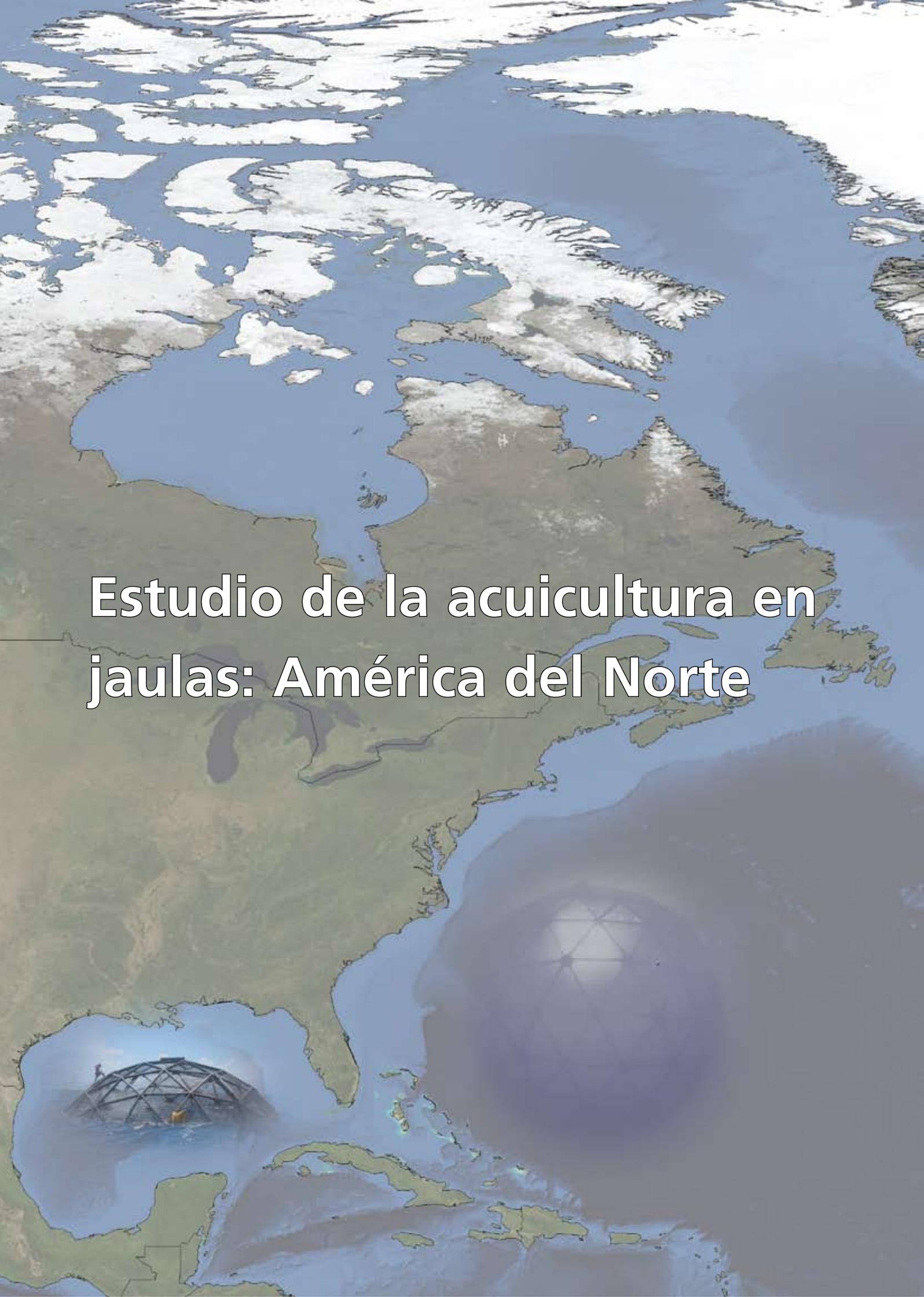


Producción de la acuicultura en jaulas 2005

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.



La imagen del mapa de fondo *Blue Marble: Next generation* es cortesía del Observatorio de la Tierra de la NASA

A topographic map of North America, showing the continent in shades of brown and green, surrounded by blue oceans. In the bottom left corner, there is a circular inset showing a geodesic dome structure, likely a research facility or aquaculture facility, situated in a body of water. The text "Estudio de la acuicultura en jaulas: América del Norte" is overlaid on the map in white, bold, sans-serif font.

Estudio de la acuicultura en jaulas: América del Norte



Estudio de la acuicultura en jaulas: América del Norte

Michael P. Masser¹ y Christopher J. Bridger²

Masser, M.P. y Bridger, C.J.

Estudio de la acuicultura en jaulas: América del Norte. 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. 107–131.

RESUMEN

Este trabajo es una visión general del estado y perspectivas futuras de la acuicultura en jaulas de los peces de agua dulce y marina en América del Norte (excluyendo los países de América Latina), abarcando Canadá y Estados Unidos de América. El cultivo en jaulas tiene una historia bastante reciente en América del Norte si se lo compara con Asia. Después de cuatro décadas de crecimiento y evolución, la producción y diversidad del cultivo en jaulas en América del Norte está creciendo y parece prometedor un futuro desarrollo y sustentabilidad. Las principales especies cultivadas son el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), la trucha steelhead (*Oncorhynchus mykiss*), el salmón rey (*Oncorhynchus tshawytscha*), el coho (*Oncorhynchus kisutch*), la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), el bagre del canal (*Ictalurus punctatus*), la trucha alpina (*Salvelinus alpinus*), el bagre azul (*Ictalurus furcatus*), la trucha cutthroat (*Oncorhynchus clarkii*), la perca americana (*Perca flavescens*), la lubina estriada híbrida (*Morone* spp.), la perca sol (*Lepomis* spp.) y la tilapia (*Oreochromis* spp.). La producción acuícola total aproximada en 2004 fue de 6 300 toneladas y 105 000 toneladas en agua dulce y ambientes marinos, respectivamente. No se cuenta con datos oficiales específicos de la producción y valor de las especies del cultivo en jaulas en agua dulce o sistemas marinos en los Estados Unidos de América porque dichas operaciones ocurren en propiedad privada o los datos no se pueden mantener anónimos (por ejemplo existe sólo un productor de salmón en el estado de Washington). Los niveles totales de producción están clasificados por especies y no por el sistema de cultivo empleado. En todos los casos de especies de agua dulce, la acuicultura en estanques abiertos domina la industria y las actividades de cultivo en jaulas proveen una cantidad insignificante de producción.

Ha habido un gran número de estudios científicos e innovaciones privadas en materia de tecnología acuícola en jaulas, desarrollo de nuevas especies y adelanto en técnicas de manejo en América del Norte. Sin embargo, debe existir más desarrollo tecnológico si la acuicultura en alta mar quiere alcanzar el potencial planeado. Actualmente, Canadá le lleva la delantera a los Estados Unidos de América en cuanto a la expansión de la acuicultura comercial en jaulas y en el desarrollo de políticas, regulaciones y percepciones que acepten y promuevan el futuro crecimiento y sostenibilidad de su industria. Los Estados Unidos de América están progresando lentamente en lo que se refiere a desarrollo de políticas que permitan una acuicultura en jaulas en el ambiente marino. No obstante, las probabilidades de utilizar fuentes de agua dulce públicas para el cultivo en jaulas en los Estados Unidos parecen mínimas. La mayoría de las agencias de recursos naturales que regulan el acceso a las zonas de aguas públicas no tienen el deseo o la presión pública/política para permitir o promover el cultivo en jaulas en aguas públicas.

¹ Department. of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas A&M University, College Station, Texas, Estados Unidos de América.

² Aquaculture Engineering Group Inc., 73A Frederick Street, St. Andrews, New Brunswick, E5B 1Y9, Canadá.

ANTECEDENTES Y OBJETIVO DEL ESTUDIO

Este trabajo presenta una visión general del estado de la acuicultura en jaulas en América del Norte, con ejemplos pasados y actuales de la cría en jaulas y los obstáculos para su futuro desarrollo. La acuicultura en jaulas experimentó una enorme evolución y crecimiento en América del Norte en las últimas cuatro décadas. Hemos elegido discutir la acuicultura en América del Norte ante todo basándonos en la salinidad del agua (es decir, agua dulce versus marina) y no por país. Sentimos que este enfoque asegura que los tópicos comunes sean discutidos conjuntamente de una manera más lógica. Dentro de este marco, los ejemplos específicos y puntos de discusión por país se tratan más apropiadamente.

La información que se presenta proviene de varias fuentes, e incluye los estudios recientes realizados por el US Cooperative State Research Education and Extension Service (CSREES), la Regional Aquaculture Centers and National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), Sea Grant, el Gobierno de Canadá y las agencias de fuentes estadísticas de los gobiernos provinciales, literatura científica y popular (FAO, 2006) y las revisiones recientes sobre la acuicultura en jaulas (Huguenin, 1997; Beveridge, 2004).

HISTORIA Y ESTADO ACTUAL DE LA ACUICULTURA EN JAULAS EN AMÉRICA DEL NORTE

Canadá y los Estados Unidos de América abarcan una extensa área que ocupa aproximadamente el 91 por ciento de la América del Norte continental. Ambos países cuentan con ambientes templados y sub-tropicales, tres océanos y alojan diferentes culturas. La producción acuícola de ambos países combinados, incluyendo todas las especies, fue de 577 641 toneladas métricas con un precio total a nivel de explotación de unos 1 460 millones de dólares EE.UU. en 2003 (datos recopilados de las fuentes mencionadas más arriba). En ambos países, las operaciones acuícolas en jaulas se llevan a cabo en ambientes marinos y de agua dulce y crían una extensa variedad de especies.

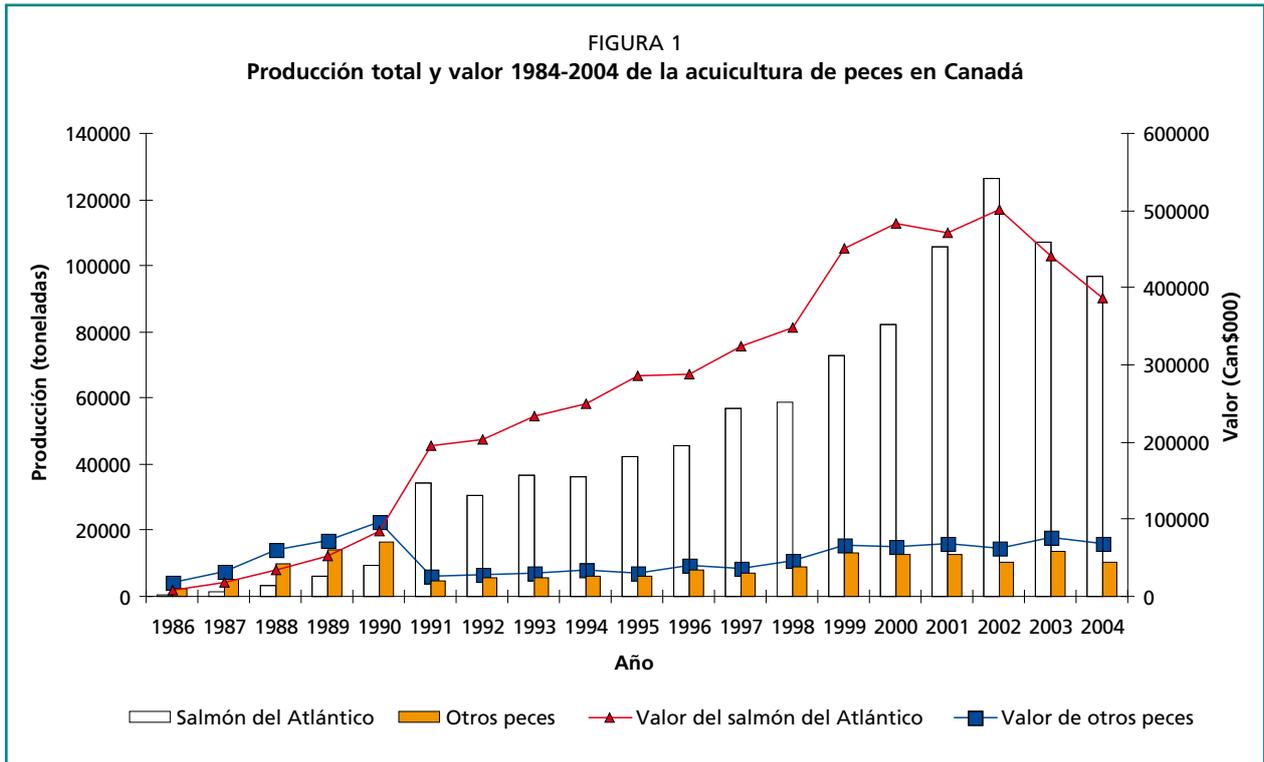
En Canadá, la producción acuícola fue de 145 018 toneladas métricas con un total de 518 millones de dólares canadienses en 2004. Las especies criadas en jaulas (salmón, trucha steelhead y otras especies marinas) proporcionan el 70 por ciento aproximadamente del volumen total de la producción y casi el 84 por ciento del valor total de la acuicultura (Statistics Canada, 2005).

La escala y el valor alcanzado en las operaciones acuícolas en jaulas se deben, en su mayor parte, al rápido crecimiento del sector del salmón del Atlántico comparado con el año 1986 (Figura 1). El engorde de otras especies de peces (incluyendo el salmón real, el coho, la trucha, la steelhead, el bacalao y otras especies) es bajo a pesar de los esfuerzos hechos por la industria y el gobierno para diversificar la industria acuícola. El salmón del Atlántico se cría en las aguas a lo largo de los océanos Atlántico y Pacífico de las costas de Canadá. Columbia Británica, la única provincia en el océano Pacífico del país, suministra casi toda la producción del salmón del Atlántico a pesar de ser una especie exótica en la región y de estar en un período de prueba en cuanto a su engorde y comercialización a lo largo de la costa oriental de Canadá en el Océano Atlántico (Figura 2). Se espera que la industria del salmón aumente y que las compañías continúen haciendo uso de las economías de escala y traten de contrarrestar la caída del precio promedio. Los precios bajaron vertiginosamente en años recientes y ello se debió en gran parte al incremento de la competencia internacional y a un exceso de producto en el mercado (Figura 2).

El área total autorizada para la producción acuícola en aguas canadienses para todas las especies es de aproximadamente 30 971 hectáreas o el equivalente a 17,6 km x 17,6 km (OCAD, 2003).

Esta pequeña porción de agua produjo aproximadamente el 14 por ciento de todo el desembarque canadiense de productos de mar en 2003. La oportunidad para el crecimiento continuo de la industria acuícola en jaulas en el país es inmensa teniendo una costa nacional de 202 080 km. Dado un marco apropiado de políticas reguladoras junto a un incremento en la gerencia ambiental y la confianza del consumidor, las proyecciones conservadoras para el crecimiento previsto esperan un aumento en el valor del producto acuícola de unos 500 millones en 2000 a unos 2 800 millones de dólares canadienses para 2010–2015 (los efectos multiplicados previstos de este valor deberían equipararse a 6 600 millones de dólares canadienses a la economía del país [OCAD, 2003]).

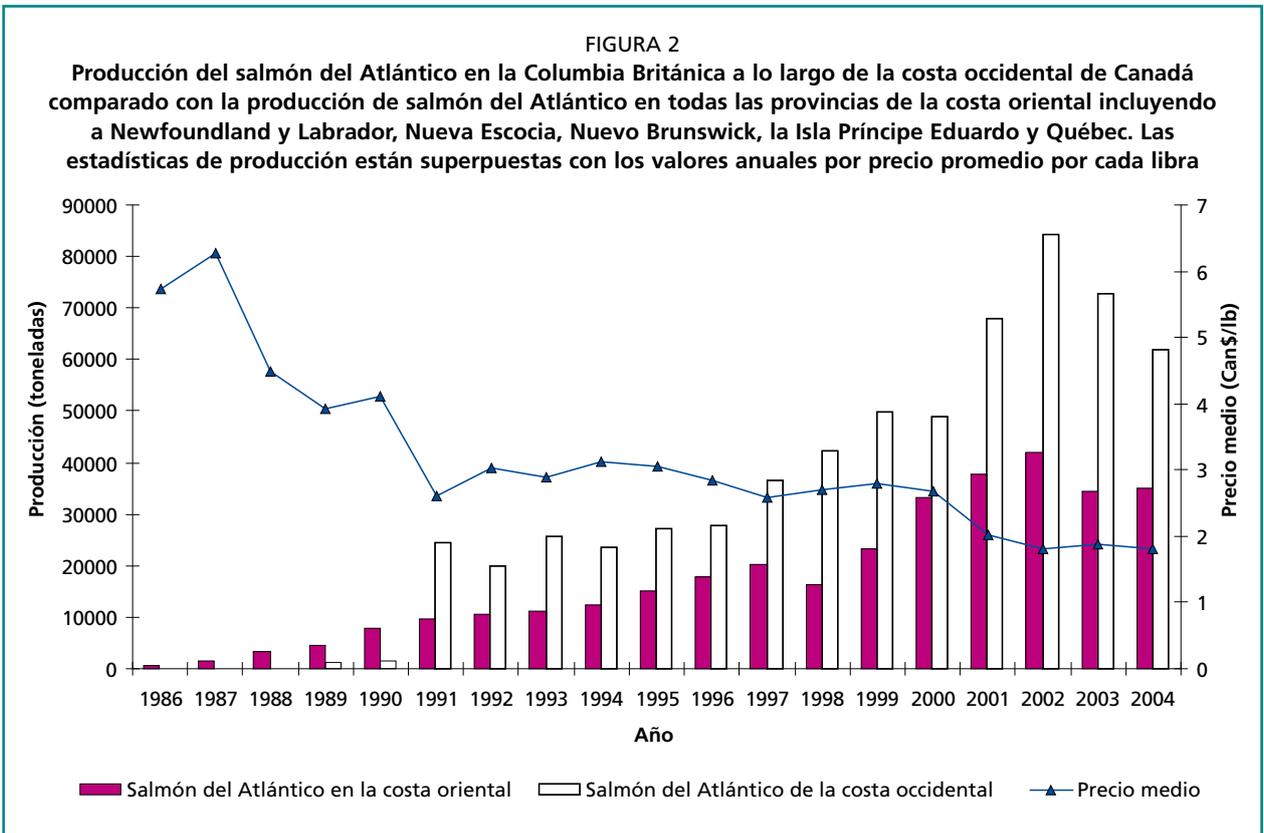
Canadá inició el cultivo en jaulas de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) luego de su inauguración en Noruega en los años setenta. Los primeros intentos a ciclo completo de cultivo en jaulas marinas ocurrieron en los años setenta fuera de Nueva Escocia y Nuevo Brunswick, pero fracasó debido a las extremas temperaturas del invierno. Más tarde, se llevó a cabo otro intento con éxito en



el sudoccidente de la Bahía de Fundy a través de un acuerdo de cooperación entre una iniciativa privada y el gobierno provincial y federal. Su primera producción fue de 6 toneladas métricas en 1979, lo cual convenció a otros inversionistas privados a

dedicarse a la acuicultura de salmón del Atlántico en la región (Saunders, 1995).

El salmón del Atlántico criado en granjas representa la mayor cosecha de todo el sector agropecuario de Nuevo Brunswick con un 23 por



ciento del total de las rentas agrícolas (equivalente a la producción provincial de papas, aves de corral, verduras, frutas, bayas y cereales combinados) y con un precio a nivel de explotación de 175 millones de dólares canadienses en 2004. Este nivel de producción requiere los servicios de 1 849 personas de empleo directo ya sea criaderos, engorde marino, procesamiento, servicios directos y administración (NBDFAFA, 2005).

La trucha steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) fue cultivada inicialmente a las afueras de Cape Breton, Nueva Escocia en los años setenta. La producción del salmón del Atlántico a las afueras de Nueva Escocia fue más lenta en desarrollarse que la de Nuevo Brunswick y está en dificultades debido a las bajas temperaturas de la provincia durante el invierno (la mayoría de la acuicultura del salmón del Atlántico está actualmente concentrada en los lagos Bras d'Or, la cuenca del Annapolis, puerto Shelburne y partes de la bahía de St. Margaret). La trucha steelhead se cría en la áreas de Pubnico, de la bahía de Lobster y los lagos Bras d'Or. Estas dos especies combinadas son responsables de aproximadamente el 36 por ciento del total de la venta de la producción acuícola de Nueva Escocia en 2004. Este valor es más bajo que el 67 por ciento producido en 2003 debido a las dificultades financieras de la industria, a varias heladas catastróficas y a un enfriamiento crítico (aguas marinas extremadamente frías) durante el invierno de 2004. Sin embargo, la industria se recuperó y las figuras alcanzaron un 67 por ciento en 2005 (<http://www.gov.ns.ca/nsaf/aquaculture/stats/index.shtml>).

La acuicultura de salmónidos (incluyendo al salmón del Atlántico y la trucha steelhead) se inició recién a mitad de los años ochenta en Newfoundland y Labrador. La acuicultura de salmónidos se concentra en la costa sureña en las bahías d'Espoir y la Fortune. El engorde del bacalao (*Gadus morhua*) que se inicia con la pesca de pequeños bacalao silvestres, alimentados luego hasta el tamaño de mercado dentro de jaulas en el océano, fue implementado en el año 1980 luego del colapso de los alguna vez ricos Grandes Bancos de pesca de peces de fondo. Los estudios de prueba de engorde de bacalao desde huevo hasta consumo continuaron en 2004 con un poco más de 50 000 alevines mantenidos en jaulas marinas a lo largo de la costa sureña de la provincia (NL DFA, 2005).

La acuicultura de salmón en la Columbia Británica tuvo sus comienzos en los años setenta con especies como el salmón real (*Oncorhynchus*

tshawytscha) y coho (*Oncorhynchus kisutch*). La industria fue optando gradualmente por el cultivo del salmón del Atlántico debido los bajos beneficios económicos y el bajo índice de crecimiento y densidad de repoblación asociados con las especies de salmón del Pacífico. Las organizaciones en contra del cultivo de salmón ganaron momentum durante los años ochenta y principios de los noventa culminando en 1995, cuando se inició la segunda moratoria de la expansión de la acuicultura y se mantuvo hasta la finalización de una revisión de la acuicultura de salmón en la Columbia Británica por parte de la Oficina de Evaluación Ambiental (la primera moratoria sobre la aprobación del nuevo lugar se realizó en 1986 y resultó en la encuesta Gillespie). Esta revisión finalizó en 1997, seguida de una extensa consulta pública y análisis de documentos, con la siguiente conclusión final: «El cultivo del salmón en la Columbia Británica, como se lo practica actualmente y a los niveles de producción actuales, presenta una amenaza mínima para el medioambiente». La Revisión Acuícola del Salmón entregó al Ministro del Medioambiente, Tierra y Parques y al Ministro de Agricultura, Pesca y Alimentación 49 recomendaciones, como para dar un paso hacia adelante (EAO, 1997). La oposición a la acuicultura local del salmón no terminó con esta revisión y la expansión de la industria acuícola del salmón en la Columbia Británica ha sido bien lenta a pesar del levantamiento de la moratoria. La producción del salmón en jaulas marinas representa un sector de la industria muy importante para las comunidades de la costa rural de la Columbia Británica produciendo 61 774 toneladas métricas en 2004 con un valor de 212 millones de dólares canadienses (Statistics Canada, 2005).

El cultivo marino en jaulas en los estados de Maine y Washington ocurrió en tándem con las provincias vecinas de Nuevo Brunswick y la Columbia Británica, respectivamente. En ambos casos, la expansión de la acuicultura marina se vio presionada por continuas demostraciones antiacuicultura realizadas principalmente por algunas Organizaciones no gubernamentales (ONG) ambientalistas en Maine, mientras que la oposición en Washington apunta a aquellos que apoyan la pesca del salmón silvestre. En ambos casos, estas organizaciones están influenciando la política para las áreas rurales costeras que de otro modo se beneficiarían desarrollando operaciones acuícolas a lo largo de esas zonas litorales. La mayoría de los estados costeros de los Estados Unidos de América no cuentan con el litoral complejo de

las provincias marinas del Canadá, contando este último con numerosas islas, bahías, brazos de mar y fiordos para el desarrollo acuícola. El reconocer estas limitaciones, más el complejo conflicto por el espacio costero limitado, unido al creciente déficit en el comercio de productos marinos resultado de la creciente dependencia de productos marinos extranjeros, ha impulsado a los Estados Unidos de América a invertir significativamente en el desarrollo de la acuicultura en el mar libre desde finales de los años noventa. El 10 de agosto de 1999, el Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América aprobó una Política Acuícola (<http://www.nmfs.noaa.gov/trade/DOCAQpolicy.htm>) con el fin de promover el desarrollo de una acuicultura ambientalmente sostenible y económicamente viable con una clara visión:

«Para asistir en el desarrollo de una industria sostenible, altamente competitiva en los Estados Unidos, que atienda la creciente demanda del consumidor por productos acuáticos y productos que sean de alta calidad, seguros, y a buen precio y que estén producidos de una manera ambientalmente responsable con máxima oportunidad para la rentabilidad en todos los sectores de la industria»

Hoy en día una naciente industria acuícola esta operando en alta mar de las costas de Hawái (Ostrowski and Helsley, 2003) y Puerto Rico (O’Hanlon *et al.*, 2003). La Universidad de New Hampshire ha creado un sitio de investigación con fondos del gobierno fuera de las costas de New Hampshire desde 1997 (Chambers *et al.*, 2003). La región del Golfo de México ha intentado previamente con la acuicultura en alta mar, pero la industria aún no existe en la región (Chambers, 1998; Kaiser, 2003; Bridger, 2004).

SITUACIÓN ACTUAL DEL CULTIVO EN JAULAS

Sistemas de cultivo en jaulas en agua dulce

En América del Norte el cultivo en jaulas en agua dulce se encuentra generalmente limitado por represas privadas ya que pocas provincias o estados permiten la producción comercial de peces en aguas públicas. Los Estados Unidos de América, no disponen de datos oficiales específicos con respecto a la producción y valor de especies cultivadas en jaulas en los sistemas en aguas dulces, ya sea porque dichas operaciones ocurren en propiedades privadas o porque los datos recolectados no se pueden

FIGURA 3
Jaula en agua dulce de 7 m³ para la acuicultura del bagre del canal



CORTESÍA DE M. P. MASSER

considerar anónimos. Los niveles de producción total están clasificados por especies y no por el sistema de cultivo empleado. Para todas las especies, la acuicultura en estanques abiertos domina la industria; mientras que las actividades de cultivo en jaulas proveen una cantidad insignificante de producción. En los Estados Unidos de América, unos pocos estados (por ejemplo Oklahoma, Oregón y Arkansas) permiten el cultivo en jaulas en aguas públicas a través de licencias especiales. En Canadá, el cultivo en jaulas en aguas dulces se practica en algunas aguas públicas (el Lago Hurón, Ontario) a través de un sistema de licencias.

Diseño y construcción de las jaulas

Las jaulas en agua dulce tienden a ser relativamente pequeñas en volumen comparado con las jaulas marinas, pero el número de crianza es peculiarmente elevado. En Estados Unidos de América, las jaulas de peces para agua dulce son utilizadas típicamente en embalses privados sin las corrientes naturales de las aguas. Las jaulas en agua dulce oscilan en volumen entre 1 m³ y 7 m³ y están hechas de pequeñas redes de malla de nylon (por ej. 13–25 mm), de malla de plástico sólido o de una tela metálica soldada cubierta de plástico. Los marcos de las cajas se construyen de madera, cañerías de policloruro de vinilo (PVC) o hierro galvanizado, con flotadores de policloruro de vinilo expandido, cañerías de PVC o botellas de plástico (Figura 3) (Masser, 1997a).

Sistemas de cultivo y especies

Históricamente, el cultivo en jaulas en aguas dulces de América del Norte estuvo limitado a la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y al bagre del canal (*Ictalurus punctatus*). La industria del cultivo en canales y estanques está bien desarrollada para estas especies. Varias universidades han investigado a fondo el cultivo en jaulas para estas dos especies y parte de la producción privada ha criado peces en áreas marginales en donde la topografía, manantiales/aguas subterráneas e infraestructura no eran aptos para el cultivo tradicional en canales o estanques.

La mayoría del cultivo en jaulas en agua dulce se practica en represas privadas de cuencas hidrográficas. Típicamente, éstas liberan agua durante las épocas de fuertes lluvias y la mayoría sucede durante los meses más fríos y húmedos. Las excepciones al cultivo de represas privadas incluyen las instalaciones de producción del Lago Hurón y el río Columbia, que se tratan más abajo.

Actualmente, la mayoría de las operaciones del cultivo marino en jaulas se sitúa cerca de la costa aunque las operaciones de base se sitúen a considerables distancias. Estos lugares se sitúan en fiordos de aguas profundas, ensenadas protegidas, o bahías con corrientes suficientes para delimitar los problemas de calidad de las aguas localizadas. La tendencia de la industria ha sido el desarrollarse en sitios de alta energía más expuestos. En algunos casos las operaciones del cultivo en jaulas se sitúan mar afuera y por ello se incrementa la exposición de los sistemas de jaulas a las condiciones oceanográficas.

Las densidades en las jaulas pequeñas en agua dulce son elevadas, y oscilan entre 200 y 700 pez/m³ dependiendo de las especies cultivadas y del tamaño preferido en el mercado. Los niveles de producción varían con las especies producidas pero normalmente oscilan entre 90 y 150 kg/m³ (Masser, 1997b). Los problemas comunes en las jaulas de agua dulce son las enfermedades localizadas y la baja calidad del agua (Duarte *et al.*, 1993).

La producción comercial de bagre en jaulas no logró desarrollarse en una industria sólida (es decir, sólo de un 0,002 a 0,003 por ciento del total de la producción de bagre en los Estados Unidos de América) comparado con el cultivo en estanques abiertos. La mayor parte de la producción en jaulas está dispersa hacia el sur, el medio oeste y el oeste y son producciones familiares, de pequeña escala para uso personal y con nicho en los mercados locales. Alabama ha tenido una industria viable de bagre en jaulas en su región de Piedmont desde los años noventa (Masser y Duarte, 1994), pero actualmente sólo tiene de 30 a 40 acuicultores que producen 50–100 toneladas métricas por año. Estos productores se organizaron para formar la Asociación de Piedmont de los Productores de Peces en Jaulas y en 1993 registraron una marca (la *Piedmont Classics*). Sin embargo, este registro no resultó en un aumento de las ventas ni mercados. La razón principal de las bajas ventas está probablemente relacionada con el bajo número de operaciones en jaulas y los más altos precios de venta necesarios para que los productores obtengan un beneficio.

Tradicionalmente estos productores han comercializado el bagre por 2,20 \$EE.UU. el kg mientras que el pescado criado en estanques se vende por menos de 1,65 \$EE.UU. el kg. Otro problema es el tamaño del pescado producido. Normalmente, el bagre enjaulado rara vez crece más de 0.6 kg en tamaño durante un período de crecimiento y tiene alto nivel de mortalidad si se lo

inverna. Por lo tanto, la mayor parte del pescado producido en jaulas se comercializa como pescado pequeño entero, mientras que en la industria (es decir, criado en estanques) la norma es un pescado de 0,8 a 1 kg procesado y comercializado como filete. El precio más elevado y el producto de pescado entero hacen del pescado de jaula un producto no competitivo, excepto en el nicho de los mercados de menor escala local.

Las grandes operaciones de bagre en jaulas han existido en los lagos privados en Missouri central y en un lago público, el lago Texoma en Oklahoma (Lorio, 1987) pero ya dejaron de operar. Estos fracasos se debieron a enfermedades, crecimiento lento y a problemas con la calidad del agua (Veenstra *et al.*, 2003). Desde comienzos de los años noventa no se conducen encuestas para determinar la producción del bagre en jaulas. Sin embargo, se estima que la producción de bagre en jaulas es de 300–500 toneladas métricas por año en América del Norte.

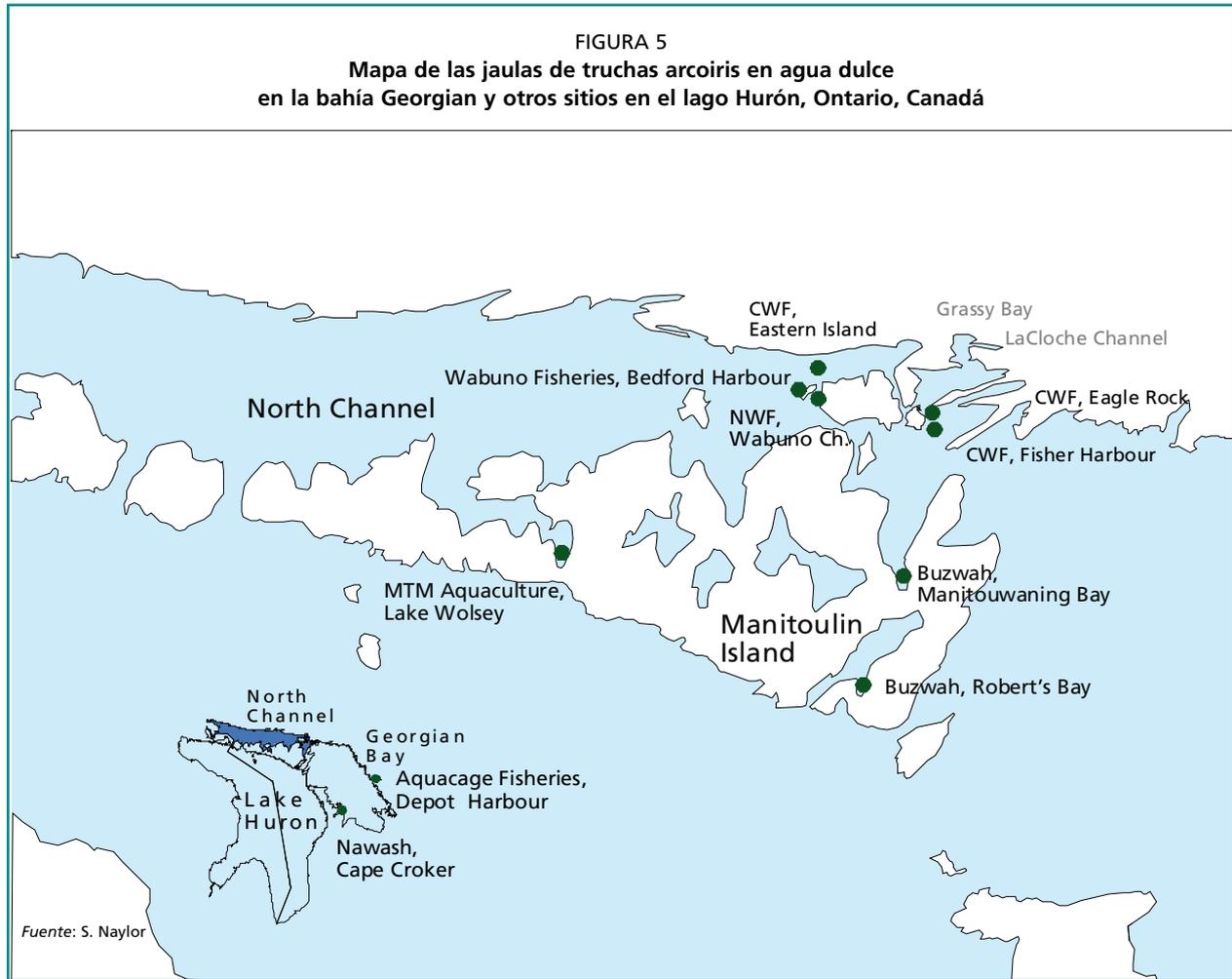
El cultivo en jaulas de la trucha arcoiris en los Estados Unidos de América es mínima comparada con el cultivo en canales. Existen algunas personas

que producen truchas en jaulas para mercados de nicho locales en el este y el alto medio oeste. En el estado de Washington en el río Columbia, 16 millas (25.75) más abajo de la represa Grand Coulee se encuentra la operación más grande de truchas enjauladas en los Estados Unidos, con un volumen total de crianza de 80 000 m³ proporcionado por numerosas jaulas grandes (1 000–6 000 m³). Su producción anual oscila entre 1 800–2 000 toneladas métricas con una producción máxima de 30 kg/m³. La densidad de siembra varía según el tamaño de los peces.

Otros intentos de cultivo en jaulas a gran escala de la trucha arcoiris y el salmón real (*Oncorhynchus tshawytscha*) fueron hechos de 1988 a 1995 en dos lagos que se formaron en minas abiertas abandonadas de hierro en el estado de Minnesota (Axler *et al.*, 1998). Estas operaciones sufrieron fuertes y emotivas oposiciones relacionadas con la contaminación percibida del acuífero regional, el cual provee agua a las comunidades vecinas y lagos recreativos. Estas operaciones se cerraron por quiebra en 1995. Uno de los motivos de la quiebra se debió a la incapacidad de cumplir con las

FIGURA 4
Jaulas de truchas arcoiris en agua dulce en la bahía Georgian del lago Hurón, Ontario, Canadá





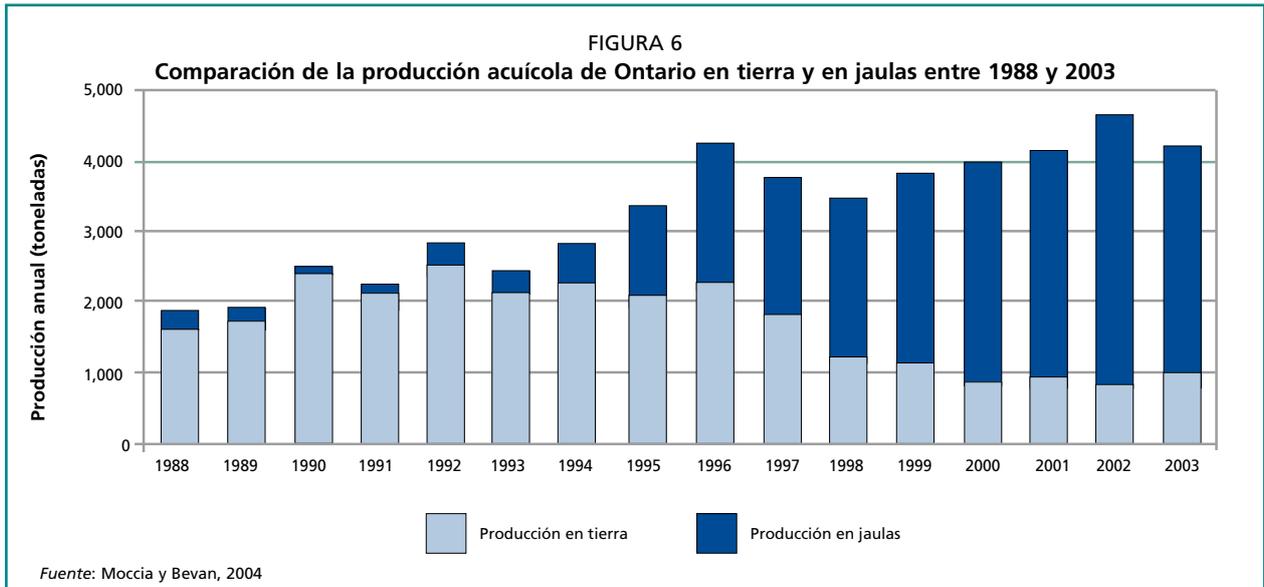
nuevas restricciones en cuanto a la calidad del agua impuestas por los oficiales estatales luego de permitir la operación. Aproximadamente 2 000 toneladas de pescado se produjeron durante los 7 años de su operación. Estudios posteriores demostraron que los lagos en las viejas minas abiertas fueron totalmente recuperados con una mínima reparación sin impactos duraderos para el acuífero (Axler *et al.*, 1998).

En Canadá, la trucha alpina (*Salvelinus alpinus*) se cultivó en Newfoundland, Nueva Escocia, en las Islas de Príncipe Eduardo y Ontario a comienzos de los años noventa (Glebe y Turner, 1993; Proc de Arctic Char, 1993). Actualmente, ninguna de estas instalaciones está produciendo la trucha alpina en jaulas. Se piensa que este fracaso se debió a una combinación de la calidad del agua, mercados limitados y a asuntos ambientales.

En Ontario, Canadá, la trucha arcoiris se cultiva en jaulas de tipo marino en la Bahía Georgian del lago Hurón (Figura 4). En esta área, el cultivo de la trucha arcoiris se inició en 1982 y se desarrolló hasta alcanzar hoy en día las 3 500 toneladas.

Actualmente, se utilizan diez sitios en la bahía y producen truchas a un tamaño promedio de mercado de 1,2–1,4 kg (Figura 5). El cultivo en jaulas en la bahía Georgian representa más del 75 por ciento del total de la producción de truchas en la provincia de Ontario (Figure 6). En 2004 el precio total a nivel de explotación fue de 17 millones de dólares EE.UU. o un valor de aproximadamente 4,00 \$EE.UU./kg (Moccia y Bevan, 2004). La granja más pequeña consiste de 6 jaulas de 15 m x 15 m con una producción de 160 000–180 000 kg/año. Las operaciones más pequeñas que estas, no son viables económicamente. Las operaciones en las granjas más grandes consisten en veinte jaulas de 15 m x 25 m con una producción de 450 000 kg/año. Para este tipo de operaciones se requieren estudios in situ, control de la calidad del agua y autorización y supervisión realizados por los oficiales del gobierno.

La Comisión de Caza y Pesca de Arkansas produce peces de tamaño capturable en jaulas para el repoblamiento de aguas públicas en tres sitios: el lago Wilhelmina, Pot Shoals y Jim Collins. Las



especies producidas incluyen el bagre del canal, bagre azul (*Ictalurus furcatus*), la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y la trucha cutthroat (*Oncorhynchus clarkii*). La producción anual es de aproximadamente 900 000 peces con un peso total de 230 toneladas. El costo anual de producción es de 2,09 \$EE.UU./kg.

Actualmente, otras especies cultivadas en jaulas de agua dulce son la perca americana (*Perca flavescens*), lubina estriada híbrida (*Morone* spp.), perca sol (*Lepomis* spp.) y tilapia (*Oreochromis* spp.). El cultivo de estas especies se limita principalmente a represas privadas para consumo personal o para su venta en menor escala en los mercados locales.



Por esa razón, existe una falta de información en cuanto a las cantidades producidas de estas especies o su valor.

Sistemas de cultivo marino en jaulas

Los sistemas de acuicultura marina en jaulas varían inmensamente en todo Canadá y Estados Unidos de América. Los criterios principales que deben considerarse al elegir un sistema de cultivo en jaulas incluyen: las características del cuerpo de agua, grado de exposición, nivel de operación, especies individualizadas, perspectivas de mercado y económicas, y si la granja debe operar en la superficie o debajo de ella. Es más, sistemas específicos de soporte periférico (como los sistemas de distribución del alimento y los anclajes y amarres) se eligen basándose en muchos de los mismos criterios pero las características del fondo, cargas ambientales anticipadas, y en algunos casos la necesidad absoluta de un diseño de sistema integrado en el cual todos los componentes individuales actúan como una sola unidad para minimizar los efectos de las cargas ambientales deberían también ser tomados en cuenta. De hecho, las operaciones de acuicultura marina situadas en las bahías costeras protegidas y fiordos tuvieron éxito en aumentar gradualmente la escala de sus operaciones junto a un aumento en sofisticación tecnológica. Sin embargo, si ocurre un cambio

hacia condiciones mar afuera, no se logrará con sólo mover al mar abierto los sistemas costeros existentes. Al contrario, el sistema entero debe ser considerado desde el principio de una manera integral para asegurar la eficacia de la operación y la seguridad del trabajador, al tiempo que se reducen los riesgos para los peces, la infraestructura de capital, el medio ambiente y otros grupos de usuarios del mar abierto.

Construcción y diseño de jaulas

En años recientes, la industria mundial de cultivo en jaulas fue testigo de un aumento repentino de diseños de novedosos sistemas de contención. A pesar de estos conceptos innovadores, las operaciones de cultivo marino en jaulas que crían especies básicas como el salmón en zonas costeras, es razonablemente uniforme a lo largo de América del Norte y el mundo. Casi todas estas jaulas pueden ser clasificadas como jaulas tipo «gravedad» según el esquema de clasificación propuesta por Loverich y Gace (1998).

En América del Norte estas jaulas tienen una estructura superficial tipo collar desde la cual se sostiene y cuelga una red en la columna de agua (Figura 7). Estos collares se construyen generalmente de acero o de polietileno de alta densidad (PEAD) en los sistemas de acuicultura costeros en Canadá y Estados Unidos de América. Se prefiere el uso

FIGURA 8
Sistema típico de anclaje y amarre de enrejados sumergidos cerca de la costa
manteniendo múltiples jaulas dentro de una flotilla

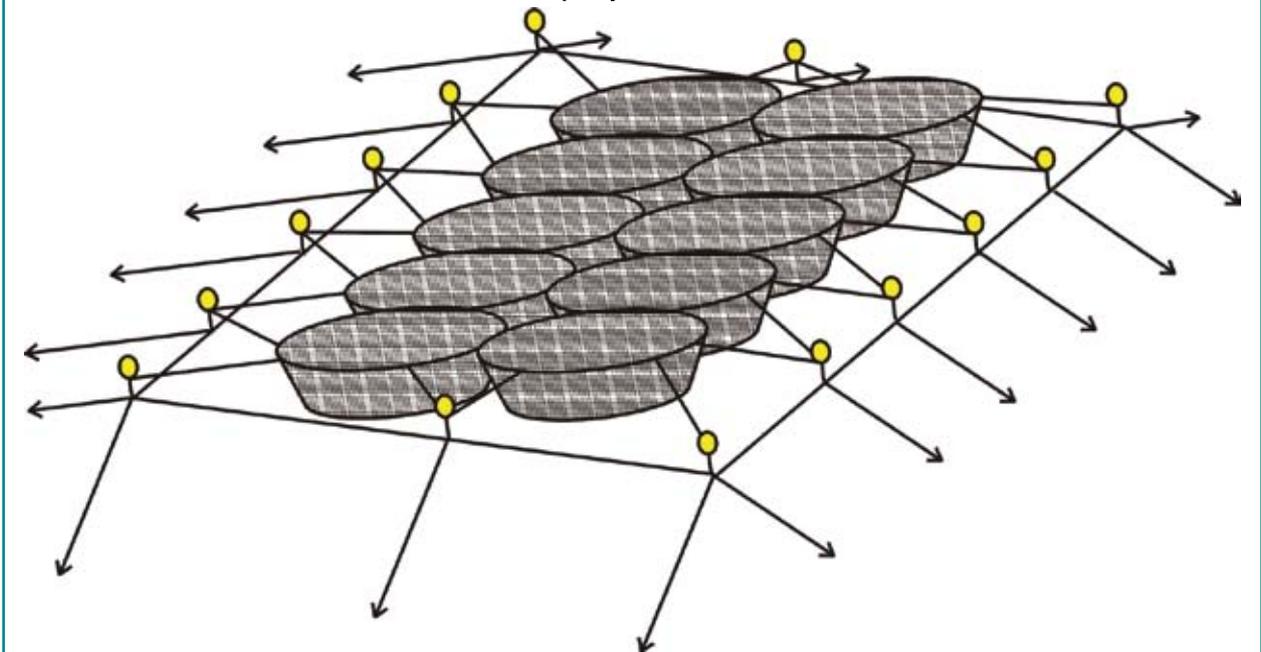


FIGURA 9
Comparación de las jaulas estándares de collares de acero estacionadas en la superficie y el sistema SEA



CORTESÍA DE C. J. BRIDGER

de PEAD en las operaciones del Canadá atlántico debido a los reducidos costos de capital asociados con el uso de este material y al hecho que los collares de PEAD se consideran conformadores de ondas (es decir, se doblan lo necesario al según la energía de las olas en lugar de quedarse rígidos). Entre unidades de jaulas conectadas se engoznan collares de acero para permitir el ajuste a las olas.

Los collares de acero ofrecen también una plataforma de trabajo estable al proveer pasillos a los costados que los trabajadores pueden usar como depósito para alimentos y equipos y como una plataforma estable para manejar las operaciones de la granja. Este no es el caso de las jaulas de collar de PEAD en donde dos anillos de flotación se encuentran en la superficie del agua. Las jaulas de PEAD no son seguras para ser usadas por los trabajadores y no están diseñadas para el depósito y por ello requieren el uso separado de barcasas en su lugar.

Las redes se cuelgan normalmente del anillo de plástico interno o de la porción interna de las pasarelas de las jaulas de acero mientras que las redes antipredadores podrían colgarse desde

el anillo de plástico externo en los collares de PEAD o desde la porción externa de las pasarelas de las jaulas de acero. Las jaulas de gravedad no tienen redes rígidas y ocurre embolsamiento en los momentos de altas corrientes de mareas y por ello disminuye el volumen útil de las jaulas. De hecho, Aarsnes *et al.* (1990) observó que hasta un 80 por ciento del volumen esperado para crianza en las jaulas de superficie con collar podría perderse en corrientes de 1 m/seg (aproximadamente dos nudos). Este problema generalmente se minimiza agregando pesos a la porción inferior de la red a intervalos frecuentes para reducir la deformación de la red. Recientemente, se ha logrado eliminar el embolsamiento emplazando un tubo de plomo desde el collar superficial y atado a la porción inferior de la red para mantener la forma general y el volumen de la jaula.

Las jaulas marinas son amarradas como un grupo, o flotilla, normalmente con sistemas de anclaje dentro de enrejados sumergidos (Figura 8). Estos enrejados frecuentemente proveen más de ocho líneas de amarre conectadas a cada jaula para mantener su posición dentro del reticulado.

FIGURA 10
Una jaula Ocean Spar Sea Station emplazada en mar abierto
en el Golfo de México adyacente a una plataforma de producción de gas



CORTESÍA DE T. REID

Las jaulas para cultivo de salmón tienen un gran volumen para crianza y por ello proveen un excelente retorno de inversión. Por ejemplo, una jaula más pequeña de PEAD estacionada en la superficie puede tener unos 100 m de circunferencia con una profundidad neta de 11,21 m y por lo tanto, provee un total de 8 925 m³ de volumen para crianza. Una jaula más grande de estructura similar con unos 120 m de circunferencia y una profundidad neta de 20 m suministrará un volumen total para crianza de 22 921 m³. Suponiendo como meta final una densidad de crianza de 15 y 18 kg/ m³ estos volúmenes mantendrán 133 875 kg (133 toneladas métricas) y 412 578 kg (412 toneladas métricas) de salmón por jaula, respectivamente.

En la Columbia Británica, la industria acuícola de salmón es objeto de constantes campañas de ONG ambientalistas en contra del cultivo de salmón. Sus esfuerzos han reprimido la expansión de la industria en los últimos años, mientras que los científicos gubernamentales han estudiado la crianza del salmón y su impacto ambiental para desarrollar políticas basadas en la ciencia como una manera de dar un paso hacia adelante. Mientras que la ciencia

advierte que las granjas de salmón, administradas responsablemente, tienen un limitado impacto negativo en el medio ambiente oceánico, una compañía ha estado desarrollando un diseño original de jaulas que podría eliminar considerablemente cualquier riesgo que tuviera consecuencias dañinas para el ambiente. La sociedad «Tecnologías Futuras de la Acuicultura de Ambiente Sostenible (Future Sustained Environment Aquaculture, SEA)» fue fundada en 1994 para desarrollar un sistema tipo «SEA» encerrado y hermético, que se abastece a los peces con agua bombeada de lugares óptimos, incluyendo aguas profundas, para regular la temperatura, niveles de oxígeno y la calidad general del agua, a la vez que se incrementa la capacidad de manejo de desechos y se minimiza el escape de peces (Figura 9; [http:// futuresea.com](http://futuresea.com)). En 2001, la compañía Marine Harvest Canadá inició estudios para comparar el sistema SEA con los sistemas convencionales de jaulas de acero dentro del marco de las políticas de acuicultura de salmón en la Columbia Británica. Durante el período de 14 meses de prueba, el sistema SEA actuó muy bien y a la altura de las jaulas convencionales de acero en

cuanto a la supervivencia, conversión del alimento y salud general de los peces (Hatfield Consultants Ltd, 2002). Sin embargo, el SEA no funcionó muy bien económicamente, tuvo un costo a nivel de explotación de un 29 por ciento más alto comparado con los sistemas convencionales de jaulas de acero. Este incremento se tradujo en una diferencia de 0,85 \$EE.UU./kg al momento de la cosecha.

Numerosos diseños de jaulas se han propuesto y utilizado en condiciones de mar abierto en Norte América. Actualmente, el sistema predominante de jaulas en los Estados Unidos de América es la jaula Ocean Spar Sea Station (Figure 10; <http://www.oceanspar.com>). La Sea Station es una jaula de auto tensión alrededor de una sola boya cilíndrica central (Loverich and Goudey, 1996). Descripciones detalladas de la jaula Ocean Spar Sea Station se puede encontrar en Tsukrov *et al.* (2000) y Bridger y Costa-Pierce (2002). Las jaulas experimentales usadas en el Golfo de México (Bridger, 2004) y Nueva Hampshire (Chambers *et al.*, 2003) proveen un volumen de 595 m³. Se han diseñado jaulas Sea Station con un volumen de hasta 35 000 m³ (Loverich y Goudey, 1996) aunque las más grandes usadas comercialmente hasta el momento proporcionan un volumen interno de 3 000 m³ (Ostrowski y Helsley, 2003; O'Hanlon *et al.*, 2003), pero recientemente Ocean Spar introdujo al mercado una jaula de 5 400 m³. Todas las jaulas de Ocean Spar Sea Station se emplean por debajo de la superficie del agua en los Estados Unidos de América. Las operaciones sumergidas en sitios de alta energía en el mar abierto parecen evitar o por lo menos minimizar las cargas ambientales que se sufren en la superficie. En la superficie, las partículas del agua rotan con un diámetro igual a la altura de las olas y por ello entregan la mayor cantidad de energía de la ola. Esta rotación disminuye con el aumento de la profundidad reduciendo así la carga ambiental que afecta las estructuras acuícolas que operan debajo del agua. Tsukrov *et al.* (2000) justifica este punto al informar que la tensión de la línea de amarre es de 60 por ciento menor en las jaulas sumergidas si se la compara con las posiciones de la superficie bajo idénticas cargas ambientales. Igualmente importante es la capacidad de las operaciones sumergidas para minimizar los efectos oceanográficos sobre los peces contenidos en la jaula. Sin embargo, los beneficios asociados con las operaciones sumergidas han sido obtenidos a un precio alto, dada la falta de opciones comprobadas de gestión y de soluciones «llave en mano». Numerosas operaciones de granjas necesitarán estar automatizadas para minimizar la

dependencia del buceo para realizar este tipo de tareas. Hasta que se alcance dicha automatización, las operaciones sumergidas no tendrán otra opción que seguir operando en pequeña escala y dependiendo de los buzos, para brindar seguridad y eficacia en las opciones de gestión de las granjas.

Otro ejemplo innovador es el Grupo de Ingeniería acuícola en Nuevo Brunswick, Canadá (<http://www.aquaengineering.ca>). Esta compañía desarrolló una configuración swing site que también utiliza un deflector de corrientes para reducir las condiciones oceanográficas que se experimentan en el lugar. La clave del diseño del sistema es el uso continuado de las jaulas convencionales estacionadas en la superficie y ampliamente aceptado en la industria del cultivo de salmón.

El inventario y mantenimiento de registros son cruciales para una óptima práctica piscícola. Se requiere mantener un registro con el número de mortalidades sacadas de las jaulas y estimaciones frecuentes de crecimiento (y la biomasa calculada) con el fin de calcular las tasas de alimentación, determinando la cantidad de medicación que se debe suministrar cuando sea necesario y para planificar el programa de producción y cosecha. En las operaciones menos sofisticadas, se extrae de la jaula una muestra tomada al azar de la población entera a intervalos significativos de tiempo (mensualmente), anestesiando y pesando los peces para obtener datos de crecimiento.

Las granjas más avanzadas tecnológicamente no perturban activamente a los peces, para reducir el estrés. Alternativamente, se emplean tecnologías de clasificación del tamaño de los peces que utilizan video o análisis acústico de imagen que miden individualmente a los peces sin disturbarlos físicamente.

Especies y sistemas de cultivo

El salmón del Atlántico (*Salmo salar*) es la especie elegida en las operaciones de cultivo en jaulas marinas en América del Norte. Esta especie es nativa del Océano Atlántico pero una gran cantidad de salmón del Atlántico es criada en granjas a lo largo de la costa del Pacífico de Canadá.

Otras especies de salmónidos que se crían en jaulas marinas son el salmón real (*Oncorhynchus tshawytscha*), el coho (*Oncorhynchus kisutch*) y la trucha steelhead (*Oncorhynchus mykiss*). En particular, el salmón del Atlántico es criado en tan grandes volúmenes que se ha convertido en un producto básico. Si bien estas son buenas noticias para el consumidor que intenta comprar productos

marinos sanos, nutritivos y accesibles, ello reduce bastante la rentabilidad de las operaciones de cultivo de salmón. Dada la realidad dentro de la cual operan, muchas empresas cultivadoras de salmón han empleado una cantidad importante de tiempo e inversión en la diversificación de especies, para ofrecer al consumidor una mayor gama de productos y reducir los riesgos asociados con la producción de una sola especie.

Las especies candidatas para los productores de salmón incluyen el bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*) y el eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*) en el Océano Atlántico y el bacalao negro (*Anoplopoma fimbria*) en el Océano Pacífico.

Los Estados Unidos de América posee un medio ambiente diverso donde vive una amplia variedad de especies candidatas para la acuicultura. En Nueva Inglaterra, muchas de las especies candidatas son las mismas que aquellas que están siendo estudiadas por su potencial acuícola por los productores de salmón.

A lo largo de la costa atlántica de los Estados Unidos y el Golfo de México existe una lista de especies candidatas para la acuicultura, que abarca: la cobia (*Rachycentron canadum*), el pez de limón (*Seriola dumerili*), el pargo rubí (*Lutjanus campechanus*) y el corvinón ocelado (*Sciaenops ocellatus*).

En el lado Pacífico de los Estados Unidos (incluyendo Hawai) se encuentran también buenos postulantes para el engorde que incluyen el barbudo del Pacífico (*Polydactylus sexfilis*) y huayaipe (*Seriola rivoliana*).

ASUNTOS REGIONALES

Cultivo en jaulas en agua dulce

Los asuntos que impactan negativamente a los productores de jaulas en pequeña escala son:

- 1) falta de acceso o acceso limitado a grandes fuentes de agua (es decir, se excluyen las fuentes de agua pública);
- 2) altos precios de los alevines y alimentos debido al bajo número de operaciones y a la ubicación lejana de las áreas tradicionales de acuicultura;
- 3) falta de infraestructura de procesamiento y mercado; y
- 4) enfermedades.

Si bien se dispone de alevines de buena calidad y alimentos comerciales, normalmente el costo de transporte y las pequeñas cantidades que se necesitan hacen aumentar los costos de producción muy por sobre lo que se paga a los productores comerciales más grandes que usan canales o estanques.

El encontrar y servir nichos de mercados locales es también difícil para los productores de pequeña escala debido a sus limitados recursos físicos y financieros y/o a su falta de experiencia comercial. A pesar de que las cooperativas y asociaciones han intentado comprar al por mayor y vender a grandes compradores, no han tenido éxito, probablemente debido a los mayores costos de producción y por lo tanto, a los mayores precios de venta.

No se han asociado problemas ambientales con las jaulas en agua dulce de represas privadas. La calidad del agua asociada, los escapes y otros impactos ecológicos son contenidos dentro de la represa. Las represas privadas tienen generalmente múltiples usos, que incluyen la recreación y el uso como abrevaderos del ganado, prácticamente nunca se desaguan y normalmente sólo descargan agua durante la temporada lluvias invernales. Es por eso que existen escasos conflictos con las prácticas de cultivo en jaulas. La mayoría de las especies cultivadas son especies nativas, con excepción de la tilapia. La producción de tilapia en jaulas se limita a ciertos estados (por ejemplo Tejas y Louisiana). La mayoría de los estados no tienen restricción alguna al cultivo de tilapia ya que ellas no sobrevivirán los inviernos de América del Norte.

Las grandes operaciones en jaulas de trucha arcoiris en aguas públicas de las provincias de Ontario y Washington han pasado por un extenso proceso de licencias y son monitoreadas regularmente para supervisar la calidad del agua y otras cuestiones relativas al impacto ambiental. El dueño de la operación en Washington piensa haber invertido unos 1,5 millones de dólares EE.UU. para armar y licenciar su granja (Swecker, comunicación personal). Los asuntos relativos a la ubicación del sitio, las percepciones públicas, los costos de licencias, la participación de ONG ambientalistas en las autorizaciones y el diálogo público negativo y la ausencia de políticas claras y marcos legales de licencia en la mayoría de los Estados Unidos, continúan entorpeciendo el desarrollo del cultivo en jaulas en las aguas públicas. Se estima que el proceso de licencias en Ontario requeriría de uno a dos años y un costo alrededor de 60 000 \$EE.UU. Este monto es principalmente para el estudio de evaluación del sitio, indispensable para obtener el permiso. El proceso involucra varios ministerios federales y provinciales y varias leyes (Moccia y Bevan, 2000). Las objeciones o conflictos con los dueños de propiedades costeras (NIMBY= síndrome de «no en mi patio trasero») aparecen como el problema más grave al que se enfrentan

los empresarios de cultivo en jaulas que intentan obtener las licencias. Por eso, los lugares en donde han tenido o pueden obtener licencias en aguas dulces de América del Norte son escasos y su expansión futura es limitada.

Cultivo en jaulas marinas

Las operaciones de cultivo en jaulas marinas están establecidas en varias áreas de América del Norte. Sin embargo, la producción total de estas operaciones es más bien limitada si se compara con el crecimiento potencial y anticipado en la siguiente década. Se necesitaría tratar varios asuntos limitantes antes de que la promesa de varios sectores industriales involucrados se haga realidad.

Los sistemas de cultivo en jaulas marinas utilizados en las bahías protegidas y fiordos son ampliamente conocidos. Sin embargo, tanto en Canadá como en los Estados Unidos de América la industria tiende a una expansión a las condiciones más expuesta del mar abierto donde experimenten menos conflictos humanos. Las operaciones y tecnologías de la acuicultura costera no serán capaces simplemente de cambiarse a estos nuevos ambientes de alta energía y garantizar la continua seguridad a los trabajadores y la operación eficiente de las granjas.

Durante la década pasada se ha desarrollado una novedosa tecnología de acuicultura en alta mar para cubrir las necesidades de ese nuevo sector de cultivo en jaulas. Sin embargo, todavía hace falta un mayor desarrollo tecnológico. Una de las necesidades críticas para el desarrollo es la automatización de las operaciones de la granja. Una automatización confiable deberá asegurar como mínimo que los peces sean alimentados efectivamente durante condiciones climáticas extremas, pero también será importante para otras tareas de la granja como la clasificación de los peces, la limpieza de las redes, la remoción de la mortalidad, el control de la salud de los peces y las inspecciones de jaulas/amarres. Los alimentadores de peces podrían también incorporar tecnología para la comunicación a larga distancia y mejorar así el control por parte de los gerentes del lugar. La adopción de estas tecnologías asegurará que las visitas al lugar sean sólo necesarias para el mantenimiento general y la entrega de alimento cuando las condiciones sean seguras.

Aspectos sociales

La expansión de la industria de cultivo en jaulas marinas requerirá el acceso a espacios adicionales para los sitios. Este aspecto es bastante diferente a

los cultivos en jaulas de agua dulce que se llevan a cabo en propiedad privada. En la acuicultura marina, las operaciones están situadas en el océano –un recurso que se ha considera siempre de propiedad común. Las compañías de cultivo marino en jaulas tendrán que llevar a cabo sus negocios de tal manera que el público se mantenga informado todo el tiempo. Esto no significa que la contabilidad de las compañías debe estar abierta al escrutinio público. Sin embargo, los planes de la industria para una región o costa deben ser discutidos dentro de foros públicos abiertos para asegurar que las preocupaciones públicas sean tomadas en cuenta en cada etapa de la expansión. Además, se debería desarrollar planes integrados de adecuada gestión de la zona costera. Se debería elegir áreas apropiadas para la acuicultura que al mismo tiempo minimicen la interacción entre los usos tradicionales del medio ambiente marino, incluyendo pesca de captura, turismo, derechos de los propietarios de tierras, transporte, industrias extractivas y las áreas que reciben visitas frecuentes de mamíferos marinos. Un ejemplo excelente de este tipo de práctica fue publicado recientemente en relación con la expansión de la industria cultivadora del salmón en la bahía de Fundy (Chang *et al.*, 2005).

La acuicultura marina ofrece también una excelente oportunidad para sostener a las comunidades costeras que actualmente dependen de las pesquerías comerciales sobre explotadas. Muchos de estos pescadores de peces silvestres representan mano de obra altamente entrenada con amplios conocimientos en materia de océanos, manejo de botes, arreglo y mantención de redes, pesca y control de calidad, que las compañías acuícolas pueden adaptar a sus propias operaciones. En estos casos, estos pescadores requerirán un entrenamiento básico relacionado con las operaciones básicas de la granja y la gestión de salud de los peces. En Newfoundland y Labrador, varios pescadores de bacalao en el Atlántico se convirtieron en acuicultores de engorde de bacalao luego del colapso en el norte de las poblaciones de peces de fondo (estas operaciones incluyeron la captura de pequeños bacalaos vivos para luego engordarlos en jaulas en el mar antes de ser cosechados para el mercado). En su mayor parte, estas operaciones han dejado de existir debido al escaso acceso a los bacalaos pequeños en toda la provincia. Sin embargo, este período experimental demostró que, si existe la oportunidad, los pescadores de especies silvestres pueden adaptarse fácilmente a las necesidades de las empresas acuícolas.

Además de emplear a estos pescadores, cualquier región que esté desarrollando un sector acuícola en alta mar se llevará los beneficios económicos ligados con la producción y venta de los peces criados en jaulas marinas. Recientes estudios económicos concluyeron que una operación de cultivo que emplea directamente sólo a siete personas para la producción en el mar abierto, proveerá un rendimiento económico adicional anual en la región de por lo menos 9 millones de dólares EE.UU. y proveerá empleo adicional para por lo menos 262 personas, relacionadas con el procesamiento, producción de alimentos, distribución, etc. (Posadas y Bridger, 2004). Estas conclusiones deben hacerse llegar a los encargados de la formulación de políticas locales para asegurar que las comunidades costeras que se encuentran devastadas por el colapso de la pesca silvestre, tengan una nueva fuente sostenible de ingresos para las futuras generaciones.

La industria acuícola debe volverse más proactiva para delinear la percepción pública de su industria. Actualmente, las organizaciones no gubernamentales (ONG) ambientalistas están ganando el apoyo del público en varios frentes. La industria acuícola debe apoyarse en información científica para ganar el apoyo del público, resistiéndose a participar del juego habitual de las ONG ambientalistas, que incluye el uso de información alterada, obsoleta y engañosa con respecto a la acuicultura y sus prácticas. Un aumento de la confianza pública abrirá las puertas a mercados complementarios para productos cultivados en granjas y potencialmente permitirá la expansión de la industria a nuevos lugares que en la actualidad están siendo debatidos.

Mercados y economía

La consolidación de la industria acuícola es un fenómeno global al tiempo que compañías multinacionales buscan economías de escala apropiadas a través de su entera cadena de producción y suministros. Esto les permite el acceso a una mayor cuota de mercado en el competitivo mercado global de productos del mar. En Canadá, actualmente la consolidación de la industria está más acentuada en la costa del Atlántico (la costa del Pacífico experimentó también varias rondas de consolidación de la industria en el pasado). Aquí, una compañía local acuícola de salmón ha sido exitosa en la consolidación de la industria en Nuevo Brunswick y Maine al tiempo que expandía sus operaciones al desarrollo de nuevos sitios en Nueva Escocia, Newfoundland y Labrador. Dicha consolidación de la industria resultará sin lugar

a dudas en una mayor eficiencia pero también en pérdidas de trabajo a nivel local. Sin embargo, este grado de consolidación asegurará asimismo un mayor grado de control sobre la cadena entera de producción de la compañía mientras gana acceso adicional a su mercado principal en Nueva Inglaterra.

Los Estados Unidos de América representan el principal mercado de exportación para los productos de la acuicultura canadienses. En Canadá, las compañías acuícolas son concientes de ello. Una encuesta reciente de firmas acuícola en la Columbia Británica, ha destacado la proximidad a los mercados y el tipo de cambio entre el dólar estadounidense y canadiense como los dos principales factores de negocios de entre los 35 que fueron considerados (PricewaterhouseCoopers, 2003). El tener un acceso directo al mercado estadounidense beneficia enormemente a la industria acuícola canadiense. Sin embargo, esta dependencia también expone a la industria acuícola canadiense a los caprichos de factores internacionales como las fluctuaciones en el tipo de cambio. El dólar canadiense se ha sobrevalorado constantemente con respecto al dólar estadounidense en los últimos cuatro años – en 2002 el tipo de cambio fue en promedio de 1,57 pero recayó a un 1,21 en 2005. Este tipo de apreciación es substancial y representa una pérdida neta de 36 centavos por cada dólar de ventas entre 2002 y 2005. Esta pérdida hace disminuir drásticamente las ganancias de la industria en ausencia de un incremento en el precio del mercado, producción y economía de escala o eficiencia.

Aspectos ecológicos y ambientales

Los operadores de la acuicultura deben actuar como gerentes profesionales ambientales, para asegurar un ambiente libre de contaminación donde criar peces y obtener ganancias. Sin un abastecimiento de agua consistente y limpia, el producto que se cultiva estaría expuesto a estrés resultando en bajos índices de crecimiento y eventual alta mortalidad. Los potenciales impactos ambientales asociados con las operaciones marinas de cultivo en jaulas pueden clasificarse en cuatro categorías generales:

1. *Impactos bentónicos y en la columna de agua* – Los impactos sobre el bentos y la columna de agua están asociados frecuentemente con una mala selección del lugar, decisiones administrativas, sobreproducción, o una combinación de las tres. Estos efectos son reversibles y pueden ser mitigados con un cuidadoso manejo de la granja y adaptando una política de descanso de los

sitios entre ciclos sucesivos de engorde (McGhie *et al.*, 2000).

2. *Impactos sobre la frecuencia de floraciones de algas peligrosas* – Las actividades de cultivo de peces resultarán en un incremento de nutrientes en los ambientes aledaños. Sin embargo, la mayoría de los estudios han concluido que las actividades acuícolas situadas en lugares preferidos no han resultado en un aumento de especies de fitoplancton (Parsons *et al.*, 1990; Pridmore y Rutherford, 1992; Taylor, 1993). De hecho, Arzul *et al.* (2001) informó sobre un crecimiento de fitoplancton inhibido en presencia de excreciones de especies seleccionadas de peces (lubina y salmón). Estos resultados estuvieron en total contraste con la excreción de especies de mariscos (ostras y mejillones), las cuales estimularon las tasas de crecimiento de fitoplancton.
3. *Impactos sobre los mamíferos marinos locales y migratorios* – A diferencia de los aparejos de pesca, el enredo de los mamíferos marinos en los aparejos de acuicultura no ha sido documentado con frecuencia y por ello representa una preocupación menor para los operadores en acuicultura. Sin embargo, cuando tales interacciones ocurren, los costos tanto para el sitio de acuicultura (pérdida de peces y percepción pública negativa) como para el mamífero marino en cuestión tienden a ser grandes. La industria acuícola debe hacer todo lo posible para evitar dichos incidentes.
4. *Escapes e implicaciones para las poblaciones silvestres* – Las compañías acuícolas sólo pueden mantenerse en el negocio si logran retener sus peces hasta la venta. El enfoque más lógico para mitigar los impactos que acarrear los escapes de peces en la acuicultura, es la prevención. Myrick (2002) examinó los escapes de especies cultivadas en general mientras que Bridger y Garber (2002) analizaron específicamente la ocurrencia de escapes de salmónidos, las implicaciones y las soluciones para mitigarlos. En los casos de escape, se ha observado que los salmónidos fugitivos – especialmente las truchas steelhead – permanecen en las inmediaciones de las jaulas y despliegan un comportamiento de homing en las instalaciones acuícolas si los escapes se produjeron lejos de los sitios acuícolas establecidos (Bridger *et al.*, 2001). Estos resultados indican un riesgo más bajo para las poblaciones silvestres que el anunciado por las ONG. Es más, sería factible desarrollar estrategias de recaptura para el

retorno de los fugitivos a las jaulas, para un crecimiento adicional y una disminución de las pérdidas económicas.

Políticas y marco legal

Las políticas y marcos legales relacionados con la acuicultura marina en jaulas difieren inmensamente según la jurisdicción específica que se trate. En Canadá, tanto los niveles de gobierno federal como provincial participan en el desarrollo y supervisión, para que la industria acuícola tenga las condiciones necesarias para expandirse mientras esté manejada de una manera ambiental y socialmente responsable. En reconocimiento a esta labor conjunta, los ministros canadienses de pesca y acuicultura (nacional y provincial) acordaron una cooperación interjurisdiccional y la creación de un plan de acción para la acuicultura canadiense, que compromete a ambos niveles gubernamentales para mejorar el marco reglamentario, fortalecer la competitividad de la industria y aumentar la confianza pública en la industria y el gobierno.

En casi todos los casos, los departamentos provinciales han asumido la responsabilidad de asignar los sitios para la acuicultura en los océanos a través de memorandos de entendimiento federal-provincial. Muchos departamentos provinciales han creado planes de manejo de las bahías y sistemas de manejo de una sola clase anual (es decir, una generación de peces en un sitio por vez) con el fin de mejorar el control de salud de los peces y la calidad ambiental.

En los Estados Unidos de América, hasta el momento toda la acuicultura marina en jaulas se lleva a cabo dentro de aguas estatales específicas. Los estados manejan la industria acuícola individualmente, lo que resulta en ciertas inconsistencias entre los estados. La «acuicultura en mar abierto» es un término legal en los Estados Unidos, que se refiere a las operaciones acuícolas situadas en las aguas federales de los Estados Unidos de América. Las aguas federales representan la extensión de océano existente fuera de las aguas estatales dentro de la zona económica exclusiva de los Estados Unidos, que normalmente ocurre 3 millas (4,8 km) más afuera de la tierra controlada por el estado (incluyendo islas) hasta las 200 millas (321,8 km) mar afuera. El marco de la política existente para la acuicultura en las aguas federales de los Estados Unidos de América ha sido citado frecuentemente como la principal razón de la falta de desarrollo de la industria. El 8 de Junio de 2005 los Co-presidentes del Comité de Comercio del

Senado introdujeron la S. 1195, correspondiente al Acta Nacional de Acuicultura en Mar Abierto de 2005, para:

«...invertir a la Secretaria de Comercio con la autoridad necesaria para el establecimiento e implementación de un sistema reglamentario para la acuicultura en mar abierto en la zona económica exclusiva de los Estados Unidos y para otros propósitos».

La introducción de esta ley representa el primero de muchos pasos importantes necesarios para el establecimiento de la acuicultura en las aguas federales de los Estados Unidos de América. Luego de la adopción, el Departamento de Comercio tendrá autoridad para establecer las regulaciones necesarias para dirigir una industria acuícola en el mar abierto. Este proceso necesitará muchos años, varios períodos de opiniones públicas y revisiones, antes de su finalización.

EL CAMINO A SEGUIR

La importancia de los mercados no puede ser sobre enfatizada. Como se discutió anteriormente, Canadá tiene a Estados Unidos de América como

su principal mercado de exportación. Muchos otros países también exportan fuertemente a los Estados Unidos de América y Canadá, por lo que se espera que el desarrollo internacional y la competencia impulsen los mercados de productos del mar en los países desarrollados. Muchos asuntos de «comercio desleal» ya han salido a luz con las importaciones de productos del mar a los Estados Unidos de América. Estos indudablemente aumentarán en el futuro ya que la competencia y las condiciones para un esperado «campo de juego justo» se debatirán en las arenas políticas.

Los Estados Unidos de América, probablemente más que Canadá o la mayoría de otros países, ha tenido una fuerte oposición al cultivo en jaulas tanto en aguas públicas dulces como aquellas cercanas a la costa. Por lo tanto, como se discutió anteriormente, los acuicultores deberán asumir un papel más proactivo para comprometerse con el público y contrarrestar las acusaciones infundadas de las ONG ambientalistas. Ellos deben ganarse la confianza del público y trabajar conjuntamente con los legisladores y oficiales públicos, demandando

FIGURA 11

Un piscicultor alimentando manualmente a peces en jaulas basadas en la superficie. Las operaciones manuales son populares en los sitios más pequeños que no requieren automatización para alcanzar economías de escala



estudios científicos y políticas con bases científicas para su desarrollo futuro.

En los Estados Unidos de América, las expectativas de utilizar fuentes públicas de agua dulce para el cultivo en jaulas son remotas. La mayoría de las agencias estatales de recursos naturales de los Estados Unidos, que regulan el acceso a los cuerpos de aguas públicas, no tienen deseo ni presión pública/política para promover el cultivo en jaulas en aguas públicas.

Parece que la expansión de la acuicultura en jaulas en los Estados Unidos de América involucrará sólo a jaulas en mar abierto. Actualmente, los nuevos accesos a la acuicultura en mar abierto están limitados en muchas jurisdicciones y la especie de elección generalmente tiene competencia limitada con las capturas silvestres dejando, de ese modo, lugar a una demanda excelente de productos cultivados. En algún momento estos beneficios directos para quienes ingresan temprano al negocio disminuirán al constituirse las especies candidatas en productos básicos y los mercados establecidos se desborden. Los operadores que utilizan muchos de los sistemas existentes o propuestos para acuicultura en jaulas en mar abierto podrían experimentar dificultades económicas al criar especies que constituyen productos básicos, debido al volumen limitado de crecimiento con los diseños de nuevas jaulas y a los costos elevados de desembolso de capital. Esos acuicultores deberán volverse más eficientes en sus operaciones de granja o usar tecnologías de jaulas más costo-efectivas para que sean rentables. Los fabricantes de jaulas deberán diseñar y proveer sistemas que tengan menor costo por unidad de volumen. Algunas compañías están ya considerando estas posibilidades.

Otros sistemas periféricos de apoyo son críticamente importantes para las operaciones costeras de cultivo en jaulas marinas, de lo más importante por ejemplo son los sistemas de entrega del alimento. Las operaciones de cultivo marino en jaulas en América del Norte son todas intensivas, es decir, requieren que se suministre alimento. Sin embargo, sólo unos pocos peces son alimentados manualmente (Figure 11).

Las operaciones cercanas a la costa han alcanzado una escala tal que requieren minimizar los costos de labor manual. En tales casos, existen embarcaciones que transportan el alimento al sitio (ya sea en cantidades cotidianas o una cantidad suficiente para varios días que se almacenan en barcasas o en balsas ancladas en el sitio) y se usan impulsores de aire a bordo para distribuir el alimento a cada

jaula, normalmente dos veces al día. La mayoría de la industria ha adoptado sistemas de cámaras para entregar el alimento de manera eficiente, controlando el exceso del mismo (por ejemplo monitoreando el alimento que cae entre los peces o los cambios de comportamiento de los peces). Los sitios más grandes han aumentado su capacidad de alimentación a través del establecimiento de barcasas cónicas o de silos que almacenan grandes cantidades de alimento y utilizan una tecnología de alimentación computarizada y centralizada para proveer individualmente a las jaulas las cantidades asignadas de alimento. Las barcasas de alimento se amarran en el lugar ya sea utilizando sus propios sistemas independientes de anclaje o integradas dentro del sistema de anclaje de la flotilla de jaulas.

Muchos de los nuevos diseños de jaulas de mar abierto no han desarrollado simultáneamente sistemas efectivos de entrega del alimento. En algunos casos, la alimentación se efectúa desde un bote a través de una manguera de alimentación que se extiende hasta la jaula. Para otros sitios, las barcasas de alimentación han sido modificadas para ajustarlas a las condiciones de mar abierto. Finalmente, se han construido y probado boyas de alimentación de tipo espeque para su uso en ambientes de alta energía. Independiente del concepto final, todos los expertos de la industria aceptan que la entrega de alimentos basada en embarcaciones es una estrategia de corto plazo y que se deberían adoptar sistemas de almacenamiento y entrega de alimento en el sitio, para la expansión de la industria.

Las operaciones acuícolas en mar abierto deben llegar a depender de tecnologías que midan los peces utilizando análisis de imágenes de video o acústico, para clasificar a los peces individualmente sin molestarlos físicamente. Ello también debe minimizar la cantidad de tiempo que se invierte en el sitio, clasificando peces cuando se deberían realizar otras labores más urgentes durante los limitados períodos de buen tiempo.

Un beneficio adicional de utilizar tecnología de video en los sitios de mar abierto sería el uso potencial de esas mismas imágenes para observar la salud de los peces. En estos casos, las imágenes de video deberían ser analizadas para detectar la presencia de signos anatómicos indicativos de problemas de salud en los peces y que alistarían al veterinario de la industria antes de la visita al sitio y potencialmente resolver ciertos problemas antes que se vuelvan inmanejables, sin mayores consecuencias económicas. Idealmente, los mismos datos de video se podrían utilizar para la administración del

alimento, la clasificación de tamaños y el manejo de la salud de los peces y de ese modo disminuir la inversión requerida en tecnología.

La calidad y seguridad del alimento son cuestiones de suma importancia para los consumidores norteamericanos. Las ONG ambientalistas han acusado a los acuicultores de usar químicos ilegales y han presionado a las agencias reguladoras para aumentar las medidas de control en los productos del mar. Esta tendencia continuará y corresponde a los productores de cultivos en jaulas de América del Norte desarrollar, auto-imponerse y adherir a las normas estrictas de garantía de calidad. La industria y los investigadores necesitan trabajar juntos para desarrollar sistemas nuevos y no químicos para tratar los problemas de salud de los peces. Finalmente, se necesita desarrollar y establecer legalmente criterios orgánicos acuícolas en los Estados Unidos para que los productores locales puedan beneficiarse de esos nichos de mercados altamente lucrativos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cultivo en jaulas en América del Norte podría estar al borde de una rápida expansión si se cambian

las políticas actuales y se continúa desarrollando reformas reguladoras. En la última década, particularmente Canadá, ha hecho progresos significativos hacia el mejoramiento del marco regulatorio y la percepción pública de la acuicultura en jaulas.

La acuicultura marina en jaulas en los Estados Unidos de América está por detrás de Canadá pero las nuevas legislaciones propuestas podrían impulsar el desarrollo en las aguas federales en los Estados Unidos. En la mayor parte de América del Norte el cultivo en jaulas, especialmente en agua dulce, tiene una corta y decepcionante historia y probablemente no se expandirá rápidamente en un futuro cercano. Si bien las oportunidades de expansión de los cultivos marinos en jaulas son buenas, los Estados Unidos de América se queda detrás de Canadá en implementación y orientación sostenibles. Se deberían superar los obstáculos restrictivos de las regulaciones gubernamentales e inconsistencias de política, las inquietudes ambientales, los impedimentos estéticos y la incertidumbre comercial antes que el desarrollo sostenible pueda progresar.

REFERENCIAS

- Aarsnes, J.V., Rudi, H. & Løland, G. 1990. Current forces on cage, net deflection. In *Engineering for Offshore Fish Farming - Proceedings of the Conference Organized by the Institution of Civil Engineers. October 17–18, 1990*, pp 37–152. Glasgow, UK, Thomas Telford.
- Anonymous. 2000. *United States Department of Commerce Aquaculture Policy*. (available at: <http://www.nmfs.noaa.gov/trade/DOCAQpolicy.htm>). Revised March 15, 2000.
- Arzul, G., Seguel, M. & Clément, A. 2001. Effect of marine animal excretions on differential growth of phytoplankton species. *ICES Journal of Marine Science*, 58: 386–390.
- Axler, R., Yokom, S., Tikkanen, C., McDonald, M., Runke, H., Wilcox, D. & Cady, B. 1998. Restoration of a Mine Pit Lake from Aquacultural Nutrient Enrichment. *Restoration Ecology*, 6(1): 1–19.
- Beveridge, M. 2004. *Cage Aquaculture*, third edition. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 368 pp.
- Bridger, C.J. (ed.). 2004. *Efforts to Develop a Responsible Offshore Aquaculture Industry in the Gulf of Mexico: A Compendium of Offshore Aquaculture Consortium Research*. Ocean Springs, MS, USA, Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium. 200 pp.
- Bridger, C.J., Booth, R.K., McKinley, R.S. & Scruton, D.A. 2001. Site fidelity and dispersal patterns of domestic triploid steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) released to the wild. *ICES Journal of Marine Science* 58: 510–516.
- Bridger, C.J. & Costa-Pierce, B.A. 2002. *Sustainable development of offshore aquaculture in the Gulf of Mexico*. Gulf and Caribbean Fisheries Institute 53: 255–265.
- Bridger, C.J. & Garber, A.F. 2002. Aquaculture escapement, implications and mitigation: The salmonid case study. In B.A. Costa-Pierce, (ed.). *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution*, pp. 77–102. Blackwell Science, UK.
- Chambers, M.D. 1998. Potential offshore cage culture utilizing oil and gas platforms in the Gulf of Mexico. In C.E. Helsley, (ed.). *Open Ocean Aquaculture '97, Charting the Future of Ocean Farming*, pp. 7–87. Proceedings of an International Conference. April 23–25, 1997. Maui, Hawaii, USA, University of Hawaii Sea Grant College Program #CP-98–08.
- Chambers, M.D., Howell, W.H., Langan, R., Celikkol, B. & Fredriksson, D.W. 2003. Status of open ocean aquaculture in New Hampshire. In C.J. Bridger & B.A. Costa-Pierce, (ed.). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 233–245. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society, .
- Chang, B.D., Page, F.H. & Hill, B.W.H. 2005. *Preliminary analysis of coastal marine resource use and the development of open ocean aquaculture in the Bay of Fundy*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2585. 36 pp.
- Duarte, S.A., Masser, M.P., & Plumb, J.A. 1993. Seasonal Occurrence of Diseases in Cage-Reared Channel Catfish, 1987–1991. *Journal of Aquatic Animal Health*, 5: 223–229.
- EAO (Environmental Assessment Office). 1997. *Salmon Aquaculture Review*, vols. 1–5. Victoria, BC, Canada, Government of British Columbia.
- FAO. 2006. *FAO, Anuario de estadísticas de pesca: Producción de acuicultura, 2004*. vol 98/2, Rome, FAO.
- Glebe, B. & Turner, T. 1993. Alternate Commercial Rearing Strategies for Arctic Char (*Salvelinus alpinus*). *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 93(1): 2–9.
- Hatfield Consultants Ltd. 2002. *Future Sea Closed Containment Units*. Draft Monitoring Report: First Production Cycle. BC Pilot Project Technology Initiative. (available at: http://www.agf.gov.bc.ca/fisheries/reports/MH_Closed_Containment_final_interim_report.pdf).
- Huguenin, J.E. 1997. The design, operations and economics of cage culture systems. *Aquacultural Engineering*, 16: 167–203.
- Kaiser, J.B. 2003. Offshore aquaculture in Texas: Past, present and future. In C.J. Bridger and B.A. Costa-Pierce, (ed.). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 269–272. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society.
- Lawson, T.B. 1995. *Fundamentals of Aquacultural Engineering*. New York, NY, USA, Chapman & Hall. 355 pp.
- Lorio, W.J. 1987. Catfish in net pens and farm ponds: the basis for an Oklahoma industry. *Aquaculture Magazine*, 6: 45–48.
- Loverich, G.F. & Gace, L. 1998. The effect of currents and waves on several classes of offshore sea cages. In C.E. Helsley, (ed.). *Open Ocean Aquaculture '97, Charting the Future of Ocean Farming - Proceedings of an International Conference. April 23–25, 1997*, pp. 131–144. Maui, Hawaii, USA. University of Hawaii Sea Grant College Program #CP-98–08.
- Loverich, G.F. & Goudey, C. 1996. Design and operation of an offshore sea farming system. In M.

- Polk, (ed.). *Open ocean aquaculture - Proceedings of an international conference. May 8–10, 1996*, pp. 495–512. Portland, Maine, USA. New Hampshire/Maine Sea Grant College Program Rpt.# UNHMP-CP-SG-96–9.
- Masser, M. P.** 1997a (Revised). *Cage Culture: Cage Construction, Placement, and Aeration*. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication No. 163. 4 pp.
- Masser, M.P.** 1997b (Revised). *Cage Culture: Species Suitable for Cage Culture*. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication No. 163. 4 pp.
- Masser, M.P. & Duarte, S.A.** 1994. The Alabama Piedmont Catfish Cage Farming Industry. *World Aquaculture*. 25(4): 26–29.
- McGhie, T.K., Crawford, C.M., Mitchell, I.M. & O'Brien, D.** 2000. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture* 187: 351–366.
- Moccia, R.D. & Bevan, D.J.** 2000 (Revised of 1996 version). *Aquaculture Legislation in Ontario*. Ontario Ministry of Agriculture and Food. AGDEX 485/872. 8 pp.
- Moccia, R.D. & Bevan, D.J.** 2004. *Aquastats 2003: Ontario Aquacultural Production in 2003*. Ontario Ministry of Agriculture and Food. No. 04–002. 2 pp.
- Myrick, C.A.** 2002. Ecological impacts of escaped organisms. . In J.R. Tomasso, (ed.). *Aquaculture and the Environment in the United States*, pp. 225–245. United States Aquaculture Society, A Chapter of the World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- NBDAFA (New Brunswick Department of Agriculture, Fisheries and Aquaculture).** 2005. *Agriculture, Fisheries and Aquaculture Sectors in Review 2004*. Government of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
- NLDFA (Newfoundland and Labrador Department of Fisheries and Aquaculture).** 2005. *Seafood Industry Years in Review 2004*. Government of Newfoundland and Labrador, St John's, Newfoundland and Labrador, Canada.
- OCAD (Office of the Commissioner for Aquaculture Development).** 2003. *Achieving the Vision*. Ottawa, Ontario, Canada, Office of the Commissioner for Aquaculture Development, Cat. No. Fs23–432/2003. 62 p.
- O'Hanlon, B., Benetti, D.D., Stevens, O., Rivera, J. & Ayvazian, J.** 2003. Recent progress and constraints towards implementing an offshore cage aquaculture project in Puerto Rico, USA. In C. J. Bridger & B. A. Costa-Pierce, (eds). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 263–268. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society, .
- Ostrowski, A.C. & Helsley, C.E.** 2003. The Hawaii offshore aquaculture research project: Critical research and development issues for commercialization. In C.J. Bridger & B.A. Costa-Pierce, (eds). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 285–291. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society.
- Parsons, R.R., Rokeby, B.E., Lalli, C.M. & Levings, C.D.** 1990. Experiments on the effect of salmon farm wastes on plankton ecology. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 37: 49–57.
- Posadas, B.C. & Bridger C.J.** 2004. Economic Feasibility & Impact of Offshore Aquaculture in the Gulf of Mexico. In Bridger, C.J. (ed.) *Efforts to develop a responsible offshore aquaculture industry in the Gulf of Mexico: a compendium of offshore aquaculture consortium research*, pp. 109–128. Ocean Springs, MS, USA, Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium. 200 pp.
- PricewaterhouseCoopers, LLP.** 2003. *A Competitiveness Survey of the British Columbia Salmon Farming Industry*. British Columbia, Canada, Aquaculture Development Branch, Ministry of Agriculture, Food & Fisheries. 24 pp.
- Pridmore, R.D. & Rutherford, J.C.** 1992. Modeling phytoplankton abundance in a small-enclosed bay used for salmon farming. *Aquaculture and Fisheries Management* 23: 525–542.
- Proceedings of the Artic Char Conference.** 1992. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada. St Andrews, NB.* No. 93(2). 38 pp.
- Saunders, R.L.** 1995. Salmon aquaculture: Present status and prospects for the future. In A.D. Boghen, (ed.). *Cold-water Aquaculture in Atlantic Canada*, second edition, pp. 35–81. Moncton, NB, Canada, The Canadian Institute for Research on Regional Development.
- Statistics Canada.** 2005. *Aquaculture Statistics*. Catalogue no. 23–222-XIE. 44 p.
- Swecker, D.** 2006. Rochester, WA, USA, Washington Fish Growers Association.
- Taylor, F.J.R.** 1993. Current problems with harmful phytoplankton blooms in British Columbia waters. In T.J. Smayda & Y. Shimizu, (eds). *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, pp. 699–703. Amsterdam, the Netherlands, Elsevier Science Publishers.

- Tsukrov, I.I., Ozbay, M., Fredriksson, D.W., Swift, M.R., Baldwin, K. & Celikkol, B. 2000. Open ocean aquaculture: Numerical modeling. *Marine Technology Society Journal* 34: 29–40.
- Veenstra, J., Nolen, S., Carroll, J. & Ruiz, C. 2003. Impact of net pen aquaculture on lake water quality. *Water Science and Technology*, 47(12): 293–300.