

## Actualización

### CULTIVANDO EL MAR<sup>1/</sup>

Ricardo Radulovich\*

**Palabras clave:** maricultura, acuicultura, cultivo de algas, horticultura flotante, horticultura orgánica, destilación de agua de mar, cosecha de agua de lluvia.

**Keywords:** mariculture, aquaculture, algaeculture, floating horticulture, organic horticulture, sea water distillation, rainwater harvesting.

Recibido: 28/07/05

Aceptado: 24/02/06

#### RESUMEN

Las conocidas y crecientes limitaciones a la agricultura, pesca y disponibilidad de agua para riego tienen pocas soluciones viables y muy probablemente se acrecentarán con el cambio climático. Para contrarrestar estos y otros problemas, estamos desarrollando con y para pobladores costeros empobrecidos, unos sistemas productivos flotantes altamente innovativos, a mar abierto, en aguas protegidas de alto oleaje -comenzando en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, que es un sitio representativo que cubre miles de km<sup>2</sup>-. Estos sistemas de propósito múltiple, y de multi-estratos, que hemos probado por 3 años y que describimos aquí, consisten de: hortalizas orgánicas u otros cultivos de alto valor, en macetas sobre isletas o jardineras flotantes, construidas con botellas plásticas recicladas y otros materiales de bajo costo; maricultura de poco insumo bajo el agua (peces, crustáceos, otros) con cultivo de algas flotando en la superficie; producción de agua dulce para riego y otros usos por destilación solar pasiva y cosecha de agua de lluvia; pesca desde las estructuras flotantes; facilidades para recreación; y, todavía por

#### ABSTRACT

**Sea farming.** Known and growing limitations to agriculture, fisheries and irrigation-water availability have few viable solutions and will likely worsen with climatic change. To counter these and other problems, we are developing, with and for poor coastal dwellers, highly innovative offshore floating production systems in sea waters protected from high waves -beginning in the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a representative site that covers thousands of km<sup>2</sup>-. These multiple purpose, multi-strata systems, which we have tested for 3 years and describe here, consist of: potted organic horticultural crops, or other high value crops, placed on floating islets made of recycled plastic bottles and other low-cost materials; underwater low-input mariculture (fish, crustaceans, other), plus surface-floating algae culture; production of fresh water for irrigation and other uses through passive solar distillation and rainwater harvesting; fishing from the floating structures; recreation facilities; and alternative energy, which remains to be explored. A variety of aspects relating to environmental and biodiversity concerns are also discussed.

1/ Proyecto de investigación y extensión de la Universidad de Costa Rica, que ha contado con apoyo de: Ministerio de Ciencia y Tecnología de Costa Rica; Estación de Ciencias Marinas, Universidad Nacional; Premio Saint Andrews para el Ambiente de la Universidad de Saint

Andrews, Escocia y CONOCO-Phillips; y Mercado para el Desarrollo, Banco Mundial.  
\* Escuela de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.  
Correo electrónico: rrad@fing.ucr.ac.cr.

explorar, producción alternativa de energía. Se considera aquí también una variedad de aspectos relacionados con el ambiente y la biodiversidad. Estos sistemas compuestos, únicos en el mundo a la fecha, tienen una productividad general alta al sumar la productividad de todo el año de cada uno de varios componentes eco-amigables y de bajo insumo, lo cual permite optimizar la rentabilidad en función ambiental. Esperamos que, una vez que estén validados, la implementación equitativa a escala de estos nuevos sistemas proveerá a los pobladores costeros, alrededor del mundo tropical y subtropical, oportunidades para derivar su ingreso a partir de esta generación de nueva riqueza, incrementándose así y ganando en seguridad la capacidad mundial de producción de alimentos y agua, practicándose a la vez un uso de los recursos naturales eficiente y sostenible.

## INTRODUCCIÓN

El agua utilizable, la tierra apta para agricultura y el recurso pesquero son cada día más escasos, en cantidad y calidad. Esta es una verdad planetaria, y se complica con el impacto que tendrá el efecto invernadero en la producción de alimentos y condiciones de vida. Para mantener y mejorar la calidad de vida y a la vez generar una nueva riqueza que podrá ser bien distribuida desde un inicio, es necesario desarrollar e implementar sistemas de producción altamente innovativos, que deberán ser sostenibles, muy productivos, rentables, y equitativos.

Con lo anterior en mente, y con un interés inmediato en los pobladores rurales-costeros empobrecidos, hombres y mujeres, sin tierra y enfrentados a una decreciente pesca, estamos desarrollando desde el 2002, en el Golfo de Nicoya en Costa Rica, sistemas para cultivar el mar, con multipropósito y multi-estrato (varios niveles verticales), a mar abierto. Estos consisten en producir hortalizas orgánicas u otros cultivos, regados con

These compounded systems, unique worldwide to this date, allow a high overall productivity by adding up all-year-round productivity of each of several low-input and eco-friendly components, thus allowing to optimize profit following environmental functions. We expect that, when fully validated, their deployment at the proper scale will provide poor coastal dwellers, around the tropical and subtropical world, with equitable income-generating opportunities derived from this generation of new wealth, increasing and adding safety to the world's food and fresh water production capacity, while making a very efficient and sustainable use of natural resources.

agua de lluvia o con agua destilada allí mismo por el sol, flotando sobre producción de algas y maricultura integrada y ecoamigable, más pesca desde las estructuras flotantes, producción de energía alternativa, recreación y turismo, y más (Radulovich 2002, 2005).

Se trata de un desarrollo tecnológico diseñado particular -aunque no únicamente- para las extensiones marinas tropicales y subtropicales, que tienen condiciones a lo largo del año para la producción agrícola y piscícola en el mar. Los avances logrados, que se reportan aquí, indican que puede ser replicable a gran escala, en muchas partes del mundo, permitiendo incrementar significativamente, o incluso multiplicar, la capacidad de producción de alimentos y agua dulce, tanto por una alta productividad como porque grandes extensiones se abren a la producción y el agua para riego se toma de la lluvia o del mar por destilación.

A diferencia de la agricultura y maricultura tradicionales, estos sistemas pueden ser eco-amigables, porque la posibilidad de producir

en múltiples estratos (sobre el agua, al nivel del agua, bajo el agua) permite optimizar la producción en función ambiental, sin exceder las capacidades de ninguno de los componentes para obtener rentabilidad. Visto de otra manera, se trata de realizar un cambio en la forma de utilizar el mar, equivalente al que hubo hace milenios cuando se pasó de recolección y cacería a la agricultura. Lo importante ahora, es efectuar ese cambio maximizando los beneficios económicos y sociales y minimizando los perjuicios ambientales y contra la biodiversidad.

En cierto sentido, esta es una exploración cuyo tiempo ha llegado en Centroamérica, y que podrá ser de mucho mayor valor en el futuro, si algunas predicciones sobre el efecto invernadero se materializan, aumentando la variabilidad e impredecibilidad climática, incluso a niveles catastróficos, afectando a la agricultura, la disponibilidad de agua y la pesca de manera aún desconocida; mientras que áreas costeras podrían resultar inundadas. ¿Estamos preparados para eso?

### Maricultura y mares

La acuicultura ha sido llamada la Revolución Azul (*e.g.*, Costa-Pierce 2002, Lubchenco 2003). Su crecimiento, en gran medida asociado a los problemas crecientes que enfrenta la pesca (IFPRI 2003), promedia un 10% por año, en los países en desarrollo desde 1970 (FAO 2002), para el 2030 proveerá más de la mitad del pescado consumido en el mundo (Browdy 2002). Sin embargo, la mayoría de este desarrollo ha sido en tierra, principalmente en lagunas o estanques, e incluso en Europa la mayoría del desarrollo a mar abierto es solamente para salmón (De Silva 1998, Harache y Paquotte 1998, IFPRI 2003) -con lo que ello implica, particularmente contaminación química y biológica producto de explotaciones intensivas en monocultivo.

En Centroamérica, bañada en miles de kilómetros por el Océano Pacífico y el Mar Caribe, se ha desarrollado significativamente solo la acuicultura en lagunas -mayormente camarón y tilapia- (Stonich *et al.* 1999, Teichert-Coddington 1999, Valderrama y Engle 2002); sin embargo, y

aunque se ha realizado abundante investigación (CIMAR 2006), prácticamente no existe el desarrollo comercial de la maricultura a mar abierto; esto a pesar de que hoy en día se argumenta que en condiciones adecuadas los sistemas de maricultura a mar abierto son más baratos que operaciones equivalentes en tierra (PIR 2003).

Sin descartar las posibilidades que ofrece el mar Caribe e innumerables lagunas salobres en tierra, las oportunidades para sistemas productivos a mar abierto en nuestra región abundan, particularmente en la costa del Pacífico, dadas las considerables extensiones protegidas de oleajes y sin eventos climáticos catastróficos. Muchas de ellas habitadas por cientos de miles de pobladores costeros empobrecidos, que tienen un desarrollo turístico mínimo y están más bien severamente contaminadas y drásticamente sobrepescadas. Existen varios golfos y formaciones semejantes a considerar, como el Golfo de Nicoya en Costa Rica, el Golfo de Fonseca entre Nicaragua, Honduras y El Salvador, áreas del Golfo de Panamá, e incluso el Golfo de Baja California en México, además de innumerables formaciones de menor escala a lo largo de las costas, que en conjunto suman decenas de miles de kilómetros cuadrados.

Desde una perspectiva de disponibilidad de recursos, millones de hectáreas dentro de estos golfos y formaciones costeras podrían ser fácilmente cultivadas con multipropósito a mar abierto, enfatizando en la generación de agua dulce, que es un problema creciente y en algunos casos crítico dadas las características y variabilidad de la lluvia en el Pacífico Centroamericano (Radulovich 1988, 1997), Problema que ha tomado relevancia planetaria para consumo directo y en la producción de alimentos (Molden y de Fraiture 2004, SIWI-IWMI 2004, ONU 2005, Sanchez y Swaminathan 2005, UNESCO 2006). Además, los mares fuera de los golfos y costas son enormes, y podrán en el futuro ser utilizados total o parcialmente en función temporal en la medida que se desarrollen estos sistemas y se identifiquen áreas marinas óptimas (con los criterios correctos que aún falta formalizar y validar).

### Producción marina con multipropósito

Para optimizar la productividad, maximizando el sano uso de recursos renovables: ya sea espacio, agua, radiación solar, nutrientes, biota, lluvia, aire, viento, mareas y otros, y preservando la calidad de los ecosistemas y los servicios que brindan en sí y hacia fuera (Lubchenco 2003), se han diseñado y comenzado a probar en mares costeros del Pacífico de Costa Rica, desde el año 2002, lo que llamamos producción marina multipropósito y que consiste en agregar producción sobre el agua y en la superficie del agua a la maricultura bajo el agua (Radulovich 2002, 2005).

Estos sistemas productivos -únicos en el mundo a la fecha- son combinaciones de:

- a) **producción hortícola orgánica (o de muy bajo insumo):** flotando sobre el mar, regada en estaciones secas con agua destilada *in situ*, y durante las lluvias con agua de lluvia (directa y cosechada) más agua destilada si hace falta;
- b) **maricultura:** producción bajo el agua de peces, crustáceos, moluscos y otros, para comida humana, alimento animal, como ornamentales, u otros usos, en jaulas o redes colgando de las estructuras que hay sobre el agua;
- c) **cultivo de algas (macro y micro)** con diferentes fines, como alimento humano o animal, productos industriales, fertilizante y combustible;
- d) **producción de agua dulce** para beber o regar, mediante **cosecha de agua de lluvia** y por **destilación solar** pasiva *in situ* usando cámaras flotantes de evaporación-
- e) **pesca** desde las estructuras flotantes;
- f) **recreación y ecoturismo** en y desde las estructuras flotantes;
- g) **producción alternativa de energía**, particularmente viento, solar, biogás y de mareas y olas;
- h) **otras actividades** a ser exploradas, particularmente las que tienen valor agregado, incluyendo la producción de sales y proyectos habitacionales, y ambientales como el secuestro de carbono.

Dada la distribución bimodal de la lluvia, más los frecuentes y prolongados períodos de escasez de agua durante la estación de lluvias (Carmona y Radulovich 1988, Radulovich 2000), a principios del año 2002 se comenzó produciendo hortalizas orgánicas flotando en balsas, regándolas con agua de lluvia y con agua destilada del mar allí mismo -mediante destilación solar pasiva utilizando cámaras flotantes de destilación (Figuras 1-3). Los aspectos clave del proceso de destilación de agua se describen en las Figuras 2 y 3, indicándose allí parte de la investigación que se está realizando.

Además de las hortalizas y la destilación de agua, en los años 2003 a 2005 se agregaron otros elementos, particularmente maricultura en la forma de jaulas con camarones, ostras y peces, y algunos aspectos recreativos como una piscina (Figura 4). De particular interés fue producir camarones en jaulas a mar abierto, brindándoles la misma alimentación que se usa en lagunas en tierra. Una de las ventajas es que se puede lograr que los camarones crezcan hasta su tamaño mayor, lo cual



Fig. 1. Vista parcial de los prototipos usados en el año 2002, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Se produjeron cultivos hortícolas orgánicos en balsas rodeadas de cámaras (o tiendas) de destilación de agua.

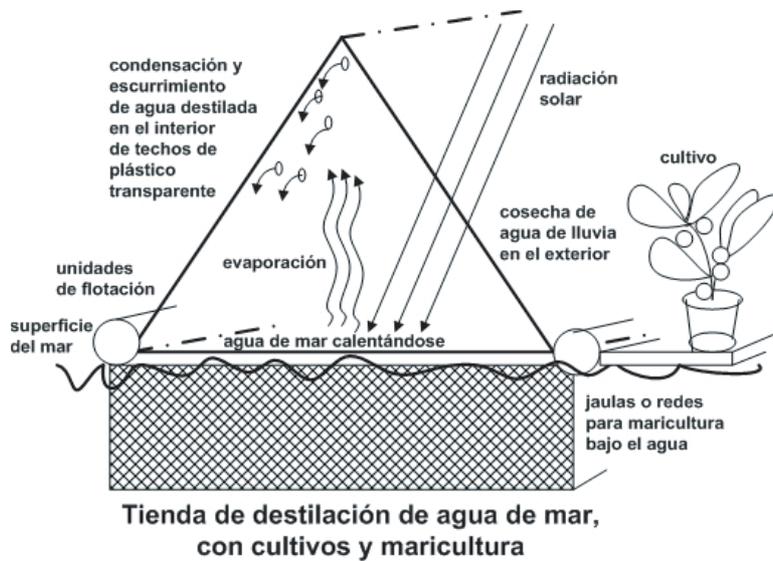


Fig. 2. Diagrama de destilación solar pasiva. La radiación solar entra a la cámara pasando a través de techos de plástico transparente, calentando el agua de mar que luego se evapora dejando las sales y contaminantes detrás. El vapor de agua se condensa en el plástico que está más frío que el aire interior, y se convierte en agua líquida (destilada). Las gotas escurren hacia canales que las llevan a almacenamiento, para usarla para riego o para consumo humano.



Fig. 3. Prototipo del modelo de tienda de destilación. Las gotas de agua destilada pueden verse escurriendo por el lado del plástico. Dentro de las cámaras el calor se concentra y la evaporación aumenta.



Fig. 4. Piscina para nadar a mar abierto con protección. Este modelo fue hecho uniendo dos grandes rejillas metálicas que se compran ya hechas (malla electrosoldada). Luego se forró de cedazo, todo con el fin de mantener fuera a animales (incluyendo anémonas y serpientes marinas). Se planea construir piscinas de 25 m de largo, a un costo muy bajo.

normalmente no se hace en tierra por problemas de hacinamiento y contaminación. Se probó también diseños de bajo costo para jaulas, para separar los camarones de acuerdo a edad y tamaño, análogo a como se hace en engorde de pollos.

Salvo leves efectos del salpique de agua de mar en follaje (Figura 5), se obtuvieron excelentes resultados con las hortalizas (tomate, chile dulce, rábano, pepino y sandía), y no se detectó enfermedades o plagas insectiles, lo cual se atribuye a la distancia que hay a tierra. Por lo tanto, se pudo producir estos cultivos sin plaguicidas u otros insumos químicos excepto

fertilizante orgánico. Se espera que las condiciones permitan la producción orgánica certificada a una escala mucho mayor. En estos momentos para esta y otras actividades, es prematuro concluir sin haber probado tamaños de operación más representativos, y así evitar problemas de escala al extrapolar resultados (Englund y Cooper 2003).

La experiencia en cuanto a estructuras de flotación indica que es necesario alejarse de estructuras pesadas (hechas mayormente de metal), que son caras de construir y de mantener. Ahora se enfatizará en la construcción utilizando



Fig. 5. Daño por sal en el follaje. Se encontró algún daño por salpique de agua de mar. Sin embargo, conforme aumente el área cubierta con cultivo este efecto se limitará a las plantas en los bordes.

botellas plásticas recicladas (Figura 6), con diseños que cada vez más se asemejan a jardineras o isletas flotantes de bajo perfil. Además de las botellas se utilizará otros materiales plásticos livianos y de bajo costo, incluyendo bolsas de plástico negro para almacenar agua dulce en flotación.

Estas actividades, en más de un sentido, también significan colonizar los océanos. En analogía a lo que fue el desarrollo de la agricultura, llegó el momento de pasar de solamente pescar el mar a cultivarlo en todo su potencial, e incluso vivir allí al menos en función de la producción. Por ello, se tiene planeada una serie de mecanismos que faciliten la vida en flotación (por ej. diseños habitacionales sencillos y de bajo costo, el uso de energía alternativa como biogás, manejo de residuos y cocina solar). Esto por sí solo, puede verse como una oportunidad para gente sin hogar o que pierden su hogar y capacidad productiva debido a inundaciones o intrusiones marinas en los mantos freáticos. También es evidente, que esto representa oportunidades productivas para gente que carece de tierra u otras facilidades de

producción o empleo. Es de mucha utilidad que estos sistemas parecen ser insensitivos a escala y género, lo cual es acompañado de un desarrollo de tecnología apropiada y mínima inversión, que además enfatiza el uso de la mano de obra, con lo cual prácticamente cualquier persona con pocos recursos podrá implementarlos mientras haya superficie marina adecuada y disponible.

Todo esto convierte a estos sistemas de producción multipropósito (¿eventualmente sistemas de vida?) posiblemente en algo muy revolucionario: útil para el presente e indispensable para el futuro. Y se está desarrollando en Costa Rica para el mundo.

### Posibilidades y limitaciones de la producción marina multipropósito

El término producción marina multipropósito se utiliza aquí para connotar un sistema de producción que, aunque está basado en la maricultura a mar abierto como se conoce tradicionalmente, *i.e.* producción controlada de animales



Fig. 6. Prototipo de jardinera flotante para cultivos, hecha totalmente de botellas plásticas recicladas. Se está construyendo jardineras e isletas similares, cada vez más grandes, utilizando botellas u otro material plástico, preferiblemente reciclado.

de mar y algas, tiene otros componentes sobre el agua que no están necesariamente relacionados con la maricultura tradicional y se integran verticalmente, como horticultura orgánica flotante, destilación de agua y cosecha de agua de lluvia, producción de energía alternativa, secuestro de carbono, facilidades recreacionales y, opcionalmente, habitación.

De la literatura revisada, y a pesar de un enfoque temprano de sistemas a la acuicultura tropical, que quiso promover el Banco Mundial (World Bank 1991), se encontró reportado solamente un intento de producir cultivos en un invernadero sobre tanques de agua con peces dentro (McMurtry *et al.* 1997), mientras que otro reporte discute la posibilidad de acuicultura a mar abierto dentro de áreas marinas destinadas a la producción de energía eólica en Alemania (Buck *et al.* 2004). Mayormente, la experiencia de acuicultura 'integrada' se limita a co-cultivos o policultivos bajo el agua, tales como moluscos o algas con peces (McVey *et al.* 2002, Cheshuk *et al.* 2003), más algunos ejemplos y recomendaciones para acuicultura integrada, incluyendo la integración con producción agrícola en tierra (Troell *et al.* 2003, Francis *et al.* 2004, Neori *et al.* 2004), como sería la producción de peces dentro de arrozales (Halwart y Gupta 2004).

El menú de las posibilidades de producción marina multipropósito que están siendo exploradas aquí, con diferentes grados de intensidad de acuerdo a escogencias que se toman con base a diversos criterios, se muestra en el cuadro 1. Ahí, en un ordenamiento relacionado con la altura desde sobre el nivel del agua hasta el fondo del mar, si es poco profundo, se enlistan las diferentes opciones productivas y de servicios consideradas viables a la fecha. A la derecha del cuadro se enlistan aspectos asociados con una o más de estas opciones, como un recordatorio de que cada opción a implementar o estudiar lo será en relación a las otras opciones implementadas y a una variedad de aspectos externos que la afectarán y son afectados por ella.

Sin embargo, y sin olvidar los efectos de la agricultura en el ambiente, es importante considerar que la acuicultura, tanto en tierra

como a mar abierto, a pesar de muchos beneficios, ha tenido efectos negativos en el ambiente y en la biodiversidad. Por ejemplo, la producción de camarones en tierra ha traído una extensa destrucción de manglares en América tropical (Nunes y Suresh 2001) y contaminación (Nunes y Parsons 1998, Jackson *et al.* 2004) incluyendo antibióticos (FAO 2002, Miranda y Zemelman 2002), mientras que la producción a mar abierto de salmón continúa plagada de elementos negativos, incluyendo escapados, transmisión de enfermedades a la vida silvestre, contaminación, y la necesidad de pescar en lo silvestre para alimentar los salmones que son carnívoros (Montaigne 2003). Estas situaciones, aunque están en proceso de ser revertidas, o aliviadas, o por lo menos entendidas en sus dimensiones (Boyd 2002, Stickney y McVey 2002, Treece 2002), son parte de la conciencia pública (Phillips 1998, Montaigne 2003), y están verdaderamente en necesidad de mucha acción positiva de parte de productores y de regulación por parte de las autoridades.

De esta forma, la siguiente lista de reglas, ciertamente incompleta porque muy probablemente el número aumentará, ha sido desarrollada y deberá ser implementada como salvaguarda.

### **Reglas básicas de seguridad**

Para comenzar a lidiar con los muchos problemas asociados -o potencialmente asociados- con estos sistemas de producción marina multipropósito, se desarrollaron las siguientes reglas, las cuales, aunque incompletas todavía, cuando se les implemente permitirán concentrarse en los beneficios de lo que se propone, minimizando los aspectos negativos.

### **Producción de cultivos en forma orgánica o de bajo insumo**

La producción de cultivos será orgánica o de uso muy bajo y selectivo de agroquímicos, acompañada de prácticas para minimizar la necesidad de insumos externos, como rotación de cultivos, uso de poli-cultivos, y control de lo que se lleva de la tierra al mar para evitar introducciones

Cuadro 1. Menú de oportunidades y aspectos que necesitan ser considerados para sistemas de producción marina multipropósito a mar abierto, optimizados verticalmente por estratos (listado preliminar).

Profundidad	Nivel en el agua	Producción, servicio	Aspectos asociados (ejemplos específicos en paréntesis)
	Sobre el agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producción de agua dulce: destilación de agua, cosecha de agua de lluvia</li> <li>Producción de cultivos (orgánica, hortalizas, otros)</li> <li>Uso directo de agua de lluvia en cultivos</li> <li>Actividades recreacionales y turísticas</li> <li>Pesca: recreacional (en encierros) y hacia aguas abiertas</li> <li>Producción y uso de energía (solar, eólica, biodigestión)</li> <li>Secuestro de CO<sub>2</sub> (aplicable a todos los niveles)</li> <li>Producción de sal y otros residuos de destilación</li> <li>Habitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreo del mar y clima (temporales, oleaje, mareas rojas)</li> <li>Aspectos socioeconómicos (mano de obra, equidad, género)</li> <li>Aspectos ambientales (secuestro de CO<sub>2</sub>, contaminación, biodiversidad, introducción de especies)</li> <li>Aspectos legales y regulatorios (concesiones, requisitos de manejo)</li> <li>Infraestructura turística</li> </ul>
	Superficie del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producción de algas (alimento, energía, fertilizante, biofiltración de aguas, secuestro de CO<sub>2</sub>, otros fines)</li> <li>Producción de energía de las mareas y oleaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cosecha, proceso, mercadeo y venta</li> <li>Uso y venta de energía alternativa</li> <li>Manejo de emergencias, sistemas de alerta</li> </ul>
	Bajo el agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maricultura: producción de alimentos: peces, tiburones crustáceos moluscos otros (cefalópodos, anguilas)</li> <li>alimento animal y fertilizante especialidades y ornamentales: caracoles (ej. para tinta) pulpos para tanques caballos de mar perlas para ostras</li> <li>productos para industria cultivo de larvas y otros juveniles (para alimento, reproducción, repoblamiento)</li> <li>Turismo, recreacional: acuarios, buceo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producción de alimento para maricultura (granos, pesca, residuos cárnicos)</li> <li>Almacenamiento y distribución de agua dulce</li> <li>Criterios para selección de sitios, áreas mundiales para aplicación, procedimientos y anclaje</li> <li>Desarrollo de tecnología (innovaciones y mejoras, materiales, aplicaciones en otras condiciones y latitudes) e investigación (ej. radiación solar necesaria para fitoplancton, uso de antibióticos en maricultura, efecto en comunidades benthicas)</li> <li>Reciclamiento</li> </ul>
	Fondo del mar (dependiendo de la profundidad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuidado, promoción o cosecha de criaturas del fondo (en particular coral y especies asociadas)</li> <li>Recolección de desechos para biogás u otros usos</li> </ul>	

indeseadas. En cualquier caso, ninguna aplicación en cultivos o medios de crecimiento deberá alcanzar la superficie del agua, sea a través del aire, por escorrentía o por derrame. También, todos los residuos de cultivos deberán ser utilizados, reciclados o removidos de las estructuras de flotación y nunca tirados al agua.

### Maricultura

La siguiente lista (no exhaustiva) de reglas debe ser aplicada:

**Especies:** la introducción de especies es un asunto muy delicado y complejo, y en lo posible las especies nativas serán preferidas ante especies introducidas, por varias razones. En particular, los escapes de individuos son prácticamente inevitables, y las especies introducidas pueden traer riesgos ecológicos y productivos asociados a ellas e incluso desconocidos. Por supuesto, la introducción de especies parece inevitable, y para ello se requiere un manejo apropiado de la información. Por ejemplo, existe un aviso reciente contra la introducción de almejas Coreanas de Manila en América del Norte y Central porque están infectadas con *Perkinsus* sp e infectarán a las poblaciones de almejas locales (Elston *et al.* 2004).

**Poli-cultura:** las enfermedades, los parásitos y otros bio-problemas serán parcialmente controlados por un sistema de poli-cultura bajo el agua que separe a las especies de sí mismas, tanto en espacio como en tiempo, rodeándolas o alternándolas con especies diferentes que no son susceptibles a lo que se pretende controlar, por lo que patógenos o parásitos no se esparcirán de una jaula a otra, por limitaciones físicas (falta de contacto) o temporales (por ej. no se utiliza una especie durante una época del año). Estos son principios muy comunes en producción agrícola, particularmente rotación de cultivos y poli-cultivos, y contrastan con el mono-cultivo imperante en la maricultura tradicional.

**Antibióticos y otros tratamientos químicos:** cualquier uso de antibióticos o químicos deberá

ser limitado y en encierros especialmente diseñados para el propósito. El descarte de agua con antibióticos requerirá de un protocolo. Sin embargo, la producción a mar abierto debiera requerir menos antibióticos que los estanques en tierra, porque el alto flujo del agua (tasa de recambio) en mar abierto inhibe la concentración de patógenos y los animales en estanques en tierra están en poblaciones más densas que lo que estarán en estos sistemas a mar abierto. También, están siendo desarrolladas técnicas que no utilizan químicos, por ej. utilizar corrientes eléctricas para controlar bacterias (Park *et al.* 2003) y baños con agua dulce para tratar una enfermedad de las agallas causada por amebas (Parsons *et al.* 2001), estas técnicas deberán ser consideradas en un enfoque integrado. La necesidad de investigación y desarrollo de protocolos en este tema es evidente.

**Respeto por los animales:** es claro que los animales acuáticos, particularmente los vertebrados, son seres que sienten y deben ser respetados y sus necesidades deben ser bien atendidas (Conte 2004 y Chandroo *et al.* 2004). Como parte de este principio, y también para disminuir la transmisión de enfermedades y parásitos y otros problemas, se evitará el hacinamiento, incluso practicando un enfoque de manejo tipo “pastoreo” abierto con peces y otros animales de gran movilidad dentro de “encierros” grandes formados por redes.

**Maricultura poco intensiva y en ocasiones extensiva:** por los puntos anteriores, se evidencia que la maricultura que se propone es poco intensiva, tanto porque se deberá tener diferentes especies como por el grado de hacinamiento espacial y temporal con que se manejarán.

**Alimentación:** se preferirá especies de bajo nivel trófico, herbívoras u omnívoras, sobre las carnívoras; así la alimentación artificial podrá ser en gran medida basada en algas, residuos hortícolas, granos y derivados (como soya y maíz), promoviendo una sinergia entre productos de tierra y mar, y al mismo tiempo se minimiza o elimina la necesidad de pescar masivamente de la naturaleza

para alimentar peces enjaulados. La alimentación natural será promovida, particularmente con moluscos y teniendo una relación volumen de agua:animales suficientemente grande.

**Tolerancia a la salinidad:** en lo posible se preferirá especies con amplia tolerancia a niveles de salinidad, en vez de aquellas que solamente toleran rangos pequeños de salinidad como el atún (Wurts 1998). Así se manejará mejor los niveles fluctuantes de salinidad en golfos alimentados por ríos.

**Floración de algas nocivas:** se mantendrá un sistema de alerta para implementar mecanismos de defensa contra los eventos conocidos como marea roja y otros. Se experimentará y utilizará tanto mecanismos de evitamiento (*i.e.*, bloquear la marea roja fuera del sistema productivo) como de escape (*i.e.*, bajando las jaulas y redes a mayores profundidades); y tolerancia (utilizando especies tolerantes o resistentes (Miyamoto *et al.* 2002).

**Oleaje y vientos:** en estos momentos no se pretende implementar producción donde las olas grandes y vientos demasiado fuertes (huracanos) puedan ser un problema; sin embargo, en el caso de que ocurran, se seleccionará o incluso desarrollará las posibilidades productivas en función de ello (por ej. implementar métodos para bajar las jaulas y redes a mayores profundidades). También, es clara la opción de recoger o no operar los sistemas en ciertas épocas del año, lo cual permitirá cultivar el mar en la región del Caribe fuera de la temporada de huracanes.

### Ambiental

Las reglas ambientales están muy enlazadas con las anteriores y deben ser implementadas en conjunto. Esta lista ha sido desarrollada de acuerdo a la propia experiencia, y siguiendo ideas de Devoe y Hodges (2002), Lubchencko (2003) y PIR (2003), que tendrán que ser aplicadas dentro de un marco similar al de manejo costero integrado descrito por Phillips (1998), que incluye concientización, cooperación, coordinación e integración.

**Preservar los servicios de los ecosistemas:** la producción marina no debe alterar la variedad de los servicios que provee un ecosistema (como son servicios de provisión de alimentos a otros, servicios reguladores tales como regulación de inundaciones, servicios de soporte como ciclos de nutrimentos, y servicios culturales como beneficios recreacionales (Lubchencko 2003). La capacidad de carga de un ecosistema no debe ser excedida ni tampoco la captura de radiación solar sobre el agua debe impedir suficiente entrada de esta al agua para mantener el fitoplancton y los ciclos de vida. Además, hay contribuciones a los servicios de los ecosistemas, en el caso propuesto todos los sistemas productivos propuestos (hortalizas, algas, maricultura) pueden contribuir al secuestro de carbono.

**Preservar e incrementar el bienestar de la biodiversidad local:** no basta con realizar un monitoreo de los efectos de estos sistemas para minimizarlos (por lo menos cuando los sistemas tengan suficiente tamaño como para causar impacto), si no que en general debe realizarse una contribución para mantener e incrementar las poblaciones naturales (esto es algo que en todo caso retribuye, ya que la pesca y la recolección de juveniles de la naturaleza para cultivarlos en cautiverio -“engorde”- se podrán mantener indefinidamente como actividades importantes).

**Evitar eutrificación:** se deberá tener el debido equilibrio en las relaciones de entradas y salidas, particularmente de materia fecal y alimentos no ingeridos, lo cual podrá incluir recolección y reutilización.

### Socioeconómico y regulatorio

Aunque la rentabilidad es esencial para la sostenibilidad socioeconómica y para el desarrollo de la maricultura multipropósito, se enfatizará en actividades a pequeña escala o insensitivas a escala, utilizando tecnología apropiada, minimizando la inversión requerida, y enfatizando el uso de mano de obra para que cualquiera pueda participar. De particular importancia, en las

poblaciones costeras normalmente las mujeres y los jóvenes encuentran mayores limitaciones que los hombres para generar ingreso, por lo que esta es una consideración de importancia en el desarrollo de estos sistemas productivos.

Se promoverá las relaciones con miembros y autoridades de las comunidades costeras desde un principio. Las definiciones e incluso legislación y jurisprudencia para zonificación y otras actividades que conlleven a regulaciones y permisos para practicar la producción marina multipropósito, deberán tal y como lo mencionan estipularse desde un principio e implementarse con premura para evitar conflictos Fletcher y Neyrey (2004) y Fletcher y Weston (2004), del Programa Legal de Fondos Marinos de Mississippi-Alabama. El amarrar los permisos de operación o concesiones con el cumplimiento de normas ambientales y de protección de la biodiversidad garantizará que estos sistemas sean eco-amigables desde un principio y se mantengan así.

### **Análisis de componentes productivos**

El siguiente análisis de componentes está basado en la lista de opciones del cuadro 1.

### **Horticultura orgánica**

Cultivos hortícolas (hortalizas, flores, otros), con alto valor de mercado, son producidos con fines rentables o para proveer alimentos en esquemas de producción de subsistencia, en macetas u otros recipientes sobre balsas o isletas flotantes. Dentro de los esquemas de optimización, la producción hortícola es opcional en función de otros usos que puede dársele a la superficie del agua (Cuadro 1), además de ser dependiente de agua dulce, por lo que no todos los sistemas necesariamente tendrán cultivos flotantes. Como ya se dijo, la producción puede ser orgánica o de muy bajo insumo químico porque las plagas y patógenos difícilmente viajan sobre el agua de mar, a menos que sean introducidos por los mismos productores.

Todas las adiciones químicas que se realizan, preferiblemente serán las permitidas por los programas de agricultura orgánica certificados o certificables, particularmente los que se utilizan en Centroamérica (que en realidad responden a los requisitos de EE.UU. y la Unión Europea). Una horticultura de bajo insumo es también aceptable para fines ambientales y comerciales.

Entre las hortalizas a cultivar están: tomate, chile dulce y picante, pepino, melón, sandía y una variedad de otras especies que son tolerantes al calor y, preferiblemente, que no crecen muy altas (en cuyo caso se deberá tomar previsiones respecto a su estabilidad en flotación), al respecto cabe agregar que se cultivó un árbol de papaya en una maceta sobre una balsa. En el futuro se podrá desarrollar otros criterios, como utilizar plantas que se expanden horizontalmente y requieren menos puntos de enraizamiento por área que plantas más erectas.

### **Maricultura**

La producción bajo el agua con fines de rentabilidad o alimento para los productores de subsistencia es enfatizada desde un principio, prácticamente en todos los sistemas, particularmente porque al momento no hay actividades que compitan con maricultura por todo el espacio bajo el agua, salvo –eventualmente– obtener energía de las mareas o el oleaje (Cuadro 1). Además de la producción de peces, crustáceos (particularmente camarones) y moluscos (ostras, otros) para alimento humano, se realizará trabajo experimental con especies ornamentales y de especialidad, como ostras para perlas y peces ornamentales (considerando que este es un mercado multimillonario y las ventajas competitivas locales pueden ser enormes (Chapman *et al.* 1997, Burke *et al.* 2002).

La producción de peces pelágicos para alimento animal, aceite o fertilizante será considerada si la evidencia indica ventajas financieras o de otro tipo en comparación con otros sistemas de maricultura, dependiendo además de aspectos de escala. De hecho, la producción de pequeños

peces pelágicos puede ser utilizada en poli-cultura con otros peces o diferentes filos, incluso para la alimentación natural en sistemas de “pastoreo”. Se explorará la larvicultura, para renovar poblaciones (tanto en maricultura como en lo natural) y para la producción de alimento para peces (tanto la de estos sistemas como otros, entre ellos acuarios).

### **Pesca**

Esta actividad podrá ser conducida dentro de encierros (por ej., actividades recreacionales en las que clientes pagan para pescar en encierros diseñados para eso) o hacia fuera de los sistemas productivos. La pesca hacia fuera puede ser particularmente rentable ya que se ha encontrado que grandes cantidades de peces, particularmente peces maduros, en números de hasta decenas de miles, pesando muchas toneladas, son atraídos a jaulas de peces a mar abierto (Boyra *et al.* 2004, Dempster *et al.* 2004).

Un punto en relación a que la maricultura atrae peces de fuera, es que también atrae depredadores (por ej. tiburones), lo cual incrementa el riesgo de estas operaciones y deberá tomarse medidas de protección (como mallas metálicas o de pesca alrededor de ciertas instalaciones para prevenir la entrada de los depredadores).

### **Algas**

Las algas, tanto macro como micro, para usos como alimento, productos y aditivos industriales, fertilizante y combustible, tienen un enorme mercado global, cercano a \$6000 millones en 1997 (Hanisak 1998), el cual se está expandiendo (De Silva 1998), y su uso tiene muchas ventajas en sistemas integrados, dada su habilidad de filtrar y limpiar alguna contaminación en las aguas -biofiltración (Chopin *et al.* 2004). Además, las algas pueden jugar un papel vital en la destilación de agua si, al detener la radiación solar, cumplen el papel de permitir el calentamiento del agua en la superficie para evaporación (Figuras 2 y 3), incrementándose así los beneficios que aportan.

### **Producción de agua dulce**

Dentro de las opciones disponibles, y considerando que el espacio sobre el agua puede ser usado para producción de hortalizas o para destilación de agua, entre otros usos, las escogencias de uso se realizan considerando necesidades y beneficios. La cosecha de agua de lluvia (Radulovich *et al.* 1994) puede ser lograda mientras crecen los cultivos, almacenando los excedentes de agua, por lo que no es una opción totalmente excluyente en cuanto a uso de espacio. Un sistema introductorio puede considerar cultivar hortalizas solamente con agua de lluvia, sin tener que implementar destilación de agua durante la estación seca, utilizando en ese tiempo el espacio sobre el agua para otros fines, como podría ser captura de energía solar. El almacenamiento y transporte del agua dulce es de vital importancia para fomentar estas actividades, incluyendo evitar contaminación con agua de mar. Por la necesidad de que sea de bajo costo, y aprovechando las condiciones marinas, se han implementado bolsas plásticas negras flotantes como tanques de almacenamiento, las cuales aún requieren perfeccionamiento.

### **Energía alternativa**

En general, la producción de energía alternativa en flotación, que requiere de sistemas livianos y adaptados, puede ser una opción productiva muy valiosa, por lo que se harán esfuerzos para investigar y establecerla.

Mientras que la producción de energía eólica puede ser realizada con poca consideración del uso que se le esté dando al espacio sobre el agua (porque compite muy poco en interceptar radiación solar), la captura de energía solar excluye la producción de cultivos y la destilación de agua, aunque no así la cosecha de agua de lluvia. Por lo tanto, esta también será una escogencia de acuerdo con las circunstancias. También, se podría obtener energía de las mareas o del oleaje, lo cual en cierto grado entra en conflicto con las estructuras flotantes y con la maricultura bajo el agua. Los desechos de las actividades sobre y bajo el agua serán utilizados para la producción

de biogás si no se encuentran otros usos. El cultivo de algas con fines energéticos puede ser una opción de gran relevancia.

### **Recreación y turismo**

Entre las actividades recreacionales y turísticas se encuentran playas artificiales, alimentación y hospedaje, piscinas, acuarios, zoológico de mascotas, tours ecológicos, práctica de tiro de golf y pesca. Se implementará algunas o varias de estas opciones según lo indique el análisis financiero y de acuerdo a lo que las oportunidades permitan (por ej., que haya acceso a rutas de turismo, o áreas costeras en las que no hayan playas y haya una población suficientemente grande que demande tales amenidades).

### **Manejo del fondo del mar**

Se considera cada vez de mayor importancia en maricultura a mar abierto tomar en cuenta y manejar los residuos y heces. Estos pueden disolverse, ser transportados o, más comúnmente, ser depositados en el fondo (Crawford *et al.* 2003, PIR 2003, Kirkagac y Demir 2004), afectando comunidades bénticas y otras y una variedad de procesos incluyendo eutricación. De hecho, se ha observado sedimentos enriquecidos incluso hasta a 1000 m de las jaulas (Sara *et al.* 2004). Este sedimento será considerado y manejado, incluso dándole usos apropiados (recuperación y reuso) o estableciendo procesos para disminuir su impacto (reciclar conchas de desecho, Kwon *et al.* 2004) o sacarle provecho de otra forma (estableciendo arrecifes artificiales debajo, Angel y Spanier 2002).

### **Secuestro de carbono**

La implementación de estos sistemas implica acumulación de biomasa en la forma de cultivos, algas y animales marinos. Si bien hasta ahora en ninguno de los casos se propone establecer poblaciones perennes, el efecto de acumulaciones temporales múltiples podría ser significativo, sobre todo al darse en la escala correcta.

### **Sistemas prototipo**

Con base en el análisis de componentes recién presentado y en las opciones tipo menú del cuadro 1, se presentan los siguientes ejemplos de sistemas prototipo, como posibilidades de lo que se ha implementado e implementará. La lista que sigue y su complejidad será por supuesto incrementada de acuerdo al avance.

#### **Sistema multipropósito básico**

Este sistema tiene hortalizas orgánicas flotantes, regadas por agua de lluvia (directa y cosechada/almacenada), con maricultura debajo del agua. La maricultura es con pocas especies, como peces y camarones. Durante la estación seca, las hortalizas pueden ser sustituidas por algas. Todos los sistemas incluyen pesca hacia fuera de las instalaciones y la consideración de efectos positivos en el secuestro de carbono.

#### **Sistema multipropósito con destilación de agua**

Este sistema tiene componentes similares al básico, pero se agrega destilación solar pasiva de agua de mar durante la estación seca y veranillos para regar los cultivos hortícolas, los cuales entonces pasan a ser producidos todo el año (salvo que el agua producida por destilación sea utilizada para otros fines, como consumo humano). Se intentará utilizar algas todo el año bajo las tiendas de destilación. Durante las lluvias, las tiendas de destilación (bajo las cuales seguirán creciendo las algas) serán utilizadas para capturar agua de lluvia (que será almacenada en las mismas instalaciones que el agua destilada, utilizando un diseño de tanque flotante bajo el agua para almacenamiento de agua, de bajo costo y alto volumen).

#### **Sistema multipropósito con facilidades recreativas**

A los sistemas descritos arriba se les agregan facilidades recreativas, incluyendo pesca

recreacional y algunos servicios turísticos y de alimentación.

### **Sistema multipropósito con producción de energía alternativa**

Se podrá agregar generación de energía eólica a los sistemas descritos arriba.

### **Sistema multipropósito maduro**

Al menú de sistemas presentado arriba se le agregará otras actividades si se considera adecuado, como sería incrementar especies de maricultura que se crían para comida o alimento animal, producir especies de alta especialidad u ornamentales, embotellar agua destilada o la capturada de la lluvia, incrementar producción de energía alternativa, realizar actividades de agregación de valor, etc.

### **SUMARIO DE VENTAJAS Y BENEFICIOS**

Es prematuro especular cuán importantes llegarán a ser estos sistemas de producción marina, menos aún decir en cuánto desplazarán o suplementarán la agricultura en tierra. Sin embargo, es factible enumerar las ventajas y beneficios que se podrían obtener al implementarlos:

1. Se amplía considerablemente la capacidad de producción de alimentos y de agua dulce de muchos países, y tal vez a nivel mundial, el 10% de los mares del mundo representan un área equivalente al área de tierra cultivable;
2. Se incrementa la seguridad alimentaria e hídrica, particularmente porque estos sistemas son de alta productividad, comparativamente estables y el agua para los cultivos está garantizada, lo cual gana importancia en vista de los efectos venideros de cambio climático y posibles inundaciones costeras;
3. Se permite una producción limpia de bajo potencial contaminante y respetuosa de la biodiversidad;
4. Los sistemas insensitivos a escala permiten que pobladores costeros de bajos recursos logren su propia capacidad de generación de ingresos, importante sobre todo considerando que la pesca ha mermado;
5. Permite programas equivalentes a huertos caseros en economías de subsistencia, para producción a muy bajo costo y diversificación de alimentos para consumo directo por pobladores costeros sin tierra y de bajos recursos;
6. Los sistemas son insensitivos a género, y pueden y deberían ser manejados por mujeres, lo cual es facilitado al ser esta una gama de actividades que no está tradicionalmente dominada por hombres;
7. Puede haber producción orgánica o de bajo insumo de hortalizas y otros productos agrícolas, aumentando su valor de mercado;
8. Se puede establecer esquemas de recreación en flotación;
9. Se permiten varias posibilidades de producción de energía alternativa;
10. Cultivar el mar permitiría quitar presión sobre tierras agrícolas marginales o degradadas, permitiendo su recuperación;
11. Es posible establecer esquemas de secuestro de carbono tanto en el mar como en tierras recuperadas de agricultura; y,
12. Ofrecen una gama de otras aplicaciones y posibilidades que se están empezando a explorar.

Es claro, así, que el potencial de esta línea de trabajo es enorme, sobre todo para países con graves limitaciones para más desarrollo agrícola, que cuentan -para empezar- con áreas marinas protegidas de grandes oleajes y de vientos huracanados, con numerosa población costera empobrecida y sin tierra, que por lo demás están sobre-pescadas, tienen sus aguas contaminadas y su potencial para desarrollo turístico es comparativamente bajo. Este es el caso para los Golfos de Nicoya en Costa Rica, y de Fonseca entre El Salvador, Honduras y Nicaragua.

Por otro lado, las limitaciones para el desarrollo de este nuevo paradigma productivo son muchas, sobre todo porque no existe experiencia en el mundo en que basarse y porque, como bien estableció Kuhn (1962), los nuevos paradigmas encuentran gran resistencia para implantarse. Incluso cuando una tecnología o innovación ha sido exitosamente validada en todos sus estadios con los usuarios finales (Radulovich y Karremans 1993), lo cual todavía no es el caso aquí, su difusión tomará años aunque sus beneficios sean evidentes e incluso urgentemente requeridos (Rogers 2003). Esto explica en gran medida parte de la problemática que enfrenta la extensión agrícola (Radulovich 1999), y exige, al menos en estos casos de desarrollo de tecnología, que el investigador vaya más allá de simplemente aportar ideas y soluciones, sino que se convierta en su promotor si ha de lograr que éstas tengan la utilidad para las que fueron desarrolladas.

#### LITERATURA CITADA

- ANGEL D.L., SPANIER E. 2002. An application of artificial reefs to reduce organic enrichment caused by net-cage fish farming: preliminary results. ICES Journal of Marine Science 59:S324-S329.
- BENT E. 2002. The seawater greenhouse: using physics to revolutionize production. *FloraCulture International* 12:14-17.
- BOYD C.E. 2002. Mangroves and coastal aquaculture. *In*: R.R. Stickney, J.P. McVey (eds.), *Responsible Marine Aquaculture*, Cap. 9, p. 145-157, CABI, UK.
- BOYRA A., SANCHEZ-JEREZ P., TUYA F., ESPINO F., HAROUN R. 2004. Attraction of wild coastal fishes to an Atlantic subtropical cage fish farms, Gran Canaria, Canary Islands. *Environmental Biology of Fishes* 70:393-401.
- BROWDY C.L. 2002. Foreword. *In*: R.R. Stickney, J.P. McVey (eds.), *Responsible Marine Aquaculture*, p. xiii-xv, CABI Publishing, UK.
- BUCK B.H., KRAUSE G., ROSENTHAL H. 2004. Extensive open ocean aquaculture development within wind farms in Germany: the prospect of offshore co-management and legal constraints. *Ocean and Coastal Management* 47:95-122.
- BURKE L., SELIGY, L., SPALDING M. 2002. Reefs at risk in Southeast Asia. UNEP-WCMC, Cambridge, UK, 86 p.
- CARMONA G., RADULOVICH R. 1988. Metodología de evaluación de veranillos y de siembra temprana como estrategia para minimizar sus efectos. *Turrialba* 38:215-222.
- CIMAR. 2006. Lista de publicaciones del CIMAR. [www.cimar.ucr.ac.cr/Publicaciones.htm](http://www.cimar.ucr.ac.cr/Publicaciones.htm).
- CONSTANTZ J. 1989. Distillation irrigation: a low-energy process for coupling water purification and drip irrigation. *Agricultural Water Management* 15:253-264.
- CONTE F.S. 2004. Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science* 86:205-223.
- COSTA-PIERCE B.A. 2002. The 'blue revolution' -aquaculture must go green. *World Aquaculture* 33:4-5, 66.
- CRAWFORD C.M., MACLEOD C.K.A., MITCHELL I.M. 2003. Effects of shellfish farming on the benthic environment. *Aquaculture* 224:117-140.
- CHANDROO K.P., DUNCAN I.J.H., MOCCIA R.D. 2004. Can fish suffer?: perspectives on sentience, pain, fear and stress. *Applied Animal Behaviour Science* 86:225-250.
- CHAPMAN F.A., FITZ-COY S.A., THUNBERG E.M., ADAMS C.M. 1997. Unites States of America trade in ornamental fish. *Journal of the World Aquaculture Society* 28:1-10.
- CHESHUK B.W., PURSER G.J., QUINTANA R. 2003. Integrated open-water mussel (*Mytilus planulatus*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) culture in Tasmania, Australia. *Aquaculture* 218:357-378.
- CHOPIN J., HODGES C.E., SCHMIDT F. 2004. Mariculture from another perspective. *World Aquaculture* 35: 34-36.
- DEMPSTER T., SANCHEZ-JEREZ P., BAYLE-SEMPERE J., KINGSFORD M. 2004. Extensive aggregations of wild fish at coastal sea-cage fish farms. *Hidrobiologia* 525:245-248.
- DE SILVA S.S. 1998. Tropical mariculture: current status and prospects. *In*: S.S. De Silva (ed.), *Tropical Mariculture*, Cap. 1, 1-16 pp., Academic, S Diego, 487 p.

- DEVOE M.R., HODGES C.E. 2002. Management of marine aquaculture: the sustainability challenge. *In*: R.R. Stickney, J.P. McVey (eds.), *Responsible Marine Aquaculture*, Cap. 2, 21-43 pp., CABI, UK.
- ELSTON R.A., DUNGAN C.F., MEYERS T.R., REECE K.S. 2004. *Perkiasus* sp infection risk for manila clams, *Venerupis philippinarum* (A. Adams and Reeve, 1850) on the Pacific coast of North and Central America. *Journal of Shellfish Research* 23:101-105.
- ENGLUND G., COOPER S.D. 2003. Scale effects and extrapolation in ecological experiments. *Advances in Ecological Research* 33:161-213.
- FAO. 2002. The state of world fisheries and aquaculture. FAO Fisheries Department, Rome, 150 p.
- FLETCHER K.M., NEYREY E. 2004. Marine aquaculture zoning: A sustainable approach in the growth of offshore aquaculture. Mississippi-Alabama Sea Grant Legal Program, [www.olemiss.edu/orgs/SGLC/zoning.htm](http://www.olemiss.edu/orgs/SGLC/zoning.htm).
- FLETCHER K.M., WESTON G. 2004. The legal and regulatory environment offshore aquaculture permitting process in the Gulf of Mexico. Mississippi-Alabama Sea Grant Legal Program. [www.olemiss.edu/orgs/SGLC/offshore.htm](http://www.olemiss.edu/orgs/SGLC/offshore.htm).
- FRANCIS T., PADMAVATHY P., RAMANATHAN N. 2004. Integrated fish farming -a review. *World Aquaculture* 35:24-29.
- HALWART M., GUPTA M.V. (eds.). 2004. Culture of fish in rice fields. FAO y World Fish Center, Roma, 83 p.
- HARACHE Y., PAQUOTTE P. 1998. European marine fish farming: an emerging industrial activity. *World Aquaculture* 29:42-48.
- HANISAK M.D. 1998. Seaweed cultivation: global trends. *World Aquaculture* 29:18-21.
- IFPRI. 2003. Fish to 2020. IFPRI-World Fish Center, Washington D.C. 146 p.
- JACKSON C., PRESTON N., THOMPSON P.J. 2004. Intake and discharge nutrient loads at three intensive shrimp farms. *Aquaculture Research* 35:1053-1061.
- KIRKAGAC M., DEMIR N. 2004. The effects of grass carp on aquatic plants, plankton and benthos in ponds. *J. of Aquatic Plant Management* 42:32-39.
- KUHN T.S. 1962. The structure of scientific revolutions. University of Chicago Press, Chicago, 210 p.
- KWON H.B., LEE C.W., JUN B.S., YUN J.D., WEON S.Y., KOOPMAN B. 2004. Recycling waste oyster shells for eutrophication control. *Resources Conservation and Recycling* 41:75-82.
- LUBCHENCO J. 2003. The blue revolution: a global ecological perspective. *World Aquaculture* 34:8-10.
- MCMURTRY M.R., SANDERS D.C., CURE J.D., HODSON R.G., HANING B.C., AMAND P.C. 1997. *Journal of the World Aquaculture Society* 28:420-428.
- MCVEY J.P., STICKNEY R.R., YARISH C., CHOPIN T. 2002. Aquatic polyculture and balanced ecosystem management: new paradigms for seafood production. *In*: R.R. Stickney, J.P. McVey (eds.), *Responsible Marine Aquaculture* Cap. 7, 91-104 pp., CABI, UK.
- MIRANDA C.D., ZEMELMAN R. 2002. Antimicrobial multiresistance in bacteria isolated from freshwater Chilean salmon farms. *Science of the Total Environment* 293:207-218.
- MIYAMOTO M., YOSHIDA Y., KOUBE H., MATSUYAMA Y., TAKAYAMA H. 2002. The red tide of a dinoflagellate *Gyrodinium* sp in Youkaku Bay in 1995: environmental features during the red tide and its effect on cultured finfish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 68:157-163.
- MOLDEN D., DE FRAITURE C. 2004. Investing in water for food, ecosystems and livelihoods. Blue Paper, IWMI-SIWI, Stockholm, 122 p.
- MONTAIGNE F. 2003. Everybody loves Atlantic salmon, here's the catch. *National Geographic* July:100-123.
- 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 mariculture. *Aquaculture* 231:361-391.
- NUNES A.J.P., PARSONS G.J. 1998. Dynamics of tropical coastal aquaculture systems and the consequences to waste production. *World Aquaculture* 29:27-37.
- NUNES A.J.P., SURESH A.V. 2001. Marine shrimp farming in northeastern Brazil. *World Aquaculture* 32:32-36, 66-67.

- ONU. 2005. UN millennium project. Investing in development -A practical plan to achieve the millennium development goals. Communications Development Inc., Washington, D.C., 346 p.
- PARK J.C., LEE M.S., LEE D.H., PARK B.J., HAN D.W., UZAWA M., TAKATORI K. 2003. Inactivation of bacteria in seawater by low-amperage electric current. *Applied and Environmental Microbiology* 69:2405-2408.
- PARSONS H., NOWAK B., FISK D., POWELL M. 2001. Effectiveness of commercial freshwater bathing as a treatment against amoebic gill disease in Atlantic salmon. *Aquaculture* 195:205-210.
- PHILLIPS M.J. 1998. Tropical mariculture and coastal environmental integrity. *In: S.S. De Silva (ed.), Tropical Mariculture, Cap. 2, 17-69 pp., Academic, San Diego.*
- PIR . 2003. Using cages in marine aquaculture. Fact sheet No. 68/01, Primary Industries and Resources S.A., [www.pir.sa.gov.au/factsheets](http://www.pir.sa.gov.au/factsheets).
- RADULOVICH R. 1988. Degradación ambiental en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 12:253-271.
- RADULOVICH R. 1997. Sustentabilidad y uso del agua en Latinoamérica. *Revista Forestal Centroamericana* 18:13-17.
- RADULOVICH R. 1999. Extensión Agrícola: Análisis y propuestas. Editorial Universidad de Costa Rica, San José. 62 p.
- RADULOVICH R. 2000. Sequential cropping in seasonal tropical regions. *Agronomy Journal* 92:912-918.
- RADULOVICH R., RODRÍGUEZ R., MONCADA O. 1994. Captación de agua de lluvia en el hogar rural. Informe Técnico No. 220, CATIE, Turrialba, 41 p.
- RADULOVICH R., KARREMANS J.A.J. 1993. Validación de tecnologías en sistemas agrícolas. Serie Técnica, Inf. Técnico No. 212, CATIE, Turrialba, 95 p.
- RADULOVICH R. 2002. Cultivos flotantes en el mar regados con agua destilada. Boletín No. 1, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, 2 p.
- RADULOVICH R. 2005. Cultivando el mar. Boletín No. 2, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, 2 p.
- ROGERS E.M. 2003. Diffusion of innovations. 5<sup>th</sup> Ed. The Free Press, New York. 512 p.
- SANCHEZ P., SWAMINATHAN M.S. 2005. Cutting world hunger. *Science* 307:357-359.
- SARA G., SCILIPOTI D., MAZZOLA A., MODICA A. 2004. Effects of fish farming waste to sedimentary and particulate organic matter in a southern Mediterranean area (Gulf of Castellammare, Sicily): a multiple stable isotope study (delta C-13 and delta N-15). *Aquaculture* 234:199-213.
- STONICH S.C., BORT J.R., OVARES L.L. 1999. Challenges to sustainability: The Central American shrimp mariculture industry. *In: L. U. Hatch, M.E. Swisher (eds.), Managed ecosystems: The Mesoamerican Experience, pp. 212-221, Oxford University Press, New York.*
- SOLAR SOLUTIONS. 2004. [AquaCone.www.Solarsolutions.info/products/productsright.html](http://AquaCone.www.Solarsolutions.info/products/productsright.html).
- STICKNEY R.R., McVEY J.P. 2002. Responsible marine aquaculture. CABI, UK, 391 p.
- TEICHERT-CODDINGTON D. 1999. Shrimp farming in Southern Honduras: A case for sustainable production. *In: L. U. Hatch y M.E. Swisher (eds.), Managed Ecosystems: The Mesoamerican Experience, pp. 222-230, Oxford University Press, New York.*
- TREECE G.D. 2002. Shrimp farm effluents. *In: R.R. Stickney, J.P. McVey (eds.), Responsible marine aquaculture Cap. 15, 297-309 pp., CABI, UK.*
- TROELL M., HALLING C., NEORI A., CHOPIN T., BUSCHMANN A.H., KAUTSKY N., YARISH C. 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture* 226:1-4.
- UNESCO. 2006. El agua -una responsabilidad compartida. Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. UNESCO, Paris, 358 p.
- VALDERRAMA D., ENGLE C.R. 2002. Economic optimization of shrimp farming in Honduras. *Journal of the World Aquaculture Society* 33:398-409.
- WORLD BANK. 1991. Tropical aquaculture development -research needs. World Bank Technical Paper Number 151, The World Bank, Wash., D.C., 52 p.
- WURTS W.A. 1998. Why can some fish live in fresh water, some in salt water, and some in both? *World Aquaculture* 29:65.