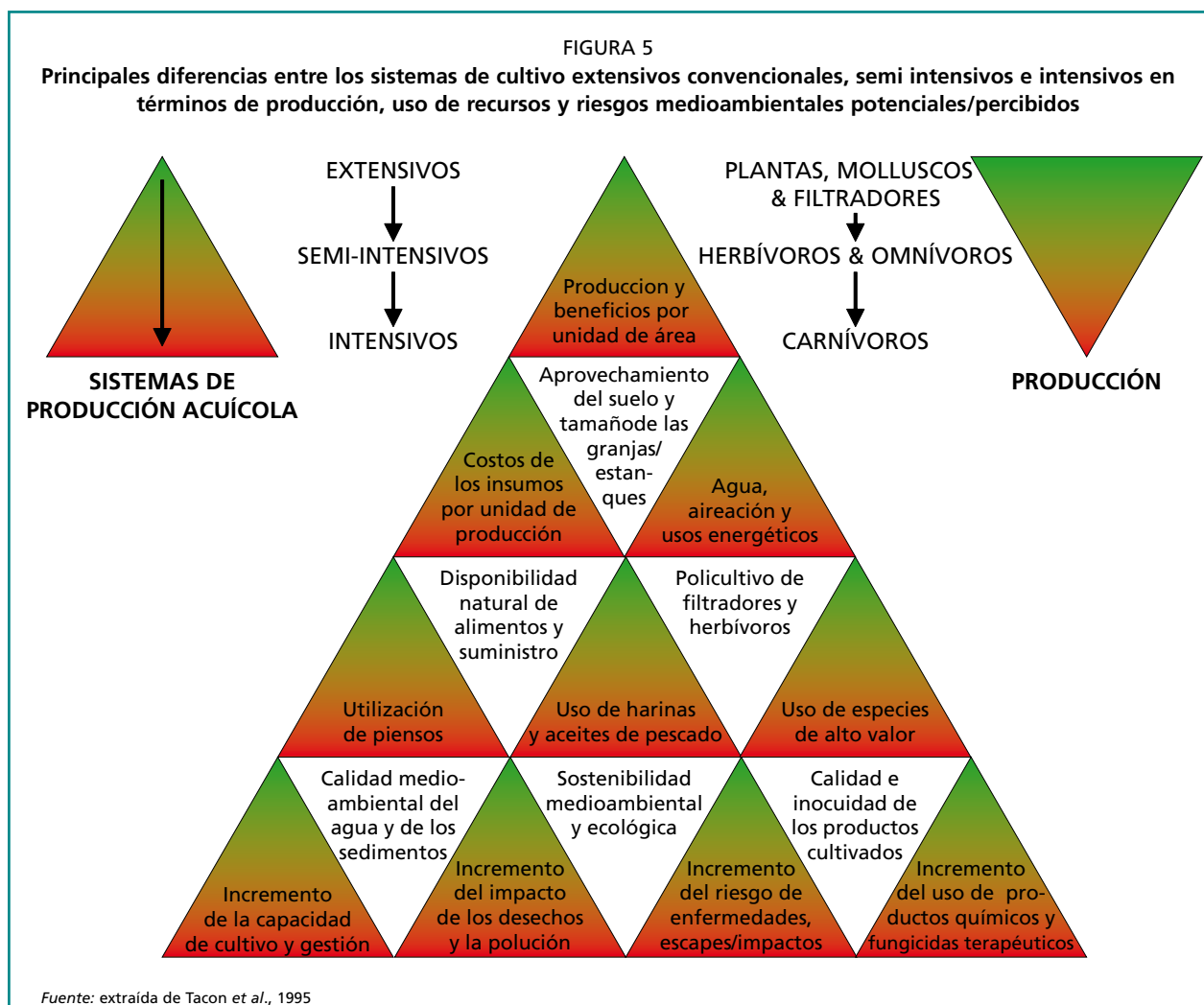
A pesar de la falta de información estadística fiable sobre el tamaño y el estado preciso de la producción de la acuicultura en jaulas a nivel mundial, resulta evidente de los varios estudios del cultivo en jaulas a nivel regional (con la posible excepción de África subsahariana), que la cría en jaulas es, hoy en día, uno de los segmentos con más rápido crecimiento de la producción acuícola mundial. Esta expansión continuará a pesar de las grandes diferencias a nivel regional. Mientras que la región de Asia puede experimentar una agrupación ulterior de las operaciones más pequeñas como resultado de la falta de espacio disponible en las aguas costeras (De Silva y Phillips, este volumen), Cardia y Lovatelli (este volumen) informan sobre las amplias opciones de sitios para cultivo para aquellos cultivos en jaulas de alto coeficiente de capital cerca de la costa o mar adentro a lo largo del litoral del Mediterráneo, al igual que lo hacen Blow y Leonard (este volumen) particularmente para las aguas dulces del África subsahariana. Sin embargo, aunque la acuicultura en jaulas permite a los piscicultores el acceso a nuevos recursos acuáticos inexplorados y sitios potenciales (incluyendo lagos, embalses, ríos, estuarios y vastas zonas del mar abierto), la intensificación de la producción acuícola conlleva, igualmente, mayores riesgos medioambientales y económicos (Figura 5), que a su vez implican el uso de nuevas técnicas de gestión de granja y controles reguladores en el país

y sistemas de vigilancia medioambiental para el desarrollo sostenible del sector. (FAO, 2006d).

Un motivo de preocupación particular es la necesidad de minimizar el potencial del impacto medioambiental y en el ecosistema en la mayoría de las granjas con jaulas, que en su mayor parte, operan con una única especie (es decir, un monocultivo) (Tacon y Forster, 2003), sin considerar la utilización de los productos de desechos de estos sistemas abiertos de cultivo como valiosos aportes nutricionales para el cultivo de otras especies acuáticas complementarias.

Sin tener en cuenta lo anterior, existe también una creciente preocupación a nivel mundial por el medio ambiente, y en particular por el bienestar y la salud de los océanos y los ecosistemas acuáticos debido a la contaminación medioambiental. Los principales contaminantes que llegan a los océanos incluyen las aguas servidas (30 por ciento), los contaminantes del aire (30 por ciento), desechos agrícolas (20 por ciento), aguas residuales industriales (10 por

ciento), transporte marítimo (10 por ciento), petróleo en el mar abierto (5 por ciento), y basura (5 por ciento: Klesius, 2002). Aunque la acuicultura es una leve contribuyente a la contaminación medioambiental (en términos globales, debido a su tamaño relativamente pequeño), puede que no sea así en el futuro, conforme crece la industria; la contaminación medioambiental proveniente de las operaciones de cultivo con jaulas tradicionales, es posible que cause un serio problema en las aguas costeras de China (Chen *et al.*, este volumen; Duqi y Minjie, 2006; Honghui *et al.*, 2006; Xiao *et al.*, 2006) y que las consideraciones medioambientales sean las limitaciones primordiales al desarrollo del cultivo en jaulas en Australia y Nueva Zelanda (Rimmer *et al.*, este volumen). Los requisitos de las evaluaciones de impactos ambientales en las granjas pueden hacer que estos asuntos sean examinados hasta un cierto punto. Sin embargo, las evaluaciones medioambientales de las explotaciones individuales no son de por sí suficientes, ya que el impacto



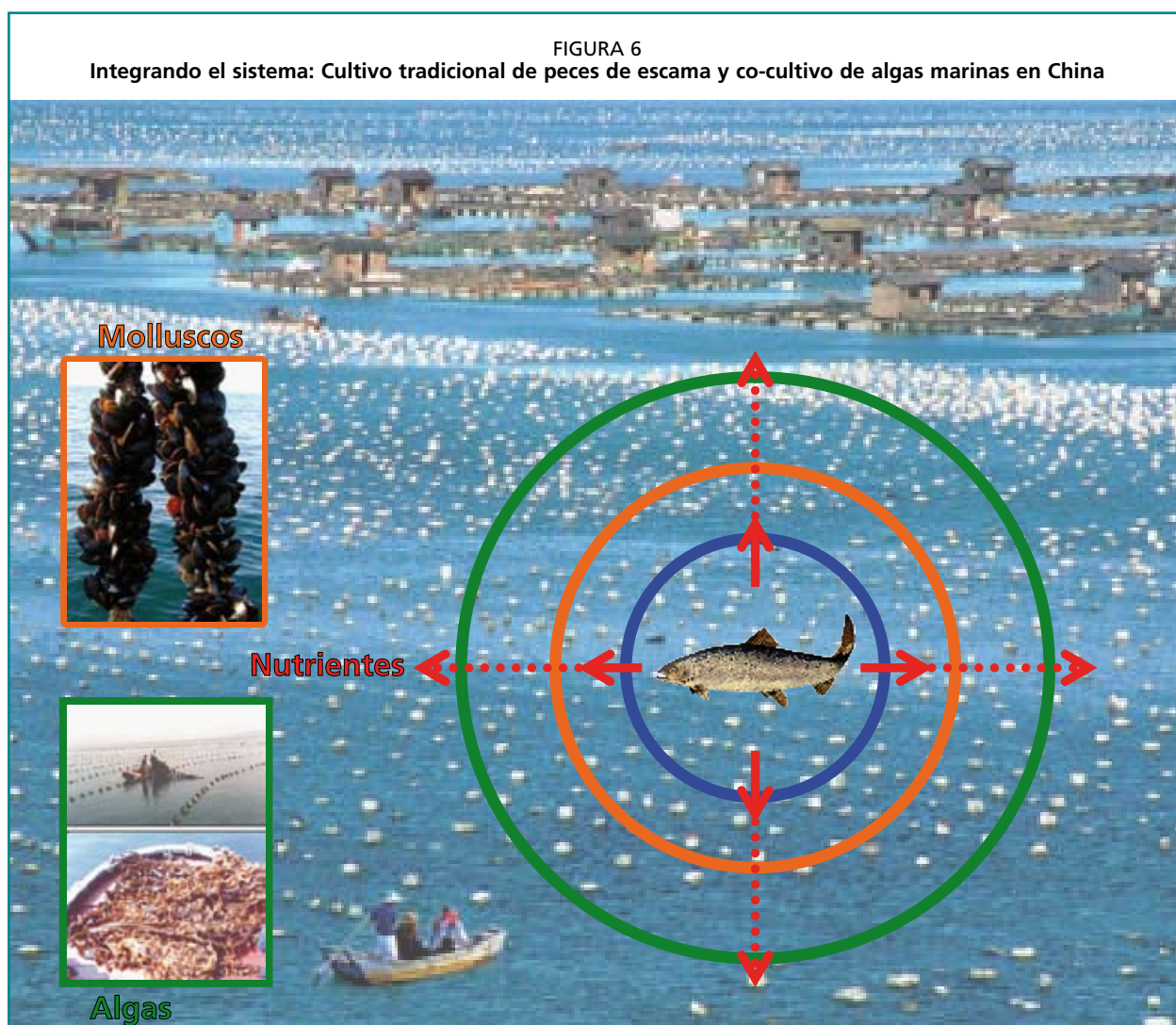
medioambiental de la acuicultura en jaulas, así como la acumulación de explotaciones a pequeña escala y el impacto acumulativo a largo plazo tiene que ser también tomado en consideración con gran atención.

Es necesaria una mayor evaluación y gestión medioambiental estratégica que tenga en cuenta todas las actividades económicas que afecten al medio ambiente acuático y la capacidad del medio de asimilar los desechos (Halwart y Moehl, 2006). Por otro lado, el cultivo en jaulas ofrece una de las pocas alternativas para el crecimiento futuro de los cultivos marinos, ya que puede trasladarse al mar abierto, lo cual ofrece grandes oportunidades y alternativas viables para países como China, en donde la presión en las zonas costeras y la amenaza de la polución a la acuicultura misma, son cuestiones muy relevantes.

Es más, como resultado directo de la contaminación medioambiental, existe también

una mayor preocupación global por la inocuidad de los alimentos, en particular sobre el nivel de contaminantes en el medio ambiente (incluyendo los contaminantes orgánicos persistentes y los metales pesados) que se acumulan dentro de la cadena alimentaria natural acuática, incluyendo las capturas de peces silvestres y especies acuícolas alimentadas de otros peces. (FAO, 2006d; Schwarzenbach *et al.*, 2006; Tacon *et al.*, 2006).

Considerando los tremendos avances que ha experimentado el cultivo en jaulas en algunos países, como Noruega, en cuanto a la reducción del uso de antibióticos y la sustitución por las vacunas, así como la disminución en las pérdidas de alimentos por medio de un mejoramiento de los mismos y de las técnicas de alimentación (Grøttum y Beveridge, este volumen), existe una gran confianza en que el sector logrará resolver con éxito estos desafíos. Las políticas gubernamentales y el apoyo institucional y legal han sido y serán, importantes



para el desarrollo sólido de la acuicultura si se basa en los acuerdos internacionales claves - como el Código de Conducta para la Pesca Responsable- y asesorados científicamente, como es el caso del uso de herramientas de geoinformación (como los Sistemas de Información Global-GIS) para la elección de sitios y la zonificación (por ejemplo Pérez *et al.*, 2005), herramientas telemétricas para el control del comportamiento (Cubitt *et al.*, 2005), o el reemplazo de harinas de pescado en los piensos (por ejemplo Zhou *et al.*, 2005).

Integrando el sistema: un enfoque multitrófico del cultivo en jaulas

Queda claro de la discusión anterior que los sistemas de cultivo en jaulas tienen que evolucionar más, ya sea yéndose más lejos al mar abierto en aguas más profundas y condiciones de operación más extremas (y minimizando así el impacto medioambiental, a través de una mayor dilución y posible contaminación visual: Chen *et al.*, este volumen; Cremer *et al.*, 2006; Kapetsky y Aguilar-Manjarrez, 2007; Lisac, 2006), o integrándose con las especies con niveles tróficos más bajos, como las algas marinas, moluscos y otros invertebrados benthicos (Ridler *et al.*, 2007; Rimmer, 2006; Whitmarsh *et al.*, 2006).

El fundamento detrás de los cocultivos de especies de menor nivel trófico es que los desechos de uno o más grupos de especies (como los peces de escama criados en jaulas) pueden utilizarse como insumos para uno o más grupos de especies, incluyendo algas marinas, moluscos filtradores, e invertebrados benthicos como los pepinos de mar, anélidos y equinodermos. (Figura 6).

Sin embargo, aunque se hayan realizado algunas investigaciones a través de sistemas basados en tierra (Neori *et al.*, 2004; Troell *et al.*, 2004), se requiere una considerable investigación ulterior sobre los sistemas de cultivos marinos en mar abierto (Lombardi *et al.*, 2006; Ridler *et al.*, 2007; Rimmer, 2006; Xu *et al.*, 2006; Yingjie, 2006; Yufeng y Xiugeng, 2006). Uno de los mayores desafíos de este tipo de acuicultura integrada o multitrófica es de naturaleza socioeconómica, ya que se necesitará facilitar el co cultivo a las partes interesadas (por ejemplo, los criadores de mejillones y los de salmón) o desarrollar incentivos adecuados para que los piscicultores desarrollen ellos mismos este tipo de acuicultura multitrófica. Probablemente, la última opción tenga más ventajas sociales y debería ser explorada desde una perspectiva multidisciplinaria a nivel regional y mundial.

CONCLUSIONES

Las oportunidades que tiene el cultivo en jaulas de proporcionar pescado para la creciente población mundial son enormes, y en particular en aguas marinas, ya que los océanos contienen más del 97 por ciento de todo el agua del planeta. Y todavía, aunque los océanos cubren el 71 por ciento de la superficie del planeta y proporcionan el 99 por ciento de su espacio vital, representan uno de los ecosistemas menos entendidos, con menos del 10 por ciento de este espacio vital explorado por el hombre.

En fuerte contraste con la producción terrestre de alimentos (que cubre más del 99 por ciento de todas nuestras necesidades alimentarias actuales, FAO, 2006b), el total de las capturas pesqueras de nuestros mares y ríos proporcionan hoy en día menos del 1 por ciento del total de consumo de calorías en forma de productos pesqueros comestibles (FAO, 2006a); el 52 por ciento de nuestras reservas de peces conocidas se encuentran totalmente explotadas, el 20 por ciento están moderadamente explotadas, el 17 por ciento sobreexplotadas, el 7 por ciento agotadas, el 3 por ciento subexplotadas, y el 1 por ciento se está recuperando (FAO, 2005).

Claramente, con la población mundial creciendo a razón de más de 80 millones de personas por año, y que se espera alcance los 9 000 millones en 2050, no hay duda de que nuestros océanos y preciosos recursos de agua dulce tendrán que hacerse más eficientes y productivos en términos de una mayor producción de alimentos derivados de la acuicultura a nivel mundial.

Además, mientras que la necesidad de una mayor eficiencia y productividad será de suma importancia para el desarrollo de la acuicultura en general y de forma específica de la cría en jaulas, igual lo serán otros factores, en particular la inocuidad alimentaria combinada con una producción alimentaria sostenible, aceptable socialmente y sostenible a nivel económico y medioambiental, conforme a los principios acordados y certificados, con particular atención al bienestar de los animales. Todos estos factores son cada día más importantes para la percepción del consumidor y la aceptación de los productos acuáticos. La acuicultura en jaulas tendrá un papel importante dentro del proceso general de suministrar suficiente (y aceptable) pescado para todos, en particular debido a las oportunidades de integración de especies y sistemas de producción en las áreas cercanas a la costa, así como las posibilidades de expandir la ubicación de las jaulas lejos de la costa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo y los comentarios constructivos de muchos amigos y colegas, en particular J. Aguilar-Manjarrez, J.R. Arthur, P. Balzer, D. Bartley, M. Beveridge, P. Blow, C.J. Bridger, F. Cardia, B. Chakalall, J. Chen, Z.

Chen, S.S. De Silva, J. Forster, S. Funge-Smith, J.A. Grøttum, C. Guang, M. Hasan Hasini, S. Leonard, J. Liu, A. Lovatelli, A. Lowther, M.P. Masser, J. Moehl, M.J. Phillips, B. Ponia, M. Reantaso, M.A. Rimmer, A. Rojas, D. Soto, R. Subasinghe, S. Wadsworth, Y. Wang, H. Xu, P. Xu and X. Yan.

REFERENCIAS

- Alston, D.E., Cabarcas-Nunez, A., Helsley, C.E., Bridger, C. & Benetti, D. 2006. Standardized environmental monitoring of open ocean cage sites: Basic considerations. *World Aquaculture*, 37: 24–26.
- Asche, F. & Tveteras, S. 2004. On the relationship between aquaculture and reduction fisheries. *Journal of Agricultural Economics*, 55(2): 245–265.
- Beveridge, M. 2004. *Cage Aquaculture*, third edition. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 368 pp.
- Blow, P. & Leonard, S. (this volume). A review of cage aquaculture: Sub-Saharan Africa.
- Boyd, C.E., McNevin, A.A., Clay, J. & Johnson, H.M. 2005. Certification issues for some common aquaculture species. *Reviews in Fisheries Science*, 13: 231–279.
- Cardia, F. & Lovatelli, A. (this volume). A review of cage aquaculture: Mediterranean Sea.
- Chen, J., Guang, C., Xu, H., Chen, Z., Xu, P., Yan, X., Wang, Y. & Liu, J. (this volume). A review of cage and pen aquaculture: China.
- Costa-Pierce, B.A. (2003). Ecology as the Paradigm for the Future of Aquaculture. In B.A. Costa-Pierce. *Ecological Aquaculture*, pp. 339–372. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 328 pp.
- Cremer, M.C., Lan, H.P., Schmittou, H.R. & Jian, Z. 2006. Commercial scale production of Pompano *Trachinotus ovatus* in off-shore ocean cages: results of 2004 and 2005 production tests in Hainan, China, by ASA-IM/USB. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3–8 July 2006, Hangzhou, China*, pp. 9–10 (Proceedings - in press).
- Cubitt, K.F., Churchill, S., Rowsell, D., Scruton, D.A. & McKinley, R.S. 2005. 3-dimensional positioning of salmon in commercial sea cages: assessment of a tool for monitoring behaviour. In *Aquatic telemetry. Advances and applications. Proceedings of the fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Ustica, Italy, 9–13 June 2003* pp. 25–33.
- Delgado, C.L., Wada, N., Rosegrant, M.W., Meijer, S. & Ahmed, M. 2003. *Fish to 2020: Supply and Demand in Changing Global Markets*. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington and WorldFish Center, Penang, Malaysia. 226 pp.
- De Silva, S.S. & Phillips, M.J. (this volume). A review of cage aquaculture: Asia (excluding China).
- Duqi, Z. & Minjie, F. 2006. The review of marine environment on carrying capacity of cage culture. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3–8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 90. (Proceedings - in press).
- Edwards, P., Tuan, L.A. & Allan, G.L. 2004. *A survey of marine trash fish and fishmeal as aquaculture feed ingredients in Viet Nam*. Australian Centre for International Agricultural Research. ACIAR Working Paper 57. Canberra, Elect Printing. 56 pp.
- FAO. 2005. *Examen de la situación de los recursos pesqueros marinos mundiales*. FAO Fisheries Technical Paper 457. Rome, FAO. 235 pp.
- FAO. 2006b. *FAO Statistical Database, FAOSTAT* (available at <http://faostat.fao.org>).
- FAO. 2006c. *Asia-Pacific Fishery Commission Regional Consultative Forum Meeting, 16–19 August 2006, Kuala Lumpur, Malaysia*. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- FAO. 2006d. *Estado mundial de la acuicultura 2006*. FAO Technical Paper 500. Rome, FAO. 134 pp.
- FAO. 2007. *Fishstat Plus: Universal software for fishery statistical time series. Aquaculture production: quantities 1950–2005, Aquaculture production: values 1984–2005; Capture production: 1950–2005; Commodities production and trade: 1950–2005; Total production: 1970–2005, Vers. 2.30*. Rome, FAO Fisheries and Aquaculture Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit.
- Ferguson, A., Fleming, I.A., Hindar, K., Skaala, Ø., McGinnity, P., Cross, T. & Prodöhl, P. 2007. Farm escapes. In E. Verspoor, L. Stradmeyer & J. Nielsen (eds), *Atlantic Salmon: Genetics, conservation and management*, pp. 367–409. Oxford, Blackwell Publishing Ltd.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, S.F., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. & Snyder, P.K. 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309: 570–574.

- Forster, J.R. 2006. Paper presented at the Annual Meeting of the Hawaii Aquaculture Association, Hawaii Institute of Marine Biology, Oahu, Hawaii, USA, June 15th, 2006.
- Goodland, R. 1997. Environmental sustainability in agriculture: diet matters. *Ecological Economics*, 23: 189–200.
- Grøttum, J.A. & Beveridge, M.C. (this volume). A review of cage culture: northern Europe.
- Halwart, M. & Moehl, J.F. (eds) 2006. *FAO Regional Technical Expert Workshop on Cage Culture in Africa. Entebbe, Uganda, 20–23 October 2004*. FAO Fisheries Proceedings No. 6. Rome, FAO. 113 pp. (also available at <http://www.fao.org/docrep/009/a0833e/a0833e00.htm>)
- Hambrey, J. 2006. A brief review of small-scale aquaculture in Asia, its potential for poverty alleviation, with a consideration of the merits of investment and specialization. In M. Halwart & J.F. Moehl (eds). *FAO Regional Technical Expert Workshop on Cage culture in Africa. Entebbe, Uganda, 20–23 October 2004*, pp. 37–47. FAO Fisheries Proceedings. No. 6. Rome, FAO. 113 pp.
- Hambrey, J., Tuan, L.A., Nho, N.T., Hoa, D.T. & Thuong, T.K. 1999. Cage culture in Vietnam: how it helps the poor. *Aquaculture Asia*, IV(4): 15–17.
- Hambrey, J., Tuan, L.A. & Thuong, T.K. 2001. Aquaculture and poverty alleviation II. Cage culture in coastal waters of Viet Nam. *World Aquaculture*, 32(2): 34–67.
- Hindar, K., Fleming, I.A., McGinnity, P. & Diserud, A. 2006. Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: modelling from experimental results. *ICES Journal Of Marine Science*. 63 (7) 1234–1247.
- Honghui, H., Qing, L., Chunhou, L., Juli, G. & Xiaoping, J. 2006. Impact of cage fish farming on sediment in Daya Bay, PR China. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3–8 July 2006, Hangzhou, China*, pp. 88–89. (Proceedings - in press).
- Kapetsky, J.M. & Aguilar-Manjarrez, J. 2007. *Geographic information systems, remote sensing and mapping for the development and management of marine aquaculture*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 458. Rome, FAO. 125 pp.
- Klesius, M. 2002. The State of the Planet: A Global Report Card. *National Geographic*, 197(9), 102–115.
- Kristofersson, D. & Anderson, J.L. 2006. Is there a relationship between fisheries and farming? Interdependence of fisheries, animal production and aquaculture. *Marine Policy*, 30: 721–725.
- León, J.N. 2006. *Synopsis of salmon farming impacts and environmental management in Chile*. Consultancy Technical Report. Valdivia, Chile, WWF Chile. 46 pp.
- Lisac, D. & Refa Med srl. 2006. Open-sea farming: operational constraints. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3–8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 63. (Proceedings - in press).
- Lombardi, J.V., de Almeida Marques, H.L., Pereira, R.T.L., Barreto, O.J.S. & de Paula, E.J. 2006. Cage polyculture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* and the Philippines seaweed *Kappaphycus alvarezii*. *Aquaculture*, 258: 412–415.
- Masser, M.P. & Bridger, C.J. (this volume). A review of cage aquaculture: North America.
- Mente, E., Pierce, G.J., Santos, M.B. & Neofitou, C. 2006. Effect of feed and feeding in culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquaculture International*, 14: 499–522.
- Merican, Z. 2006. Marine finfish cage culture: some of the strengths, weaknesses, opportunities and threats facing this expanding yet fragmented industry in China and Southeast Asia. *AQUA Culture AsiaPacific Magazine*, 2(2): 22–24.
- Nash, C.E., Iwamoto, R.N. & Mahnken, C.V.W. 2000. Aquaculture risk management and marine mammal interactions in the Pacific Northwest. *Aquaculture*, 183: 307–323.
- Naylor, R., Hindar, K., Fleming, I.A., Goldberg, R., Williams, S., Volpe, J., Whoriskey, F., Eagle, J., Kelso, D. & Mangel, M. 2005. Fugitive salmon: assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. *BioScience*, 55: 427–437.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M. & Yarish, C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern aquaculture. *Aquaculture*, 231: 361–391.
- Ottolenghi, F., Silvestri, C., Giordano, P., Lovatelli, A. & New, M.B. 2004. *Capture-based aquaculture: The fattening of eels, groupers, tunas and yellowtails*. FAO Rome. 308 pp.
- Perez, O.M., Telfer, T.C. & Ross, L.G. 2005. Geographical Information Systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research* 36: 946–961.
- Pillay, T.V.R. & Kutty, M.N. 2005. *Aquaculture: Principles and Practices*, Second Edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, England. 624 pp.

- Phillips, M. & De Silva, S. 2006. Finfish cage culture in Asia: an overview of status, lessons learned and future developments. In M. Halwart and J.F. Moehl (eds). *FAO Regional Technical Expert Workshop on Cage Culture in Africa. Entebbe, Uganda, 20-23 October 2004*, pp. 49-72. FAO Fisheries Proceedings. No. 6. FAO Rome. 113 pp.
- Rana, K. & Telfer, T. 2006. Primary drivers for cage culture and their relevance for African cage culture. In M. Halwart and J.F. Moehl (eds). *FAO Regional Technical Expert Workshop on Cage Culture in Africa. Entebbe, Uganda, 20-23 October 2004*, pp. 99-107. FAO Fisheries Proceedings. No. 6. FAO Rome. 113 pp.
- Ridler, N., Barrington, K., Robinson, B., Wowchuk, M., Chopin, T., Robinson, S., Page, F., Reid, G., Szemerda, M., Sewuster, J. & Boyne-Travis, S. 2007. Integrated multitrophic aquaculture: Canadian project combines salmon, mussels, kelps. *Global Aquaculture Advocate*, 10(2): 52-55.
- Rimmer, M.A. 2006. *Regional review of existing major mariculture species and farming technologies*. Paper presented for the FAO/NACA Regional Mariculture Workshop, 7-11 March 2006, Guangdong, China (in press)
- Rimmer, M.A., Ponia, B. & Wani, J. (this volume). A review of cage aquaculture: Oceania.
- Rojas, A. & Wadsworth, S. (this volume). A review of cage aquaculture: Latin America and the Caribbean.
- Schwarzenbach, R.P., Escher, B.I., Fenner, K., Hofstetter, T.B., Johnson, C.A., von Gunten, U. & Wehrli, B. 2006. The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science*, 313: 1072-1077.
- Soto, D., F. Jara & Moreno, C. 2001. Escaped salmon in the Chiloe and Aysen inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. *Ecological Applications*, 11(6): 1750-1762.
- Tacon, A.G.J. 2001. Increasing the contribution of aquaculture for food security and poverty alleviation. In R.P. Subasinghe, P. Bueno, M.J. Phillips, C. Hough & S.E. McGladdery (eds) *Aquaculture in the Third Millennium*, pp. 67-77. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 Feb. 2000.
- Tacon, A.G.J. & Forster, I.P. 2003. Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*, 226(1-4): 181-189.
- Tacon, A.G.J., Phillips, M.J. & Barg, U.C. 1995. Aquaculture feeds and the environment: the Asian experience. *Water Science Technology* 31(10): 41-59.
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R. & Subasinghe, R.P. 2006. *Use of fishery resources as feed inputs to aquaculture development: trends and policy implications*. FAO Fisheries Circular No. 1018, Rome, FAO. 99 pp.
- Tan, Z., Komar, C. & W.J. Enright. 2006. Health management practices for cage aquaculture in Asia: A key component for sustainability. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, pp. 5-7. (Proc. - in press).
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. & Polasy, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671-677.
- Troell, M., Halling, C., Neori, A., Chopin, T., Buschmann, A.H., Kautsky, N. & Yarish, C. 2004. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture*, 226: 69-90.
- Volpe, J., Benetti, D., Boehlert, G., Boesch, D., Davis, A., Dethier, M., Goldburg, R., Kent, M., Mahnken, C., Marra, J., Rensel, J., Sandifer, P., Stickney, R., Tacon, A. & Tyedmers, P. 2006. *Integrating aquacultural and ecological sciences for sustainable offshore aquaculture*. Paper presented at the Annual Meeting of the World Aquaculture Society, May 9-13 2006, Florence, Italy.
- Whitmarsh, D.J., Cook, E.J. & Black, K.D. 2006. Searching for sustainability in aquaculture: An investigation into the economic prospects for an integrated salmon-mussel production system. *Marine Policy* 30: 293-298.
- Xu, S., Zhang, H., Wen, S., Luo, K. & He, P. 2006. Integrating seaweeds into mariner fish cage culture systems: a key towards sustainability. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 96. (Proceedings - in press).
- Xiao, C., Shaobo, C. & Shenyun, Y. 2006. Pollution of mariculture and recovery of the environment. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 95. (Proceedings - in press).
- Yingjie, L. 2006. *The future of mariculture: a regional approach for responsible development of marine farming in the Asia-Pacific Region*. Paper presented for the FAO/NACA Regional Mariculture Workshop, 7-11 March 2006, Guangdong, China
- Yufeng, Y. & Xiugeng, F. 2006. Development of mariculture and bioremediation of seaweeds in Chinese coastal waters. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 88. (Proceedings - in press).
- Zhou, Q.C., Mai, K.S., Tan, B.P. & Liu, Y.J. 2005. Partial replacement of fishmeal by soybean meal in diets for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture Nutrition* 11: 175-182.

