

Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina



Fotografía de la portada:

Las imágenes representan los diversos tipos de SIG, sensores remotos y aplicaciones de mapeo que resuelven problemas en el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina. Incluyen, de izquierda a derecha, la selección de sitios y zonas, los florecimientos dañinos de algas, el impacto de la acuicultura sobre el medio ambiente, la competencia entre la acuicultura y la pesca, el desarrollo del cultivo de algas marinas y la planeación estratégica para la acuicultura en mar abierto. La fotografía de fondo, tomada el 22 de febrero de 2004 (cortesía de Fernando Jara), muestra una granja de salmón atlántico de alta tecnología y de 2 000 toneladas en el estuario de Reloncaví, 41° Lat. S y 72° Lon. W. El mar interior de Chile, dentro de su intrincado sistema de fiordos y canales protegidos, cuenta con condiciones óptimas para la acuicultura. Las temperaturas templadas y los abundantes recambios de agua dulce representan ventajas competitivas para el cultivo de especies exóticas, tales como el salmón y la trucha, lo que convierte a Chile en uno de los principales productores de salmón cultivado.

Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina

por

James McDaid Kapetsky
Consultor

y

José Aguilar-Manjarrez
Oficial de Recursos Pesqueros

Servicio de Gestión y Conservación de la Acuicultura
Departamento de Pesca y Acuicultura FAO

La mención u omisión de compañías específicas, sus productos o marcas no implica un apoyo o juicio de la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas.

Las designaciones utilizadas y la presentación de material en este producto de información no implican la expresión de cualquier opinión por parte de la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas sobre el estatus legal o de desarrollo de ningún país, territorio, ciudad o área ni de sus autoridades, o sobre la delimitación de sus fronteras o límites.

ISBN 978-92-5-105646-2

Todos los derechos reservados. La reproducción o distribución del material de este producto informativo con fines educativos y otros no comerciales están permitidas sin autorización previa escrita de los titulares del derecho de autor, siempre y cuando la fuente sea citada adecuadamente. La reproducción del material de este producto informativo para su reventa u otros fines comerciales está prohibida sin autorización escrita de los titulares del derecho de autor. Las solicitudes para dicho permiso deberán enviarse a:

Jefe

Electronic Publishing Policy and Support Branch

Communication Division

FAO

Viale delle Terme di Caracalla, 00153, Roma, Italia

O por correo electrónico a:

copyright@fao.org

Preparación de este documento

El principal objetivo de este documento es promover el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sensores remotos y mapeo para mejorar la sustentabilidad de la acuicultura marina. Al enfocarnos en los países en desarrollo, queremos enfatizar la implementación de SIG con el menor costo posible y el uso de datos disponibles públicamente accesibles en Internet. Nuestra intención es demostrar la utilidad y limitaciones de los SIG, sensores remotos y mapeo a través de ejemplos selectos de una variedad de aplicaciones de estas herramientas.

Este es uno de varios productos en una larga lista de actividades técnicas del Servicio de Gestión y Conservación de la Acuicultura de la FAO que trata de herramientas espaciales para mejorar la sustentabilidad de la acuicultura y pesquerías de aguas interiores. El público objetivo de esta publicación consiste en profesionales del sector pesquero en niveles administrativos y técnicos tanto en el gobierno como en organizaciones internacionales y en la industria acuícola.

El Dr. J.M. Kapetsky anteriormente ocupó el cargo Oficial Mayor de Recursos Pesqueros de la FAO.

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sensores remotos y mapeo tienen un papel que jugar en todos los aspectos geográficos y espaciales del desarrollo y gestión de la acuicultura marina. Los sensores satelitales, aéreos, terrestres y submarinos adquieren muchos de los datos relacionados, especialmente sobre temperatura, velocidad de corrientes, altura de olas, concentración de clorofila y uso de aguas y tierras. Los SIG se utilizan para manipular y analizar datos espaciales y propiedades de los datos procedentes de las distintas fuentes. También se utilizan para producir reportes en formato de mapas, bases de datos y textos que faciliten los procesos de toma de decisiones.

El objetivo de este documento es ilustrar las maneras en que los Sistemas de Información Geográfica, sensores remotos y mapeo juegan un papel en el desarrollo y gestión de la acuicultura marina per se y en relación con competencia de usos y conflicto. La perspectiva es global. El enfoque es emplear ejemplos de aplicaciones que buscan solucionar varios de los temas importantes en la acuicultura marina. El énfasis es sobre las maneras en que se han utilizado estas herramientas para resolver problemas, no en las herramientas y tecnologías en sí mismas. Así, consideramos que GISFish, el portal de Internet de la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) para los SIG, sensores remotos y mapeo aplicados a la acuicultura y pesquerías terrestres, es un recurso complementario a este documento técnico.

El propósito subyacente es estimular el interés de individuos en el gobierno, y en los sectores industriales y educativos de la acuicultura marina para que hagan un uso más efectivo de estas herramientas. Una breve introducción a las herramientas espaciales y su uso en el sector de pesquerías marinas precede los ejemplos de aplicaciones. Las aplicaciones más recientes se han seleccionado como indicadores de la última tecnología, permitiendo que los lectores realicen sus propias evaluaciones de los beneficios y limitantes de estas herramientas en sus propias disciplinas. Se seleccionaron otras aplicaciones para ilustrar la evolución del desarrollo de las herramientas.

El principal énfasis es sobre los SIG. Los sensores remotos son considerados una herramienta esencial para la captura de datos que serán incorporados a un SIG y para el monitoreo en tiempo real de condiciones ambientales para la gestión operativa de las instalaciones acuícolas. Los mapas suelen ser uno de los resultados de un SIG, aunque también son herramientas efectivas para la comunicación espacial. De esta manera, se incluyen ejemplos de mapeo para la acuicultura.

Las aplicaciones están organizadas por tema a través de las principales vertientes de la acuicultura: cultivo de peces en jaulas, cultivo de moluscos y cultivo de plantas marinas. Tanto las aplicaciones recientes como las históricas se resumen en tablas. Ya que la disponibilidad de datos es uno de los temas primarios en el uso de herramientas espaciales para la acuicultura marina, se incluye un estudio de caso que ilustra la manera en que se puede utilizar los datos disponibles en Internet para estimar el potencial de la acuicultura marina y se dedica una sección a describir los diversos tipos de datos. Debido a que el propósito último de los SIG es ayudar a la toma de decisiones, se incluye una sección sobre las herramientas de apoyo a las decisiones.

Finalmente, resumimos nuestros hallazgos y llegamos a algunas conclusiones sobre la aplicación de los SIG, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y gestión de la acuicultura marina.

Kapetsky, J.M.; Aguilar-Manjarrez, J.

Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina.

FAO Documento Técnico de Pesca No. 458. Roma, FAO. 2009. 125p.

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a todos los colegas que nos permitieron revisar copias de sus investigaciones, artículos y reportes técnicos. Extendemos un agradecimiento especial a quienes revisaron la versión original en inglés por sus valiosos comentarios. En orden alfabético, son: William Arnold, Malcolm Beveridge, William Fisher, Alessandro Lovatelli, James Muir, Oscar Pérez, Lindsay Ross, Philip Scott y Doris Soto. También quisiéramos agradecer a Steve Walker por sus invaluable contribuciones a la Tabla 4.3. Tina Farmer y Françoise Schatto-Terribile supervisaron la publicación. Sylviane Borghesi preparó la portada y Fabio Carocci asistió en el diseño. La traducción de inglés a español corrió a cargo de Yalí Noriega y Pedro Noriega. La especialista de diseño del documento fue Nadia Pellicciotta.

Contenido

Preparación de este documento	iii
Resumen	iv
Agradecimientos	vi
Figuras	ix
Tablas	xi
Acrónimos y abreviaturas	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos y visión general	1
1.2 La importancia de la acuicultura marina	3
1.2.1 Producción y tendencias en la acuicultura marina en el sector pesquero	3
1.2.2 Países importantes en maricultura	3
1.2.3 Grupos importantes de especies acuáticas en maricultura	3
1.2.4 Importancia por Zona Económica Exclusiva	3
1.2.5 Desarrollo y gestión de la acuicultura marina	4
1.3 Contexto espacial de tópicos costeros y de mar abierto que conforman la acuicultura marina	5
1.3.1 Reinos costeros y marinos	5
1.3.2 Tópicos costeros y de mar abierto	7
1.3.3 Planificación avanzada de la acuicultura marina	7
1.4 Introducción a los sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo	9
1.4.1 Desarrollo y gestión de la acuicultura marina desde una perspectiva espacial	9
2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SENSORES REMOTOS Y MAPEO EN EL AMBIENTE MARINO Y EN EL SECTOR PESQUERO – UNA VISIÓN GENERAL	11
2.1 Historia de los sistemas de información geográfica	11
2.2 Sistemas de información geográfica en el ambiente marino	11
2.3 Publicaciones de sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo en el sector pesquero	11
2.3.1 Reseñas y manuales	12
2.3.2 Simposios, talleres e Internet	14
3. RESEÑA DE APLICACIONES SELECTAS	17
3.1 Aplicaciones de mapeo en la acuicultura marina	17
3.1.1 Introducción al mapeo	17
3.1.2 Mapeo dirigido al desarrollo de la acuicultura	18
3.1.3 Mapeo para la práctica y gestión acuícola	25
3.2 Aplicaciones de sensores remotos en la acuicultura marina	27
3.2.1 Visión general de las aplicaciones de sensores remotos	27
3.2.2 Sensores remotos para el desarrollo de la acuicultura	29

3.2.3 Sensores remotos para la práctica y gestión acuícola	30
3.3 Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en la acuicultura marina	33
3.3.1 Introducción a las aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica para jaulas marinas	33
SIG para el desarrollo de la acuicultura en jaulas marinas	34
SIG para la práctica y gestión acuícola de las jaulas marinas	41
SIG para el desarrollo y gestión multisectorial que incluye la acuicultura marina en jaulas	43
3.3.2 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica para el cultivo de moluscos	45
SIG para el desarrollo de la acuicultura marina de moluscos	48
SIG para la práctica y gestión de la acuicultura de moluscos	50
SIG para el desarrollo y gestión multisectorial que incluye a la acuicultura marina de moluscos	62
3.3.3 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica para el cultivo de algas marinas	66
3.4 Economía, socioeconomía y SIG	69
3.4.1 Economía y cultivo en jaulas	69
3.4.2 Economía y socioeconomía de la acuicultura mundial	69
4. ESTIMANDO EL POTENCIAL ACUÍCOLA DE MAR ABIERTO EN LAS ZONAS ECONÓMICAS EXCLUSIVAS CON SENSORES REMOTOS Y SIG: UN RECONOCIMIENTO	71
4.1 Introducción	71
4.2 Materiales y métodos	71
4.3 Resultados	78
4.4 Discusión	79
5. DISPONIBILIDAD DE DATOS	87
5.1 Datos de los sistemas de información geográfica con cobertura global	87
5.1.1 Compilaciones de datos de los Sistemas de Información Geográfica	88
5.1.2 Datos de sensores remotos en tiempo real para la gestión operativa	90
5.2 Datos nacionales	91
6. HERRAMIENTAS DE TOMA DE DECISIONES Y MODELADO EN SIG	93
6.1 Introducción	93
6.2 Clasificación	93
6.3 Evaluación de criterios múltiples	94
6.4 Modelado	95
6.5 Herramientas de apoyo a las decisiones	97
7. RESUMEN, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	103
7.1 Resumen	103
7.2 Discusión y conclusiones	106
8. GLOSARIO	111
Referencias	115

Figuras

1.1	Tendencias de producción por medio ambiente en el sector pesquero 1995-2004	2
1.2	Producción por maricultura y producción acumulada en 2004, excluyendo a China	2
1.3	Tendencias de producción acuícola marina por grupo ISCAAP	4
1.4	Producción acuícola marina en 2004 y superficie de la ZEE (excluyendo a China)	4
1.5	Tipos de jaula que probablemente se encuentren en sitios de clases 1 a 4	6
2.1	Categorías de retos a los que se enfrentan los SIG de pesca	13
2.2	Página principal de GISFish (versión prototipo del 17 de enero de 2007)	16
3.1	Sitios potenciales para el desarrollo del cultivo marino en Lampung	19
3.2	Áreas Propuestas de Gestión para la industria acuícola en las aguas costeras de las Islas Shetland	20
3.3	Vista General del Mapa N° 12	21
3.4A	AGAs propuestas mostradas sobre un fondo de restricciones al cultivo marino identificadas durante el proceso de evaluación de la etapa 1	22
3.4B	Rutas navegables principales y secundarias del Puerto de Kaipara	23
3.5A	Estudio de selección de sitio para identificar zonas potenciales para el desarrollo de la acuicultura costera en la provincia de Málaga, España	24
3.5B	Instalaciones acuícolas individuales, fotografía aérea y vista de planta de la instalación del puerto. Provincia de Málaga, España	24
3.6A	Visión general de los servicios disponibles de AquaGIS de la Página de Ayuda	26
3.6B	Buscador de mapas de AquaGIS mostrando sitios acuícolas, límites de sitio y comunidades	26
3.6C	Buscador de mapas de AquaGIS mostrando capas a las que pueden accederse en el SIG de Acuicultura Regional de la Costa Sur	27
3.6D	Perfil de sitio acuícola y su correspondiente mapa de ubicación de AquaGIS	28
3.7	Proceso de Modelado de Apropiabilidad de Sitio	28
3.8A	Mortandades de peces	31
3.8B	Intoxicación paralítica por moluscos	31
3.9	Desarrollo de un florecimiento algal en 2003.	32
3.10	Mapa de olas apropiadas para (a) Estación marina, (b) Spar oceánico y (c) jaulas Corelsa36	36
3.11	Mapa de reservas completas	36
3.12A	Estructura conceptual del análisis de apropiabilidad para la integración de jaulas marinas a la industria turística en Tenerife	38
3.12B	Estructura conceptual del análisis de apropiabilidad para la selección de sitios de jaulas marinas en Tenerife (estructura jerárquica) mostrando las ponderaciones asignadas a los diferentes factores y submodelos	40
3.13	Arquitectura del modelo integrado	42
3.14	Imagen de contorno para un sitio de granja de peces mostrando la sedimentación pronosticada de carbono fecal en el sedimento, utilizando un modelo de dispersión de SIG. (a) Modelo de jaulas estáticas, (b) modelo de jaulas móviles.	43
3.15	Acuicultura en mar abierto en la Bahía de Fundy, Canadá	44
3.16	Apropiabilidad para el cultivo de camarón, moluscos bivalvos y trucha a lo largo del estado de Rio de Janeiro, Brasil	48
3.17A	Marco metodológico para evaluar las posibilidades de cultivo de ostión en balsas en lagunas en la Isla Margarita, Venezuela, y dos islas cercanas más pequeñas	51
3.17B	Mapa final mostrando las zonas que representan más del 80% de las posibles ubicaciones en el sur de Macano y Coche, cubriendo 4.1 km ²	52
3.18	Pérdida de duración de inmersión (en %) para una tasa de sedimentación teórica de 50 cm sobre las áreas concesionadas de ostión en Bancs de Ronce y Bourgeois	52

3.19	Un ejemplo de la versión digitalizada de la Evaluación del Fondo de la Bahía de Maryland en la región del Río Coptank	56
3.20	Integración de modelos y SIG	58
3.21	Capacidad de sostenimiento del cultivo de almeja de Manila, <i>Tapes philippinarum</i> , en la laguna Sacca di Goro a lo largo de la costa adriática del norte de Italia	60
3.22	Áreas apropiadas para las concesiones para el cultivo de almeja dura en la Zona C de la laguna del río Indio, Florida	61
3.23	Áreas de conflicto de apropiabilidad de hábitats para almeja y vegetación acuática sumergida (SAV)	62
3.24	Densidad máxima de mejillón azul en Lamfjorden 1993-2003	64
3.25	Un ejemplo de áreas potenciales para el cultivo de algas marinas en Paraíba, como se indica por el análisis de SIG (las áreas verdes indican un alto potencial mientras que las áreas anaranjadas indican un potencial medio)	64
3.26	Valor de la pesca comercial en la región de Nueva Inglaterra	66
3.27	Países pobres dependientes de la acuicultura (directa e indirectamente)	67
3.28	Países más dependientes de la acuicultura que son al menos moderadamente pobre (directa e indirectamente)	67
3.29	Representación esquemática del modelo de evaluación de vulnerabilidad	68
3.30	Vulnerabilidad	68
4.1	Área de estudio	73
4.2	Datos básicos: batimetría, temperatura	73
4.3	Crecimiento de cobia y temperatura del agua	75
4.4	Crecimiento de mejillón azul y temperatura del agua	75
4.5	Crecimiento de mejillón azul y concentración de clorofila-a	77
4.6	Acceso desde ensenadas al mar en viajes en un solo sentido en barco de 1, 2 y 3 horas (22, 44 y 66 km)	77
4.7	Profundidad y apropiabilidad para estructuras de cultivo	80
4.8A	Apropiabilidad para cultivo de cobia en términos de estructuras de cultivo y crecimiento	80
4.8B	Apropiabilidad para el cultivo de cobia en términos de superficie (km ²)	81
4.9A	Apropiabilidad par el cultivo de mejillón azul en términos de temperatura, concentración de clorofila y profundidad	81
4.9B	Apropiabilidad para el cultivo de mejillón azul en términos de superficie (km ²)	82
4.10A	Apropiabilidad para el cultivo de cobia en términos de tiempo-distancia desde una ensenada	83
4.10B	Apropiabilidad para el cultivo de cobia en términos de tiempo-distancia desde una ensenada	83

Tablas

1.1	Características de la acuicultura costera y en mar abierto	6
1.2	Comparación de estrategias de acuicultura marina categorizadas por grado de exposición de la operación a eventos naturales oceanográficos y tormentas (de Bridger <i>et al.</i> (2003) Tabla 1, con modificaciones basadas en comunicación personal de M. Beveridge y D. Soto)	8
1.3	Tópicos ambientales clave asociados a la acuicultura	9
2.1	Principales tópicos de acuicultura de la base de datos de GISFish (versión prototipo del 17 de enero de 2007)	15
3.1	Resumen de aplicaciones de mapeo para la acuicultura marina estructurado por tópicos principales	18
3.2	Resumen de aplicaciones de sensores remotos en la acuicultura marina organizadas por tópicos principales	29
3.3	Matriz de selección de sitio mostrando la apropiabilidad para el cultivo de ostión	30
3.4	Resumen de aplicaciones de SIG al cultivo de peces de aleta en jaulas, organizado por tópicos principales	35
3.5	Resumen de aplicaciones de SIG en la acuicultura marina de moluscos organizado por tópicos	46
3.6	Resumen de resultados de modelado en SIG para el potencial y demanda de Rio de Janeiro	49
3.7	Criterios y factores de apropiabilidad, su consideración óptima y niveles categóricamente restrictivos	53
3.8	Factores descritos en una herramienta de gestión de SIG sobre regulación de la producción de bivalvos en Limfjorden	65
4.1	Características de profundidad de instalaciones de jaulas experimentales y comerciales y especificaciones de los fabricantes	76
4.2	Resumen de umbrales utilizados para evaluar el potencial de la acuicultura en mar abierto en Estados Unidos de América (ZEEs del Atlántico, Golfo de México y Puerto Rico – USVI)	78
4.3	Datos espaciales disponibles para descarga gratuita y su aplicación para evaluar el potencial de la acuicultura marina: organismos cultivados (OC), instalaciones de cultivo en mar abierto (OF) y viajes de transporte y mantenimiento desde las instalaciones costeras a las instalaciones de cultivo en mar abierto (TM)	84
6.1	Software para apoyar el análisis de criterios múltiples (actualizado a partir de Janssen y van Herwijnen, 2006)	97
6.2	Herramientas de apoyo a las decisiones basadas en SIG para AMPs	100

Acrónimos y abreviaturas

AGA	Área de Gestión Acuícola
AMP	Áreas Marinas Protegidas
ANOA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
AquaGIS	El Sistema de Información Geográfica Acuícola de Newfoundland y Labrador
CCPR	Código de Conducta para la Pesca Responsable
COC	Departamento de Acuicultura del Centro Oceanográfico Español en Tenerife
ECM	Evaluación de Criterios Múltiples
EIRM	Espectrómetro de Imágenes de Resolución Media
ERIRM	Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada
ETOPO	Datos Mundiales en Relieve en Tabla de 2 Minutos
FDA	FloreCIMiento Dañino de Algas
GICCO	Grupo Internacional de Coordinación del Color Oceánico
GISFish	Portal Mundial de Sistemas de Información Geográfica, Sensores Remotos y Mapeo para la acuicultura y pesca terrestre
IISA	Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales
KML	Keyhole Markup Language
LBS	Lenguaje de Búsquedas de Sistema
LMV	Línea costera Mundial de Vectores
PMA	Programa Mundial de Alimentos
PMAS	Proceso de Modelado de Apropiabilidad de Sitio
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
RAEC	Radiómetro Avanzado de Escaneo de Caminos
RFA	Radiación Fotosintéticamente Activa
SCALM	Sistemas de Clasificación Acústicos del Lecho Marino
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SFAG	Software de Fuente Abierta y Gratuita
SMI	Servidor de Mapas de Internet
TSM	Temperatura de la Superficie del Mar
VAS	Vegetación Acuática Sumergida
ZEE	Zona Económica Exclusiva

1. Introducción

1.1 OBJETIVOS Y VISIÓN GENERAL

El principal objetivo de este documento es promover el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sensores remotos y mapeo como una manera de apoyar el desarrollo y gestión de la acuicultura marina sustentable. La perspectiva es global y el enfoque es sobre los países en desarrollo. Debido a este enfoque, enfatizamos la implementación de los SIG al menor costo con base en datos que están disponibles gratuitamente en el Internet. Utilizando un estudio de caso en los Estados Unidos de América como ejemplo, mostramos que una primera aproximación al potencial acuícola marino puede realizarse sobre la Zona Económica Exclusiva de cualquier país. Nuestra reseña de aplicaciones selectas de los SIG, sensores remotos y mapeo sobre la acuicultura marina subraya las últimas tecnologías, permitiendo al lector que haga su propia evaluación de los beneficios y limitantes de estas herramientas. Este documento está vinculado con GISFish, un portal de Internet de la FAO que publica mucha de la experiencia acumulada sobre la aplicación de los SIG, sensores remotos y mapeo en la acuicultura y pesca en aguas interiores a través de bases de datos de la literatura disponible de los Abstractos de Ciencias Acuáticas y Pesca, y, en muchos casos, documentos y reportes completos. En la Sección 2.3.2 se describe GISFish en mayor detalle.

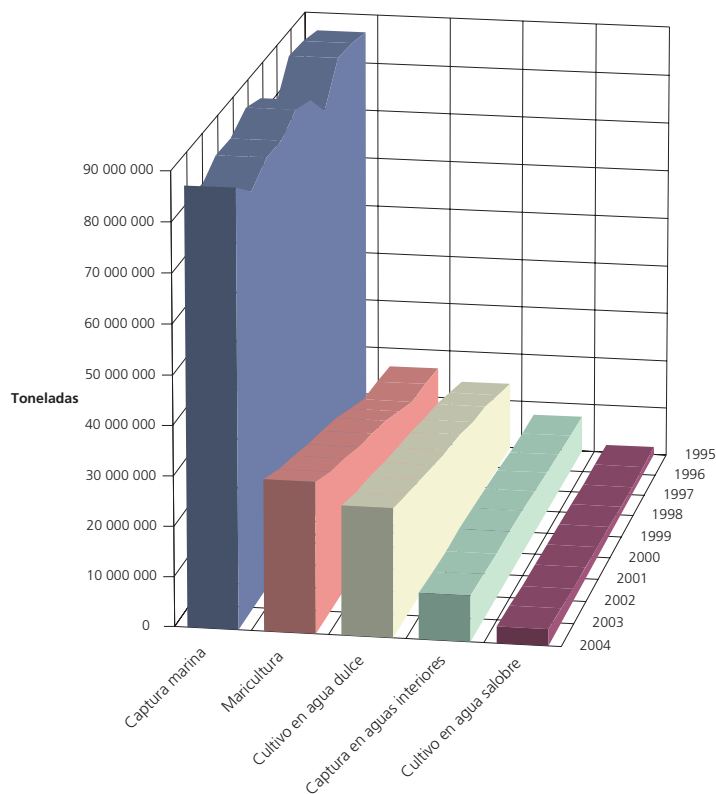
Nuestro énfasis principal es sobre los SIG. Consideramos los sensores remotos como una herramienta esencial para la captura de datos que serán incorporados a un SIG y para el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales para la gestión operativa de las instalaciones acuícolas. Los mapas suelen ser un resultado de los SIG, pero pueden ser herramientas efectivas para la comunicación espacial en sí mismas. Así, incluimos ejemplos de mapeo para la acuicultura.

Las aplicaciones de estas herramientas se explican mejor conociendo ciertos antecedentes. Primero, se establece la importancia de la acuicultura marina en el sector pesquero. Luego se revisan los SIG, sensores remotos y mapeo dentro de dos tipos de marcos: el primero es amplio e incluye los temas que engloban el desarrollo presente y futuro de la acuicultura; el segundo es más específico y condensa algunas experiencias sobre la aplicación de estas herramientas en un formato de reseña que engloba el propósito (investigación, desarrollo operativo y gestión), especies meta, ecosistema (terrestre, cerca de la costa, mar abierto), sistemas de cultivo, alcance geográfico, los factores y restricciones analizados, modelos, y métodos utilizados para la toma de decisiones. La disponibilidad de datos para los SIG, así como el modelado y la toma de decisiones, se tratan en capítulos aparte.

Como se indica, nuestro enfoque es sobre cómo se ha utilizado la aplicación de las herramientas para resolver temas importantes en la acuicultura marina, no sobre las herramientas y tecnologías en sí mismas. Sin embargo, como apoyo para entender los aspectos técnicos subyacentes de las aplicaciones, se incluye una sección de Glosario con vínculos a la terminología relevante. En GISFish se podrán encontrar información técnica más detallada, así como vínculos a software gratuito y comercial.

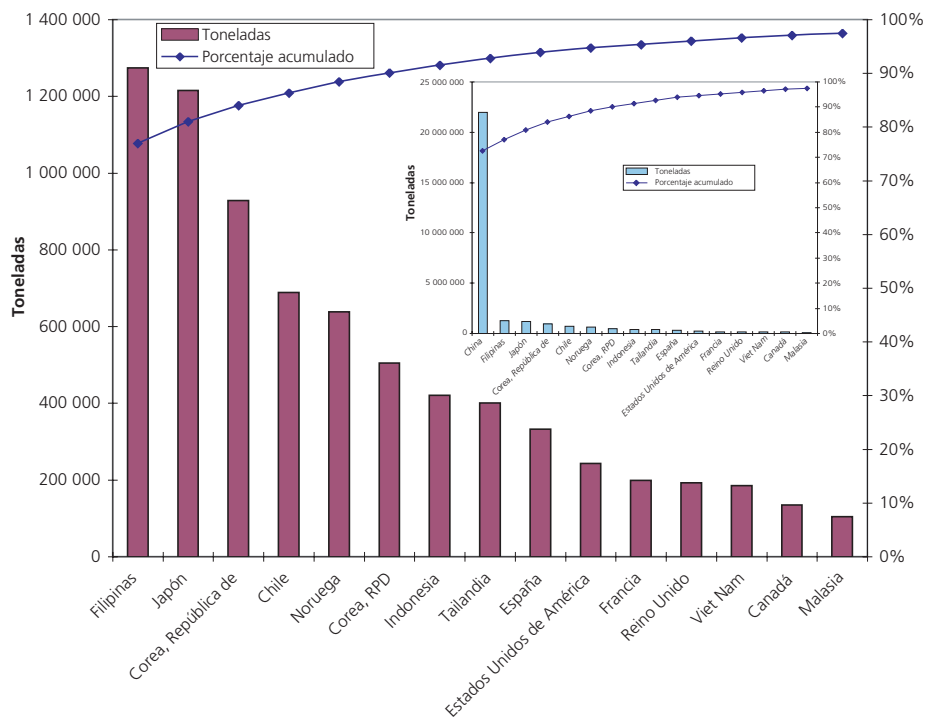
Finalmente, comentaremos el estado de la aplicación de los SIG, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y gestión de la acuicultura marina y haremos algunas recomendaciones para mejorar la implementación.

FIGURA 1.1
Tendencias de producción por medio ambiente en el sector pesquero 1995-2004



Fuente: FAO (2006a)

FIGURA 1.2
Producción por maricultura y producción acumulada en 2004, excluyendo a China



Fuente: FAO (2006a)

1.2 LA IMPORTANCIA DE LA ACUICULTURA MARINA

1.2.1 Producción y tendencias en la acuicultura marina en el sector pesquero

En 2004, la producción total del sector pesquero alcanzó los 156 millones de toneladas. Respecto a los ambientes y fuentes, la captura marina representó 87 millones de toneladas y la captura en aguas interiores nueve millones de toneladas, la maricultura 30 millones de toneladas, el cultivo en agua dulce 27 millones de toneladas, y el resto, tres millones de toneladas, provino del cultivo en aguas salobres (FAO, 2006a).

La producción de la maricultura está creciendo rápidamente. En la última década, la maricultura aumentó de 13 a 19% de la producción total, el cultivo en agua dulce aumentó de 11 a 17% mientras que la captura marina disminuyó de 69 a 56% y el cultivo en agua salobre aumentó de 1 a 2%. La captura en aguas interiores se mantuvo estática en su importancia relativa en un 6% de la producción total (Figura 1.1).

1.2.2 Países importantes en maricultura

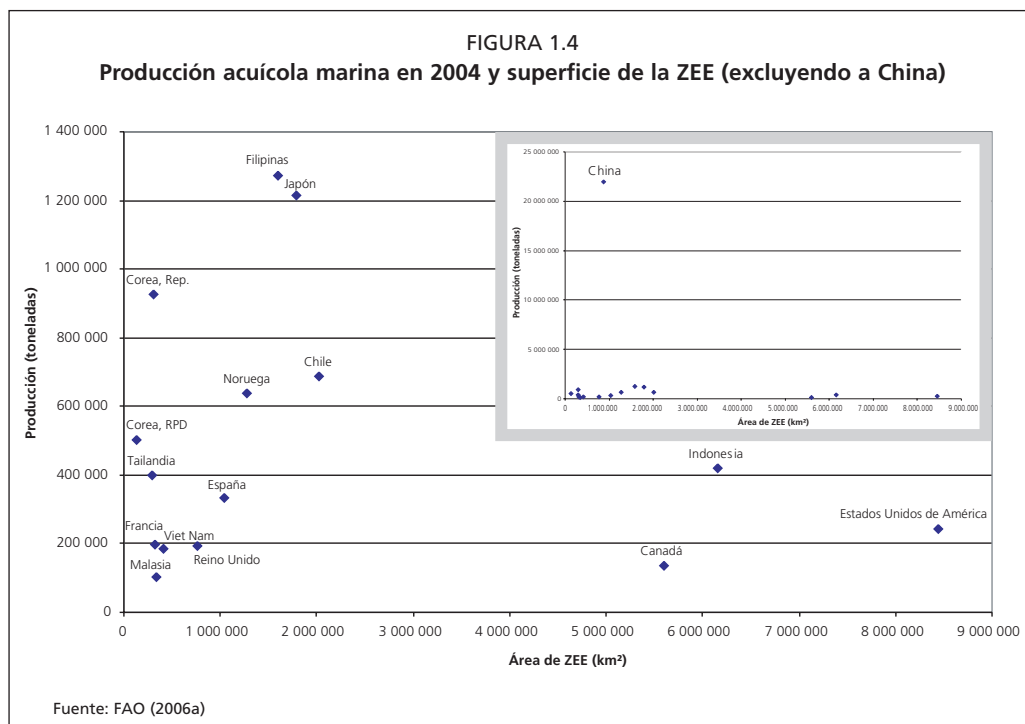
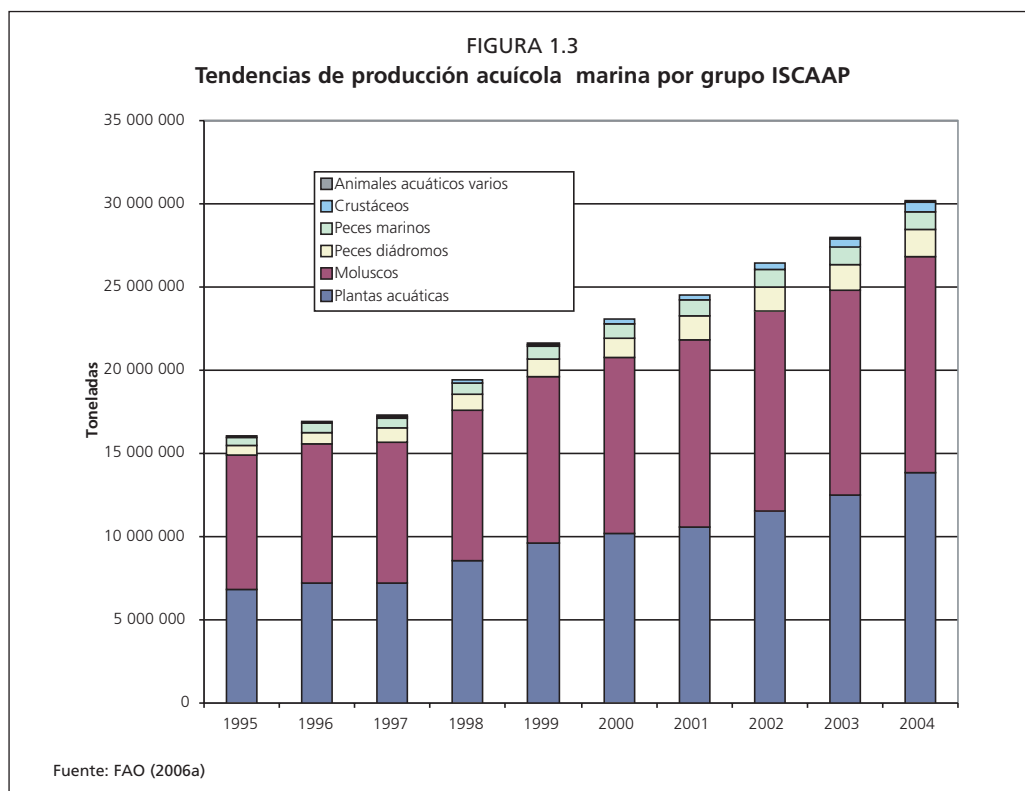
De los 186 países del mundo que tienen costas, 86 países reportaron producción por maricultura a la FAO en 2004. De estos, China reportó casi 22 millones de toneladas, casi 73% del total mundial. Las Filipinas y Japón sobrepasaron el millón de toneladas cada uno y hubo otros 13 países cuya producción de la maricultura fue de más de 100 000 toneladas. Juntos, estos productores representaron el 97% de la producción de la maricultura mundial (Figura 1.2).

1.2.3 Grupos importantes de especies acuáticas en maricultura

Considerando el peso de la producción en grupos amplios en 2004, la producción acuícola marina estuvo dominada por las plantas acuáticas (46%) y los moluscos (43%), mientras que los peces diadromos (principalmente salmónidos) representaron el 5% y los peces marinos el 4%. Los crustáceos, con 2%, fueron los menos importantes. Las proporciones relativas han permanecido constantes durante la última década (Figura 1.3). El valor total de los productos de la acuicultura marina en 2004 fue de US\$ 27.8 mil millones.

1.2.4 Importancia por Zona Económica Exclusiva

Una Zona Económica Exclusiva (ZEE) es el área bajo jurisdicción nacional (370 km o hasta 200 millas náuticas) declarada de acuerdo con las provisiones de la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982. Dentro de la ZEE, el Estado costero tiene el derecho de explorar y explotar, así como la responsabilidad de conservar y administrar, los recursos vivos y no vivos que se encuentren ahí. Las ZEE son las áreas principales en que la acuicultura marina se puede expandir hacia el mar abierto a partir de las operaciones que se realizan actualmente cercanas a la costa. La mayoría de los países tienen grandes ZEE asociadas con sus territorios principales y muchos países tienen ZEE adicionales asociadas con sus posesiones allende el mar. A primera vista, las oportunidades para la expansión de la acuicultura marina en las ZEE parecen enormes; sin embargo, las limitaciones actuales sobre las tecnologías relacionadas con la profundidad y las condiciones marítimas, así como la competencia por otros usos, reducen el área disponible. Sin embargo, no parece haber alguna relación entre las áreas de las ZEE de los territorios de la metrópoli de los principales productores de acuicultura marina y su producción en 2004 (Figura 1.4). La producción por kilómetro cuadrado de área de ZEE varía de casi 25 toneladas en China hasta 0.02 toneladas en Canadá.



1.2.5 DESARROLLO Y GESTIÓN DE LA ACUICULTURA MARINA

Existe una amplia literatura sobre el desarrollo y gestión de la acuicultura marina que cubre los aspectos técnicos, sociales, económicos y especialmente los ambientales en el contexto de la gestión costera integrada (p.ej, GESAMP, 2001). Sin embargo, el Código de Conducta para la Pesca Responsable (CCPR) (FAO, 1005) ofrece el mejor punto de partida para entender los tópicos más amplios de la acuicultura y las soluciones

potenciales dentro de los marcos nacionales e internacionales. Los Lineamientos Técnicos para la Pesca Responsable de la FAO (FAO, 1007) complementan el CCPR al tratar el Artículo 9, Desarrollo Acuícola, del Código. La Declaración y la Estrategia de Bangkok, con base en la Conferencia sobre Acuicultura en el Tercer Milenio (Subasinghe *et al.*, 2000) establecen una estrategia para el desarrollo con un horizonte de dos décadas.

Algunos simposia y las subsecuentes memorias han enfatizado la investigación aplicada a las técnicas y especies de la acuicultura marina (p.e., *Seafarming Today and Tomorrow*; Basurco y Sarologia, 2002), aunque otros como *Open Ocean Aquaculture, From Research to Commercial Reality* (Bridger y Costa-Pierce, 2003), *Farming the Deep Blue* (Ryan, 2004), *The Future of Mariculture: A Regional Approach for Responsible Development of Mariculture in the Asia-Pacific Region* (FAO/NACA, en imprenta) y *Offshore Mariculture 2006* (<http://www.offshoremiculture.com>) han tratado aspectos importantes del desarrollo tales como políticas, instituciones, socioeconomía, ingeniería, medio ambiente, especies potenciales y logística y operaciones.

Las diferencias en el avance del desarrollo de la acuicultura marina se reflejan en las variadas producciones entre los países (Sección 1.2.2). En este respecto, una consideración importante es que, a pesar de que varios tópicos son iguales o similares entre los países, las soluciones y el avance de su desarrollo son de carácter nacional. Otra consideración importante, el razonamiento para la implementación de los SIG, sensores remotos y mapeo, es que muchos de los temas de desarrollo y gestión de la acuicultura marina poseen contextos geográficos o espaciales.

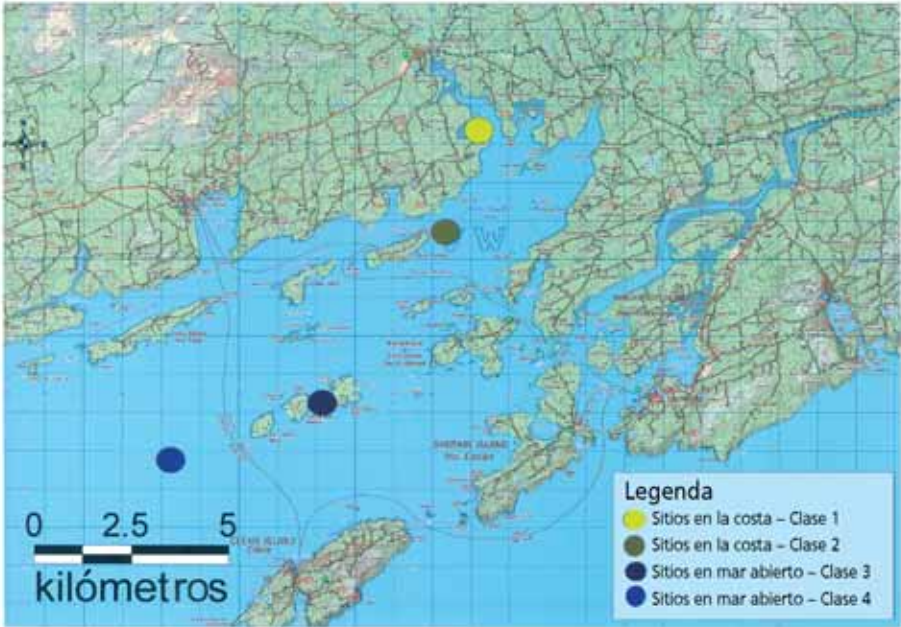
1.3 CONTEXTO ESPACIAL DE TÓPICOS COSTEROS Y DE MAR ABIERTO QUE CONFORMAN LA ACUICULTURA MARINA

1.3.1 Reinos costeros y marinos

Al tratar con la acuicultura marina, dos reinos ambientales se hacen evidentes: el costero y el de altamar o mar abierto. Cada reino tiene sus propios tópicos que varían principalmente en su importancia relativa. Ryan (2004) cree que “de mar abierto” se relaciona con la distancia de la costa que depende de un aumento en la energía de las olas y la carencia de protección; sin embargo, nota que aún falta una definición más precisa. Respecto a las características de las jaulas, Ryan (op cit.) describe cuatro tipos de ubicaciones, dos de las cuales son del tipo de mar abierto que contrastan con los tipos costeros (Figura 1.5).

Igualmente, Bridger *et al.* (2003) reconocen cuatro tipos de sitios para la acuicultura marina de acuerdo con su grado de exposición: (1) instalaciones en tierra, (2) ambientes costeros (bahías protegidas y fiordos), (3) sitios expuestos y (4) sitios en mar abierto. Muir (2004) compara la acuicultura costera (en la costa) con la acuicultura en mar abierto con base en cuatro criterios, incluyendo ubicación/hidrografía, medio ambiente, acceso y operación (Tabla 1.1) mientras que señala que es necesario enfatizar el grado de exposición y las condiciones operativas. Booth y Wood (2004) proveen una descripción más generalizada que considera la zona costera como un área visible desde la tierra (p.ej., la zona entre mareas, bahías y estuarios) mientras que las zonas lejanas a la costa no se ven desde tierra. Desde un punto de vista conceptual, “cerca de la costa” y “lejos de la costa” son indicadores del espacio acuático para la acuicultura marina, pero utilizar un análisis espacial nos permite definir con más precisión dónde se puede desarrollar la acuicultura así como prever las necesidades de gestión. De hecho, son los requisitos de los organismos cultivados, la estructura de cultivo, la instalación de apoyo costero y el acceso los que juntos definen el potencial de la acuicultura marina. En este sentido, cerca de la costa y lejos de la costa, poseen poco significado.

FIGURA 1.5
Tipos de jaula que probablemente se encuentren en sitios de clases 1 a 4



Clase	1	2	3	4
Descripción convencional (relacionada con la exposición del sitio):	Sitio protegido en tierra	Sitio semi-expuesto en tierra	Sitio expuesto fuera de la costa	Sitio en mar abierto
Tipo de jaula utilizada:	Gravedad de superficie	Gravedad de superficie	Gravedad de superficie, tensión del ancla	Gravedad de superficie, rigidez de superficie, tensión del ancla, gravedad sumergida, rigidez sumergida

Fuente: Ryan (2004)

TABLA 1.1
Características de la acuicultura costera y en mar abierto

Características	Costera (terrestre)	Acuicultura fuera de la costa
Ubicación/ Hidrografía	05-3km, 10-50m de profundidad; a la vista, en general al menos semi-protégido	2+ km, en general dentro de las zonas de plataforma continental, posiblemente en mar abierto
Medio ambiente	Hs <= 3-4m, generalmente <= 1m; vientos breves, Corrientes costeras localizadas, corrientes de marea posiblemente fuertes	Hs 5m o más, generalmente 2-3m, marejadas oceánicas, periodos variables de viento, menos efecto de corrientes localizadas
Acceso	>= 95% accesible al menos una vez al día, se puede desembarcar	generalmente > 80% accesible, se puede desembarcar, periódicamente p.ej.. cada 3-10 días
Operación	regular, participación manual, alimentación, monitoreo, etc.	Operaciones remotas, alimentación automática, monitoreo a distancia, funcionamiento del sistema

Terminología: Hs = altura de ola significativa – término oceanográfico estándar, aproximadamente equivalente al promedio del tercio más alto de las olas.

Fuente: Muir (2004)

1.3.2 Tópicos costeros y de mar abierto

Los tópicos relacionados con la acuicultura marina en general (Marine Aquaculture Task Force, 2007) y a la acuicultura en mar abierto en particular (Stickney *et al.*, 2006) se han tratado en reseñas recientes.

Creemos que el enfoque más productivo para implementar los SIG, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina es primero tratar los tópicos y después evaluar el grado en el que estas herramientas pueden solucionarlos. Kapetsky y Aguilar-Manjarrez (2004) propusieron un marco categórico de los temas relacionados con la acuicultura y lo utilizan para evaluar el progreso en la implementación de los SIG. Las principales categorías de tópicos son: (1) desarrollo, (2) práctica y gestión acuícola, y (3) desarrollo y gestión multisectorial que incluye a la acuicultura.

Considerando los ambientes costeros y de mar abierto, los temas varían más en grado que en tipo. Esto se refleja en las conocidas razones para trasladar la acuicultura a zonas de mar abierto. Básicamente, se trata de reducir o solucionar los problemas más apremiantes que se enfrentan cerca de la costa (Tabla 1.2). Entre las consideraciones más importantes está la de reducir el impacto de la acuicultura en el entorno costero más cercano (Tabla 1.3), la necesidad de más espacio para acomodar las operaciones acuícolas más grandes que pueden aprovechar economías de escala en mar abierto,

reducir la competencia y los conflictos de otros usos, eliminar los impactos visuales, y mejorar la calidad del agua. Respecto a esto último, Ryan (2004) menciona más intercambios de agua que en las zonas costeras, generados por la acción del viento y las olas y las corrientes que dispersan los desechos de la acuicultura y reducen la incidencia de infecciones ectoparasitarias. Otra ventaja desde el punto de vista del cultivo es que las temperaturas acuáticas son más estables y menos extremas en mar abierto. Las desventajas de alejarse de la costa son tópicos que cobran importancia. Entre estos está la necesidad de estructuras de cultivo aptas para todos los climas debido a la falta de protección, las distancias y el costo del transporte de alimentos, el servicio, mantenimiento y monitoreo de las instalaciones, y su seguridad.

Desde otra perspectiva, los temas espaciales cerca de la costa tratan problemas históricos y actuales surgidos de la acuicultura existente; mientras que los de mar abierto, toda vez que este tipo de acuicultura está en pañales, se perciben como temas potenciales. Varios tipos de acuicultura cerca de la costa, principalmente de moluscos, no pueden trasladarse a mar abierto con las tecnologías actuales. Por lo tanto, los tópicos espaciales costeros tendrán que resolverse si se desea que la acuicultura marina se expanda.

Tanto percatarse de las ventajas como evitar las desventajas, requieren una planificación detallada previa y atención a los criterios de sitio.

1.3.3 Planificación avanzada de la acuicultura marina

Cicin-Sain *et al.* (2001), in the course of developing a policy framework of offshore Cicin-Sain *et al.* (2001), al desarrollar un marco de políticas para la acuicultura fuera de la costa en aguas estadounidenses, encontraron que uno de los mayores problemas en todos los países estudiados involucraban conflictos entre la ubicación de las granjas piscícolas y otros usos de las aguas costeras, tales como tráfico marítimo, la pesca, turismo y la protección de áreas naturales. Por lo tanto, parecía importante desarrollar criterios de ubicación para la acuicultura, con el fin de minimizar la emergencia posterior de conflictos. En varios países (tales como Chile y Noruega), se comenzó un proceso formal para determinar “las áreas adecuadas para la acuicultura” al comienzo del proceso regulatorio.

Siguiendo sus trabajos previos, Cicin-Sain *et al.* (2005) idearon un marco operativo para el desarrollo de la acuicultura en mar abierto en aguas federales estadounidenses. Enfatizan que el desarrollo y operación de una granja en mar abierto requiere una inversión de millones de dólares y notan que las decisiones de ubicación con base en información insuficiente o errónea pueden crear demoras costosas, degradación ambiental, producción reducida, problemas de concesión, licencias y otros requisitos regulatorios, o, en última instancia, el fracaso del proyecto. Así, recomiendan que se realice un mapeo completo de las zonas en mar abierto para identificar las áreas apropiadas para la industria acuícola, así como sus otros usos, y para promover el desarrollo de un plan de zonas marinas detallado y basado en mapas.

Estos autores prevén la necesidad de contar con varias opciones para la ubicación de la acuicultura en mar abierto que, a su vez, requerirán diversos niveles de esfuerzo y detalles para su definición geográfica. Las opciones incluyen:

- Concesión o facilitación de sitios específicos para la acuicultura;
- Áreas designadas o pre-aprobadas para la acuicultura;
- Zonas de usos múltiples; y
- Parques para la acuicultura marina.

Se anticipan siete niveles para detallar las zonas acuícolas que van desde las que tienen pocas restricciones (p.e. todos los usos comerciales razonables incluyendo acuicultura, embarcaderos y pesca de arrastre, pero con prohibición de minas y perforaciones petroleras) hasta las que tienen un alto número de restricciones con la zona más restringida establecida para la conservación en su estado pristino.

TABLA 1.2
Comparación de estrategias de acuicultura marina categorizadas por grado de exposición de la operación a eventos naturales oceanográficos y tormentas (de Bridger *et al.* (2003) Tabla 1, con modificaciones basadas en comunicación personal de M. Beveridge y D. Soto)

Ubicación	Ventajas	Desventajas
Instalación terrestre	- Control de calidad del agua - No se requiere aislamiento de la operación de zonas pobladas - Completa protección de tormentas	- Espacio limitado - Inversión cara de capital
Ambientes costeros (bahías protegidas y fiordos)	- Menor inversión de capital - Protegido de muchos elementos naturales - Vigilancia posible con inversión mínima	- Posible auto contaminación - Espacio limitado para expansión - Se desea más aislamiento para estar libre de la contaminación costera antropogénica - Existen conflictos de uso cerca de la costa
Sitios expuestos	-Utilizan ambientes no explotados anteriormente -Insumo de agua consistente y de alta calidad -Aún se puede contar con protección visual desde tierra -Menor impacto ambiental (Soto)	-Expuestos a elementos naturales destructores - Espacio cerca de la costa limitado -Existen conflictos de usuarios cerca de la costa -Se requiere más infraestructura a mayor grado de exposición - Requiere más automatización
Sitios alejados de la costa	-Menos conflictos de otros usos -Insumos de agua consistentes –Mejores regimenes de corrientes producen peces de mejor calidad (Beveridge) –Menor incidencia de florecimientos dañinos de algas (FDA) y paso más rápido a través de las FDA debido a las mayores corrientes (Beveridge) – Mayor potencial para la expansión de la industria	- Realmente expuestos sin protección de ningún lado -Mayor costo de capital asociado con mayor tecnología y mecanización – Se necesita personal mejor capacitado (y más caro), incluyendo buzos y quienes puedan pilotear barcos más grandes y sofisticados (Beveridge) – Las tasas de conversión alimenticia pueden ser más pobres si las corrientes son fuertes, pero la calidad de la carne (niveles de lípidos más bajos) puede mejorar, garantizando precios más altos (Beveridge) - Se requiere una gran inversión para garantizar la rentabilidad económica -Aislamiento completo desde las bases costeras, sin tierra a la vista - Mayor riesgo de escape (Soto)

TABLA 1.3
Tópicos ambientales clave asociados a la acuicultura

Tópico	Características principales
Desechos y carga de nutrientes	Descarga de sólidos, N.P., vitaminas, minerales, químicos de crecimiento o enfermedades, antibióticos; impacto de materiales de desechos sobre el bentos adyacente y la columna de agua; sobre la diversidad de especies o la comunidad, los índices de calidad, posible estimulación de florecimientos,
Intercambio de agua	descargas de las jaulas, enclaves u otras estructuras; cantidades requeridas, efectos de abstracción, dilución con desechos de “grado bajo” a concentraciones suficientes para disminuir la calidad medida, pero demasiado bajas para un tratamiento sencillo.
Organismos ferales	de sistemas dañados o a través de inundación, rejillas de descarga dañadas o ineficientes; riesgos de competencia con contaminación genética de especies locales, transmisión de enfermedades, biodiversidad reducida directa o indirectamente
Depredación por conservación	causan daños, pérdidas, enfermedades relacionadas con el estrés de especies cultivadas, requiriendo controles especies sujetas a sin comprometer los intereses de conservación;
Mayor demanda de control preventivo	requieren un enfoque precautorio o incluso de “tolerancia cero” al desarrollo de control existente y preventivo, implicando una comprensión anticipada de procesos y riesgos, y provisión de áreas de muy bajo riesgo ambiental.

Fuente: Muir (2004)

1.4 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA,

SENSORES REMOTOS Y MAPEO

1.4.1 Desarrollo y gestión de la acuicultura marina desde una perspectiva espacial

Los Sistemas de Información Geográfica, sensores remotos y mapeo juegan un papel importante en todos los aspectos geográficos y espaciales del desarrollo y la gestión de la acuicultura marina. Los sensores remotos, que pueden ser satelitales, aéreos, terrestres y submarinos, se utilizan para adquirir la mayoría de los datos cerca de la costa y lejos de ella, especialmente sobre temperaturas, velocidad de corrientes, altura de olas, concentración de clorofila y uso de agua y tierra. En esencia, se utilizan los SIG para evaluar las condiciones más adecuadas para el desarrollo de la acuicultura y organizar un marco para la gestión acuícola. “Las condiciones más adecuadas para el desarrollo” y el “marco para la gestión” pueden verse en dos niveles. El primer nivel trata únicamente de los requisitos para realizar acuicultura per se. El segundo nivel es la acuicultura en el contexto de otros usos de tierras y aguas. Para ambas tareas de desarrollo y gestión, los datos espaciales y de atributos de todas las fuentes relacionadas con criterios específicos son manipulados y analizados dentro de una plataforma de SIG para facilitar la toma de decisiones. Los resultados son reportes en formato de base de datos, mapas y texto.

Desde una perspectiva geográfica, tres tipos amplios de información son esenciales para planear el desarrollo y gestión de la acuicultura marina: (1) el entorno ideal para las plantas y animales a cultivar; (2) el ambiente idóneo para la estructura de cultivo y; (3) acceso. De estos, el acceso es el más amplio y complejo. Debe considerar las jurisdicciones administrativas y los usos alternos del sub-fondo, fondo, columnas acuáticas, superficie acuática y tierra (esta última para localizar las instalaciones de apoyo en la costa o al cultivo marino en tierra). También examina el costo de sitios de cultivo de apoyo (en tiempo y distancia) y la geografía de los mercados de los productos cultivados.

Los SIG no están divorciados de la economía. Al contrario, los estudios basados en SIG darán los resultados más útiles cuando se diseñen con la colaboración de los economistas y con datos que puedan ser interpretados en términos económicos.

2. Sistemas de Información Geográfica, sensores remotos y mapeo en el ambiente marino y en el sector pesquero – una visión general

El objetivo de esta sección es proveer una breve reseña de la evolución de los SIG y su uso en el ambiente marino en general, y específicamente en el sector pesquero. Como se señala con más detalle en las subsecciones siguientes, estas disciplinas son importantes porque los SIG enfocados a la acuicultura dependen de los datos y técnicas aplicados a otros fines. Además, estas visiones generales proveen los antecedentes para reseñas más detallados de las aplicaciones que tratan temas específicos de la acuicultura marina en la Sección 3.

2.1 HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Las raíces geográficas de los SIG datan de hace 2 500 años y se basan en la exploración, investigación y teorías geográficas. A principios de la década de 1960, el conocimiento geográfico reunido comenzó a ser formalizado en herramientas computacionales para ingresar, archivar, editar, recuperar, analizar y resultar en información sobre recursos naturales. El primer SIG fue el Sistema de Información Geográfica de Canadá y marcó el comienzo de un esfuerzo mundial para formalizar y automatizar los principios geográficos para solucionar problemas espaciales. Tras más de 40 años de desarrollo, los SIG son ahora el canal principal para solucionar problemas geográficos en una amplia gama de sectores además de los recursos naturales (DeMers, 2003).

2.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL AMBIENTE MARINO

Los trabajos sobre los SIG en el ambiente marino han sido principalmente promocionales y buscan demostrar una variedad de aplicaciones. Por ejemplo, Wright y Bartlett (2000), en un volumen editado, presentan temas conceptuales, técnicos e institucionales así como una variedad de aplicaciones. Wright (2002) trata los ambientes costeros y de mar abierto, enfocándose en las aplicaciones amplias de los SIG, incluyendo mapeo y visualización, cartas electrónicas de navegación, y la entrega de mapas y datos por medio del Internet. Breman (2002) reunió varios capítulos para demostrar el progreso en el uso de SIG en diversas ciencias marinas. Las aplicaciones se organizan por área oceánica. Un capítulo trata de la evaluación y gestión de la pesca. Otro capítulo de Bremen (2002) trata del comienzo del Modelo de Datos Marinos ArcSIG (Bremen, Wright y Halpin, 2002). La meta del modelo es proveer un marco estructural que represente adecuadamente la naturaleza dinámica de los procesos acuáticos. El modelo de datos marinos queda cubierto con más detalle en la Sección 6, Herramientas de modelado y toma de decisiones en SIG.

2.3 PUBLICACIONES DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SENSORES REMOTOS Y MAPEO EN EL SECTOR PESQUERO

Los SIG, sensores remotos y mapeo aplicados a la pesca son importantes para la acuicultura marina por dos razones: (1) muchos datos son de uso e interés común (p.e.,

ecosistemas y especies que son tanto pescadas como cultivadas), y las técnicas analíticas pueden ser similares o iguales y por lo tanto útiles para la acuicultura. Por ejemplo, los procedimientos y datos que se utilizan para establecer de manera espacial los hábitats esenciales para los peces son similares a los utilizados para ubicar los “hábitats” óptimos para la acuicultura. (2) Los SIG implementados para la gestión únicamente en la acuicultura o únicamente en la pesca pueden no ser eficientes al mismo grado geográfico o administrativo y, de hecho, podrían negar una de las ventajas de los SIG, es decir, la promoción de la comprensión y cooperación entre diversas disciplinas. Por lo tanto, la evolución de los SIG y aplicaciones de sensores remotos tanto en la pesca como en la acuicultura se presentan en orden cronológico como piedras angulares.

Para llamar la atención a los diferentes tipos de información, una sección trata de la síntesis de experiencias a manera de reseñas y manuales. Para presentar el alcance de las experiencias, otra sección trata de los simposios, talleres y un sitio de Internet.

2.3.1 Reseñas y manuales

Reconociendo la necesidad de hacer mapas de pesca y recursos pesqueros en el contexto de la gestión de áreas costeras y con relación a los usos múltiples en la Zona Económica Exclusiva, Butler *et al.* (1987) produjeron un manual de la FAO con lineamientos prácticos y principios cartográficos que estaba dirigido al personal de los países en desarrollo. Al ver el potencial de los sensores remotos para apoyar a los pescadores, los científicos pesqueros y los administradores pesqueros, así como las entidades de pesca comercial, Butler *et al.* (1988) prepararon un manual introductorio sobre la aplicación de tecnologías de sensores remotos para la pesca marina. Simpson (1994) trató con mayor detalle las capacidades de los sensores remotos y SIG en la pesca marina y preparó el escenario para nuevas aplicaciones. Para entender mejor y planear tasas más altas de cambios en el uso oceánico, infraestructura y patrones espaciales socioeconómicos, especialmente sobre los recursos pesqueros y pesca, el Servicio de Gestión y Conservación de la Acuicultura de la FAO produjo una reseña extensa, redactada por Meaden y Kapetsky (1991), con el objetivo de mantener un equilibrio entre las tecnologías y sus aplicaciones. Nath *et al.* (2000), en el contexto de las aplicaciones en acuicultura, identificaron algunas restricciones para la implementación de los SIG y propusieron un marco de siete etapas, gestionado por el usuario, para desarrollar un SIG que incluya al personal, actividades y procedimientos analíticos. Valvanis (2002) reseñó los SIG en la oceanografía y la pesca desde una perspectiva global, primero presentando los temas conceptuales, metodológicos e institucionales al aplicar los SIG en los ambientes marinos. Después trató los SIG en oceanografía y pesca por separado. En el capítulo de pesca, las aplicaciones de SIG en la acuicultura, principalmente relacionadas al potencial acuícola y a la selección del sitio, se trataron muy brevemente.

Al identificar la necesidad de un manual del tipo “hágalo usted mismo” para el personal pesquero que no tiene una formación formal en los SIG, el Servicio de Gestión y Conservación de la Acuicultura de la FAO produjo un manual, redactado por De Graaf *et al.* (2003), basado en ArcView 3.x que presenta los temas básicos así como estudios de caso de aplicaciones que tratan con la pesca marina y de aguas interiores.

Fisher y Rahel (2004) son los editores de “Geographic Information Systems in Fisheries”, importante en varios aspectos: (1) un capítulo trata en detalle los retos intelectuales y teóricos para el despliegue de los SIG en los ambientes acuáticos (Meaden, 2004) (ver más abajo), y (2) trata los SIG para las aplicaciones en la pesca marina y en aguas interiores con sus capítulos organizados por ambiente pesquero (p.e., lagos, en mar abierto). Además, dedica un capítulo a las aplicaciones de SIG en la acuicultura en un marco basado en temas (Kapetsky, 2004).

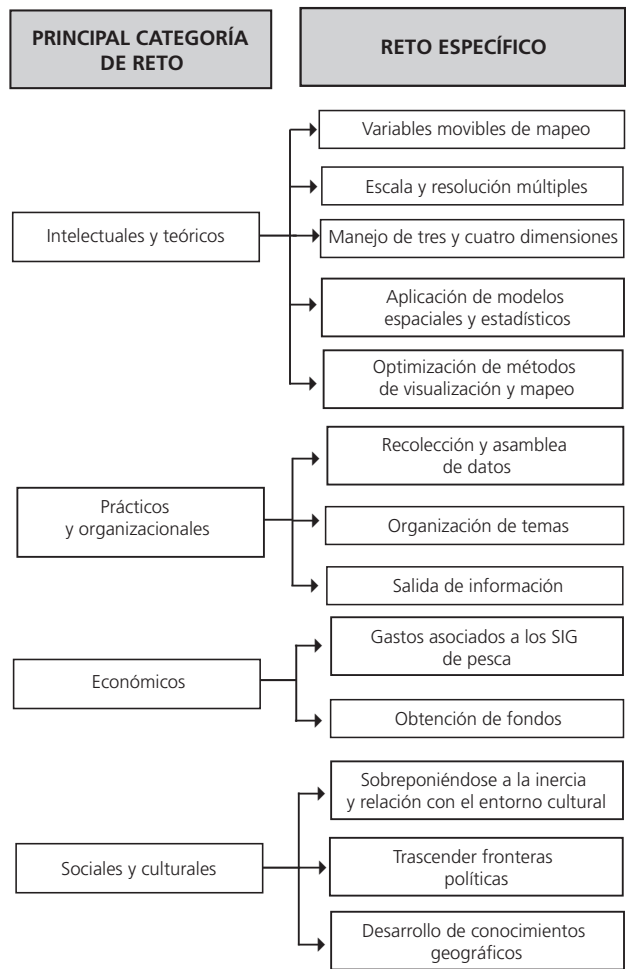
Meaden (2004) percibe retos operativos a los que se enfrentan los SIG en acuicultura y que inhiben la solución a los problemas; estos se dividen en cuatro categorías

principales: (1) intelectuales y teóricos, (2) prácticos y organizacionales, (3) económicos, y (4) sociales y culturales. Los retos específicos asociados se presentan en la Figura 2.1.

De acuerdo con Meaden (op cit.), la expansión de los SIG en la pesca dependerá del avance o logro de los siguientes:

- Reducción en costos de datos (información más fácil de acceder y con mayor distribución);
- Una proliferación de tecnologías de recolección de datos;
- Mejor organización de practicantes a nivel internacional;
- Creación de redes entre instituciones;
- Conferencias regionales;
- Ejemplos de aplicaciones en publicaciones “reconocidas”;
- Proyectos como ejemplos que ilustren temas analíticos y de presentación;
- Estandarización internacional de formatos de recolección de datos;
- Progreso en SIG en 3D y 4D junto con almacenamiento de datos y estructuras de modelado; y
- Fuentes de información marina más fáciles de acceder.

FIGURA 2.1
Categorías de retos a los que se enfrentan los SIG de pesca



Fuente: Meaden (2004)

Los análisis estadísticos son, sin duda, parte esencial de la geografía de la acuicultura marina. Meaden (2004) trata brevemente las estadísticas espaciales, el modelado espacial y el modelado. Ve los SIG como la plataforma de software o la actividad superficial sobre la cual se conciben, evalúan o prueban los modelos numéricos. De acuerdo con Meaden (op cit.) hay al menos dos principales retos matemáticos a los que se enfrentan los datos de modelado de pesca, uno de los cuales es la autocorrelación espacial y el otro es asegurar la importancia estadística.

Booth (2004) reseña a fondo los fundamentos y aplicaciones de las estadísticas espaciales en las ciencias acuáticas y la relación entre los SIG para la investigación científica en las estadísticas pesqueras y espaciales.

Booth y Wood (2004) reseñan las aplicaciones de SIG en la pesca marina en mar abierto y al hacerlo resumen las técnicas disponibles para el análisis mientras proveen una visión general de aplicaciones en investigación y gestión pesquera.

Fisher (en imprenta) reseña las maneras en que los SIG se aplican a la pesca, tal como se reporta en investigaciones que aparecen en publicaciones científicas arbitradas. Concluyó que el uso de los SIG se complica y sofisticada; sin embargo, las aplicaciones están dirigidas principalmente a hábitats y organismos mientras que la dimensión humana ha recibido relativamente poca atención.

2.3.2 Simposios, talleres e Internet

Las memorias de simposios y reportes de talleres basados en SIG son fuentes invaluable de ejemplos de aplicaciones que se relacionen directa o indirectamente con la acuicultura marina. Al revisar las tendencias de los SIG pesqueros, Fisher (en imprenta) encontró que 35 de los 100 documentos revisados publicados después de 1999 provenían de las memorias de un simposio.

Una gran variedad de experiencias de SIG, sensores remotos y mapeo en pesca se encuentra disponible a través de la iniciativa del Grupo de Investigación en SIG Pesqueros, quienes organizaron tres simposios y publicaron las memorias de dos simposios, preparando actualmente el tercero (Nishida, Kailola y Hollingworth, 2001; 2004; en imprenta). Desafortunadamente, las aplicaciones en acuicultura están poco representadas en estos simposios.

Taconet y Bensch (2000) reseñaron 16 documentos y otras 11 contribuciones a un taller que documenta las maneras en que los SIG se han aplicado a la gestión de pesca en el Mediterráneo. Encontraron que los SIG fueron útiles en términos de resultados en mapas que se utilizan para la comunicación, mostrando las dinámicas del ambiente marino, la ubicación de recursos, la pesca por monitoreo, y el modelado espacial del esfuerzo pesquero.

Kapetsky y Aguilar-Manjarrez (2004) inventariaron y cuantificaron el uso de los SIG en el desarrollo y gestión acuícola desde la perspectiva de la geografía, ecosistemas, organismos y tópicos para el periodo 1985-2002. Ellos, al igual que Nath *et al.* (2000), concluyeron que, a pesar de los muchos temas relacionados con el espacio que afectan la sustentabilidad de la acuicultura, los SIG no estaban siendo aplicados sistemática y sinópticamente para resolverlos. Categorizaron 157 estudios de SIG entre 1985 y 2002 formulados con base en tópicos y encontraron que la mayoría de las aplicaciones se relacionaban con el desarrollo de la acuicultura y a la práctica y gestión acuícola. Sin embargo, dentro de estas categorías principales, dos subcategorías importantes de los intentos, anticipando las consecuencias de la acuicultura y determinando el impacto de la misma, recibieron poca atención. Una tercera categoría principal, la integración de la acuicultura con la pesca y la acuicultura como parte de un desarrollo multisectorial, estaba poco representada. El recuento actual sobre la distribución de aplicaciones entre los principales tópicos y sus subcategorías, a la fecha de publicación de este documento, se muestra en la Tabla 2.1. Las proporciones relativas de las aplicaciones entre los tópicos permanecen casi constantes ahora como en el pasado.

TABLA 2.1
Principales tópicos de acuicultura de la base de datos de GISFish (versión prototipo del 17 de enero de 2007)

Principales tópicos de acuicultura de la Base de Datos	del número de los Registros de la Literatura	No.
SIG para el desarrollo de la acuicultura		
Adecuación de sitios y zonas		91
Planeación estratégica para el desarrollo		49
Anticipación de las consecuencias de la acuicultura		11
Economía		2
SIG para la práctica y gestión acuícolas		
Inventario y monitoreo de acuicultura y el medio ambiente		63
Impactos ambientales de la acuicultura		16
Restauración de hábitats de acuicultura		7
Sistema de información acuícola basado en la Web		2
SIG para el desarrollo y gestión multisectorial que incluye acuicultura		
Gestión de la acuicultura junto con pesca		3
Planeación para la acuicultura entre otros usos de agua y tierras		7
Total		294

Fuente: GISFish

Kapetsky y Aguilar-Manjarrez (2004) también compararon las aplicaciones de SIG con la producción acuícola por ecosistema y encontraron que la mayoría de las aplicaciones se realizaron en aguas salobres – ambientes costeros, el ecosistema con la menor producción acuícola, mientras que las aplicaciones de SIG en la relativamente más alta productividad en aguas dulces y ambientes marinos fueron pocas. Asimismo, los autores encontraron que había una distribución geográfica sesgada de las aplicaciones de SIG entre los países comparada con la importancia relativa de la producción acuícola a nivel nacional. En total, solamente hubo 33 países con estudios de SIG en acuicultura, cerca de un tercio del total de países con una producción acuícola que excede las 1 000 toneladas. Los Estados Unidos de América representó 36% del total. Asimismo, analizando las tendencias en los SIG aplicados a la pesca (excluyendo la acuicultura), Fisher (en imprenta) encontró que 47% de los documentos correspondían a los Estados Unidos de América y en total, sólo 31 países estaban representados.

Los resultados de estos análisis alertaron a Kapetsky y Aguilar-Manjarrez (2004) sobre la necesidad clave de tener información completa sobre los SIG, sensores remotos y mapeo aplicados a la acuicultura y pesca en aguas interiores. Un requisito relacionado era que la información estuviera fácilmente disponible de varias maneras. Se identificaron dos públicos, uno de usuarios potenciales que requerirían información sobre los beneficios de las herramientas. El otro público correspondía a los usuarios de SIG que necesitaban un acceso sencillo a las experiencias mundiales acumuladas sobre las aplicaciones. Como actividad de seguimiento, el Servicio de Gestión y Conservación de la Acuicultura de la FAO creó GISFish. GISFish es un sitio “único” de Internet desde el cual se puede obtener todo el alcance de la experiencia mundial en SIG, sensores remotos y mapeo aplicados a la acuicultura y a la pesca en aguas interiores (Figura 2.2). Se planea agregar la pesca marina.

GISFish se creó para satisfacer las necesidades mencionadas más arriba, especialmente para (1) promover el uso de los SIG, sensores remotos y mapeo; y (2) facilitar el uso de estas herramientas por medio del fácil acceso a la información completa sobre las aplicaciones y oportunidades de capacitación. GISFish establece los temas en la acuicultura y pesca en aguas interiores y demuestra los beneficios de utilizar los SIG, sensores remotos y mapeo para resolverlos. La experiencia global mencionada en GISFish se captura de varias maneras. Una de éstas es por medio de bases de datos

FIGURA 2.2

Página principal de GISFish (versión prototipo del 17 de enero de 2007)



de las referencias literarias con resúmenes de APCA (Abstractos de Pesca y Ciencias Acuícolas, o ASFA por sus siglas en inglés), y, en muchos casos, hay vínculos a reportes y documentos completos. Otra manera es por medio de una base de datos de recursos Web con vínculos a oportunidades de capacitación, programas gratuitos, datos y ejemplos de aplicaciones. GISFish también tiene acceso a estudios de caso para: (1) llamar la atención sobre la gran variedad de aplicaciones que han contribuido significativamente a solucionar temas importantes de sustentabilidad, y (2) proveer información importante que normalmente no aparece en documentos y reportes científicos, es decir, de qué maneras y con qué compromisos de tiempo y personal especializado se ha completado el trabajo. Muchos de los documentos revisados aquí son estudios de caso de GISFish. Finalmente, GISFish también promueve la comunicación entre los trabajadores al incluir descripciones de proyectos, actividades, novedades y vínculos. GISFish será publicado en 2007 en Internet y eventualmente como CD-ROM.

3. Reseña de aplicaciones selectas

Nuestro objetivo en esta sección es proveer una visión general del alcance de las aplicaciones y mapeo, sensores remotos y SIG en la acuicultura marina con base en aplicaciones históricas y actuales seleccionadas, organizadas dentro del marco de temas presentado en la Tabla 2.1; no pretendemos reseñar todas las aplicaciones. Kapetsky (2004) ha reseñado las aplicaciones de SIG en la acuicultura en aguas interiores hasta 2003, incluyendo el cultivo de camarón en estanques. Así, nos enfocaremos en las aplicaciones que no ha cubierto y enfatizaremos las que creemos serán los ejemplos más útiles. Además, GISFish, como ya se ha mencionado, publica los resúmenes y muchos documentos y reportes completos que no se citan aquí.

El formato de reseña incluye una declaración sobre porqué la aplicación es digna de mención, una descripción del ambiente, los temas o problemas a tratar, el criterio espacial utilizado para la evaluación, los resultados obtenidos y los comentarios sobre las mejoras al enfoque, si lo sugieren los autores. El mapeo, incluyendo sus sistemas de información, se presenta al principio. Después se presentan las aplicaciones de sensores remotos como un antecedente para los SIG y finalmente se presentan las aplicaciones de SIG en la acuicultura marina.

3.1 APLICACIONES DE MAPEO EN LA ACUICULTURA MARINA

3.1.1 Introducción al mapeo

Los mapas son el método tradicional de almacenar y mostrar la información geográfica. Un mapa es una representación gráfica de los rasgos físicos (naturales, artificiales o ambos) de una parte de toda la superficie de la Tierra, por medio de signos y símbolos o imágenes fotográficas, a una escala establecida, en una proyección específica y con los medios de orientación indicados (FAO, 2006b). Un mapa muestra tres tipos de información sobre los rasgos geográficos:

- Ubicación y extensión del rasgo;
- Atributos (características) del rasgo; y
- Relación del rasgo con otros rasgos.

En este sentido, el mapeo es la manera más directa para visualizar las relaciones espaciales involucradas en el desarrollo y gestión de la acuicultura y una de las maneras más sencillas para comunicar las necesidades bidimensionales de espacio que tiene la acuicultura entre los técnicos y el público en general.

Existe un amplio espectro de sofisticación en el mapeo, dependiendo de su objetivo. El objetivo aquí es proveer algunos ejemplos que ilustren cada grado. El mapeo para el desarrollo y gestión de la acuicultura marina se considera en tres categorías: (1) mapas que delinear los sitios y zonas acuícolas como acompañamiento a reportes técnicos; (2) mapas e información de atributos que pueden accederse por Internet y que están dirigidos a un amplio público de usuarios gubernamentales, comerciales y privados relacionados con el desarrollo y gestión acuícola. De hecho, estos son los sistemas de información acuícola. AquaGIS es el ejemplo principal; (3) mapas interactivos de Internet dirigidos a un público amplio que se logra por medio de los servidores de mapas de Internet en los que hay una variedad de opciones de capas para ver, atributos y descripciones, así como varias funciones tales como acercamiento/alejamiento y recorrido. Una función adicional importante en algunos sitios es la capacidad de descargar algunas capas de SIG en varios formatos. Las aplicaciones se resumen en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1
Resumen de aplicaciones de mapeo para la acuicultura marina estructurado por tópicos principales

Autores	Año	Tópico principal	País	Especies
Mapeo enfocado al desarrollo acuícola				
Tiensongrussme, Pontjoprawiro and Mintarjo	1988	Planeación estratégica para el desarrollo	Indonesia	Peces de aleta; caracoles, ostras perlíferas; pepinos de mar; algas; mejillón, y ostión. .
Auckland Regional Council	2002	Planeación estratégica para el desarrollo	Nueva Zelanda	Mejillón y ostión
Macias-Rivero, Castillo y Rey, and Zurita	2003	Planeación estratégica para el desarrollo	España	Especies no mencionadas
Environment Bay of Plenty	2006	Planeación estratégica para el desarrollo	Nueva Zelanda	Especies no mencionadas
Mapeo para la práctica y gestión acuícola				
Scottish Executive	2000	Impacto ambiental de la acuicultura	Escocia	Salmón
Marine Policy Center, Woods Hole Oceanographic Institution	2003	Sistema de información acuícola en la Web	Estados Unidos de América	Mamíferos marinos, ballenas.
Jordana	2004	Sistema de información acuícola y pesquera en la Web	España	Especies no mencionadas
AquaGIS, Government of Newfoundland and Labrador	2006	Sistema de información acuícola en la Web	Canadá	Bacalao atlántico; salmón atlántico; mejillón azul; trucha arco iris; otras especies

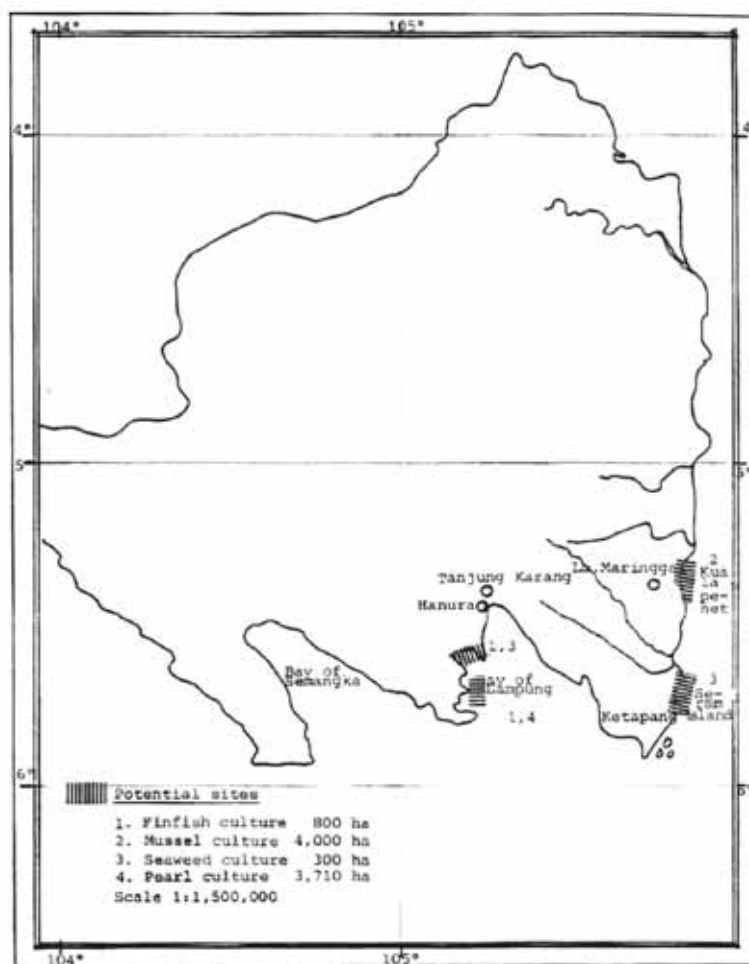
3.1.2 Mapeo dirigido al desarrollo de la acuicultura

El objetivo de esta sección es ilustrar una evolución en los enfoques de mapeo para acuicultura, facilitados por los avances de fondo en software y disponibilidad de datos. Todos los ejemplos de esta sección se relacionan con los temas de planeación estratégica y desarrollo.

Tiensongrussmee, Pontjoprawiro y Mintarjo (1988) reportan sobre una actividad para mapear el potencial de la maricultura a lo largo de las aguas costeras de Indonesia. Cabe mencionar este estudio por la escala geográfica de la operación, el número y variedad de especies y los métodos de cultivo incluidos, así como el uso de sensores remotos satelitales para apoyar el esfuerzo de mapeo. El estudio se realizó en un momento en que la política gubernamental se enfocaba a quitarle presión a los recursos pesqueros y a estimular el desarrollo de la acuicultura en escala comercial y también como pequeñas empresas para grupos de bajos ingresos. En general, los criterios biofísicos de localización se desarrollaron para cultivar peces de aleta en jaulas flotantes, el cultivo en fondo de berberechos, ostras perlíferas, pepinos marinos y el alga *Eucheuma*, el cultivo suspendido de mejillón, y el cultivo de ostión en estacas y desde balsas. También se tomó en cuenta las fuentes de contaminación y la competencia de usos. Oficiales gubernamentales de pesca identificaron sitios potenciales, en entrevista con pescadores y en la literatura. Un criterio positivo de sitio fue la presencia de poblaciones naturales de especies que se buscaba cultivar, sugiriendo que el entorno sería benéfico. Las selecciones de sitios fueron verificadas mediante visitas durante cinco años. El mapeo se basó en mapas topográficos, cartas náuticas e imágenes satelitales Landsat-5. Los mapas finales son trazos de costa con los sitios potenciales claramente marcados en diagramas; sin embargo, muchos de los mapas muestran la latitud y la longitud y algunos incluyen la escala y algunos muestran contornos de profundidad (Figura 3.1). Con base en los resultados se recomendó que cerca del 15% del total de los 5.8 millones de km² de las aguas costeras de Indonesia debería designarse para el cultivo marino.

En Escocia se ha realizado un mapeo de áreas propuestas para la gestión acuícola con relación a la salud de los peces, especialmente sobre el contagio de la anemia infecciosa

FIGURA 3.1
Sitios potenciales para el desarrollo del cultivo marino en Lampung



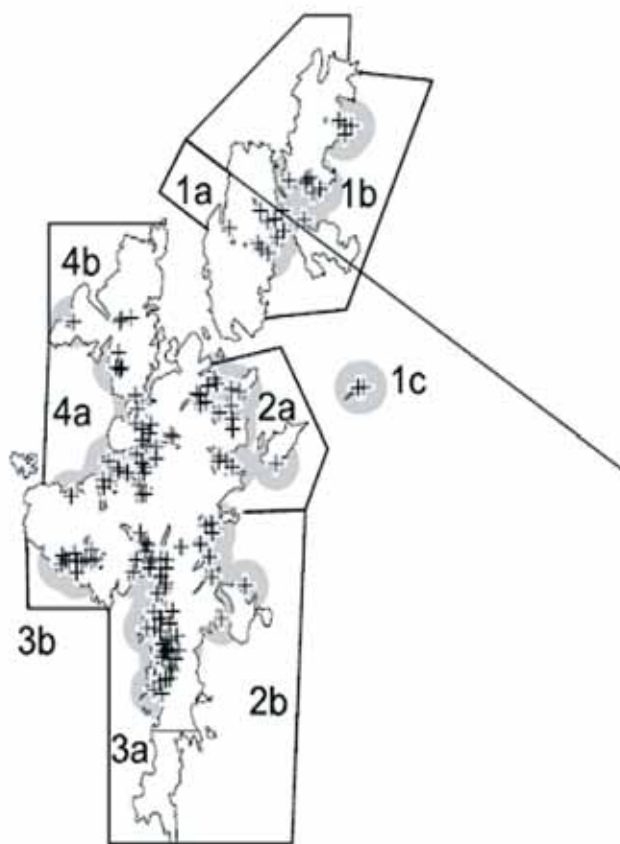
Fuente: Tiansongrussmee, Pontjoprawiro y Mintarjo (1988)

de salmón (Scottish Executive, 2000). Los límites de las áreas individuales se definieron hidrodinámicamente utilizando estimaciones de la excursión de mareas como el criterio relacionado con las granjas pesqueras existentes. La excursión de mareas es la distancia horizontal a lo largo del estuario o río que mueve una partícula durante un ciclo de flujo y reflujo. El procedimiento fue digitalizar los mapas de corrientes para producir una capa de mapa de 1 km x 1 km. Cada mapa muestra la ubicación de cada granja de salmón en el área e indica la excursión de marea alrededor de cada granja (Figura 3.2).

Las áreas de gestión se proponen con base en la sobre posición entre las excursiones de marea. En general, donde las excursiones de marea en granjas adyacentes se sobreponen, las granjas se asignan a la misma Área de Gestión. Donde no se sobreponen, se crea una nueva Área de Gestión. Este método minimiza la probabilidad de una rápida expansión de enfermedades, así como posiblemente de piojos marinos, entre Áreas de Gestión. Estos mapas se utilizan para implementar el Código de Buenas Prácticas para la Acuicultura Escocesa de Peces de Aleta (Scottish Salmon Producers Organization, 2005).

La necesidad de Áreas de Gestión Acuícola (AGA) en la Bahía de Plenty, al noreste de Nueva Zelanda, surgió durante un gran aumento en la demanda de espacio para granjas marinas a fines de los 90 (Environment Bay of Plenty, 2006) <http://www.ebop>.

FIGURA 3.2
Áreas Propuestas de Gestión para la industria acuícola en las aguas costeras de las Islas Shetland



Nota: Las granjas registradas de cultivo de salmón se identifican por (+) y el área alrededor de cada sitio con un radio de una marea está sombreada.

Fuente: Scottish Executive (2000)

govt.nz/Coast/AMA-project.asp). En efecto, las AGA son zonas señaladas para la acuicultura. La demanda de espacio costero expuso los vacíos en la legislación y política que gobiernan las actividades acuícolas. Como resultado, el parlamento estableció una moratoria sobre las nuevas aplicaciones de cultivo marino y el Consejo Regional de la Bahía de Plenty comenzó el proyecto AGA en 2002 con el objetivo de identificar las AGA de la bahía. El proyecto se ejecuta en dos pasos. El primero es la producción de mapas de uso en mar abierto. Estos mapas muestran todos los usos y valores asociados con el ecosistema en mar abierto de la Bahía de Plenty que pueden limitar las granjas marinas:

- Mapa 1 Granjas marinas en la Bahía de Plenty
- Mapa 2 Navegación
- Mapa 3 Áreas de importancia cultural
- Mapa 4 Valores ecológicos
- Mapa 5 Amortiguador de protección de mamíferos marinos
- Mapa 6 Paisaje / rasgos de servicio
- Mapa 7 Esfuerzo de pesca comercial – Arrastre de fondo
- Mapa 8 Esfuerzo de pesca comercial – Cerco danés
- Mapa 9 Esfuerzo de pesca comercial – Cequeros
- Mapa 10 Pesca en la Bahía de Plenty – Visión General
- Mapa 11 Pesca recreativa
- Mapa 12 Visión general de la Bahía de Plenty

FIGURA 3.4A
AGAs propuestas mostradas sobre un fondo de restricciones al cultivo marino identificadas durante el proceso de evaluación de la etapa 1



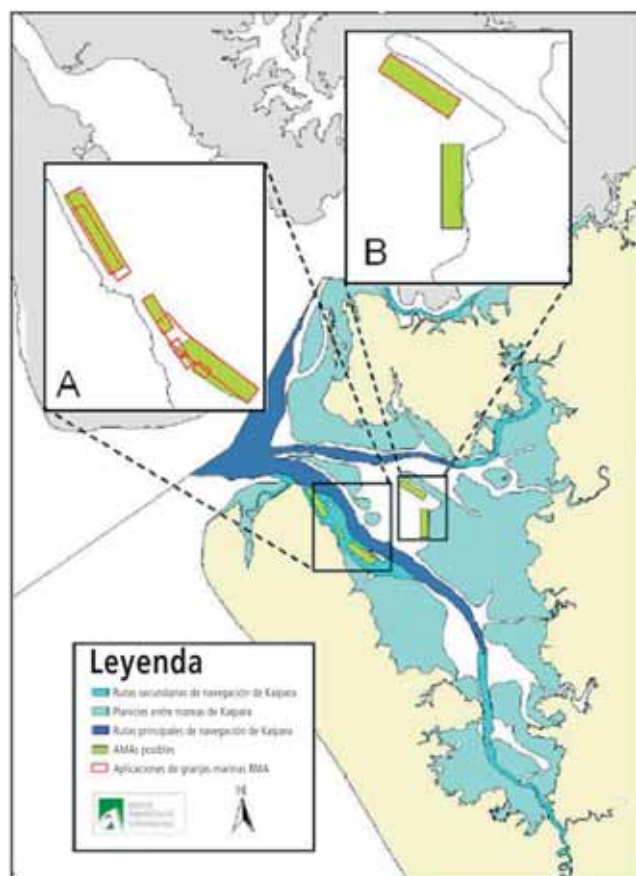
Fuente: Auckland Regional Council (sin año)

e incluso faltó información. Sin embargo, un hallazgo fue que los resultados de mapeo de la Etapa 1 (Figura 3.4b) muestran que no hay un traslape en las AGA propuestas con ninguna restricción identificada, excepto el amortiguador visual de servicios. Así, se inició una investigación de Etapa 2 para obtener más información sobre las restricciones y oportunidades y para verificar los hallazgos iniciales de la Etapa 1 con más detalle. Específicamente, se evaluaron las características idóneas para el cultivo de mejillón y ostión, tomando en cuenta los requisitos y limitantes físicas y ecológicas, los requisitos de navegación y seguridad, y los rasgos naturales (componente de servicios visuales).

Buscando un desarrollo ordenado y sustentable de la acuicultura marina en la región de Andalucía en España, la Dirección de Pesca y Acuicultura realizó un estudio basado en SIG para identificar zonas apropiadas para la acuicultura a lo largo de los casi 900 km de costa (Macías-Rivero, Castillo y Rey, y Zurita (2003)). La meta era facilitar las iniciativas privadas así como informar a las administraciones gubernamentales involucradas del estado sobre el uso del espacio marítimo en cada una de las provincias de la región. El estudio fue fomentado por el rápido crecimiento de la acuicultura en la costa y cerca de ella con un número creciente de aplicaciones en sitios acuícolas en aguas marinas públicas. El enfoque fue identificar áreas con incompatibilidades jurisdiccionales administrativas. Entre éstas se consideraron doce criterios:

- Batimetría
- Instalaciones portuarias
- Áreas de navegación portuaria
- Áreas de extracción mineral

FIGURA 3.4B
Rutas navegables principales y secundarias del Puerto de Kaipara



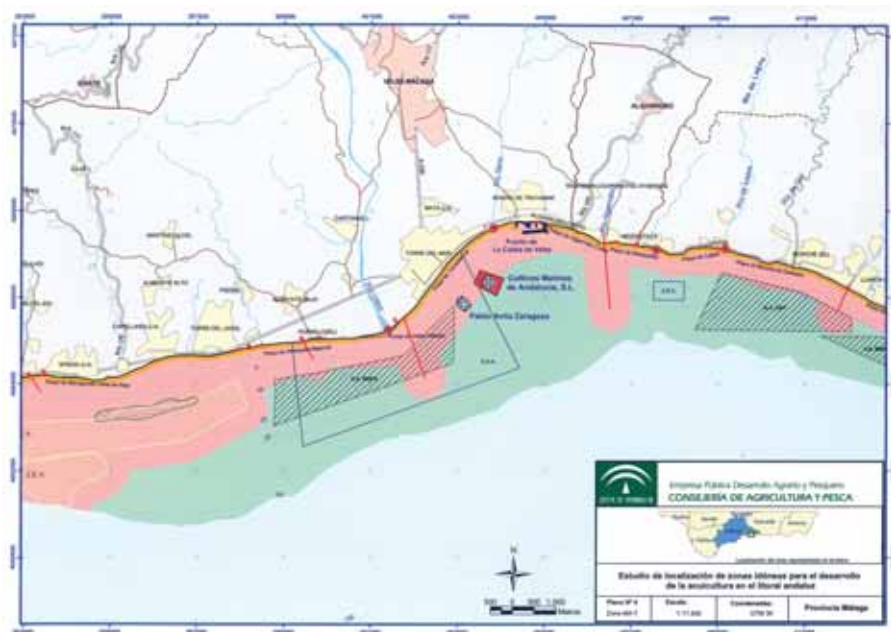
Nota: El recuadro "A" muestra las áreas de aplicación de cultivo de mejillón y las áreas que podrían considerarse como nuevas AMAs. El recuadro "B" muestra las áreas de aplicación de cultivo de ostión y las áreas que podrían considerarse como nuevas AMAs.

Fuente: Auckland Regional Council (sin año)

- Hábitats protegidos
- Drenajes
- Cables submarinos
- Áreas turísticas
- Zonas arqueológicas
- Instalaciones acuícolas, arrecifes artificiales y trampas pesqueras
- Restos de naufragios
- Zonas de uso militar

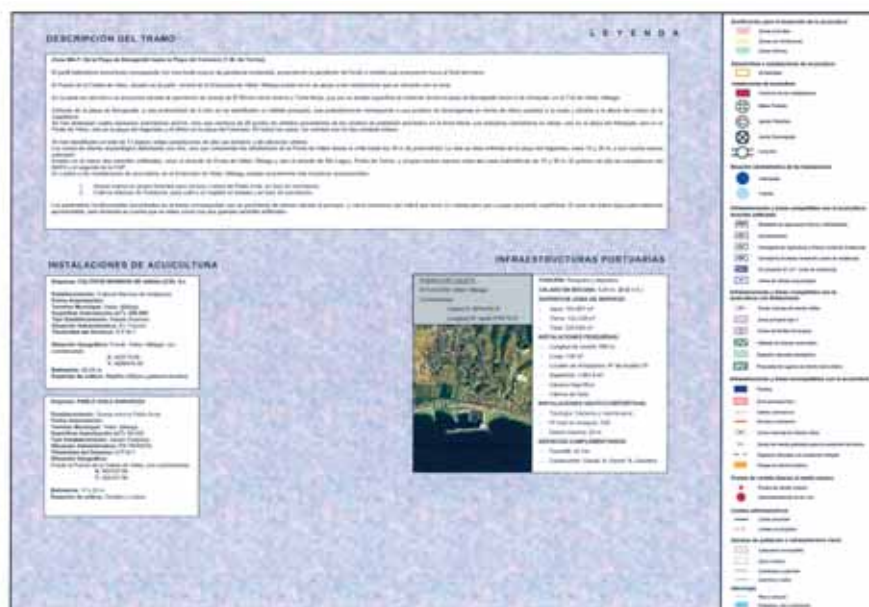
Con base en el grado de compatibilidad entre los criterios considerados, se demarcaron tres tipos de zonas: (1) zonas apropiadas (sin incompatibilidades), (2) zonas con limitantes, y (3) zonas de exclusión (donde la acuicultura es incompatible con los usos ya existentes). El resultado es un atlas de usos apropiados para la acuicultura costera. Se presenta cada provincia con un mapa general a pequeña escala que muestra la cobertura de los mapas más detallados a seguir y una página que describe la distancia de la provincia respecto a varios tipos de formaciones geológicas (por ejemplo, playas), comparadas con la región en su conjunto. Cada mapa detallado (Figura 3.5a) se acompaña con una página que describe la parte relevante de la costa en términos de sus usos. Además, se describen las instalaciones acuícolas individuales en términos generales, tales como los rasgos portuarios, junto con fotografías aéreas o planos de las instalaciones portuarias (Figura 3.5b).

FIGURA 3.5A
Estudio de selección de sitio para identificar zonas potenciales para el desarrollo de la acuicultura costera en la provincia de Málaga, España



Fuente: Macías-Rivero, Castillo y Rey y Zurita (2003)

FIGURA 3.5B
Instalaciones acuícolas individuales, fotografía aérea y vista de planta de la instalación del puerto. Provincia de Málaga, España



Fuente: Macías-Rivero, Castillo y Rey y Zurita (2003)

En general, cerca del 34% de la costa de la región se clasificó como apropiado para la acuicultura marina desde un punto de vista de competencia de usos, pero los autores esperan que esta área disminuya sustancialmente cuando las condiciones ambientales se tomen en consideración.

3.1.3 Mapeo para la práctica y gestión acuícola

Los ejemplos en esta sección se relacionan con el tema de sistemas de información acuícola en Internet. El trabajo que describe Jordana (2004) sobre Catalunya (España) es de especial interés. Trata de la integración de varios tipos de datos e información para desarrollar un sistema combinado de información pesquera y de acuicultura marina dentro de la Dirección General de Pesca y Asuntos Marítimos. El acceso a los mapas se realiza por medio de un servidor (<http://www.gencat.net/darp/c/pescamar/sigpesca/csig25.htm>).

El Sistema de Información Geográfica para la Acuicultura de Newfoundland y Labrador, AquaGIS (2006), es un sistema integral basado en Internet que reúne, gestiona y distribuye información acuícola (<http://www.aquagis.com>). Kapetsky (2004) lo revisó extensamente, de manera que aquí sólo daremos una breve visión general de sus antecedentes, enfatizando las funciones que se han desarrollado desde entonces.

El proyecto que culminó en AquaGIS comenzó en 1997. Con más de 20 departamentos involucrados con el proceso de aprobación de una licencia acuícola, se necesitaba un sistema para compartir información. Ya que parte importante del desarrollo acuícola es espacial, los SIG fueron parte del sistema. AquaGIS integra datos de múltiples departamentos gubernamentales con la meta de proveer un acceso sencillo a bajo costo para los usuarios y de poco mantenimiento al mismo tiempo que provee la información más actual de cada agencia. El propósito general es atender las actividades regionales de planeación económica, financiera y ambiental, y sus usuarios se encuentran tanto en la industria acuícola como en las agencias gubernamentales. Específicamente, el enfoque principal de AquaGIS es facilitar el procesamiento de las aplicaciones. Una segunda parte del sitio contiene información para acuicultores que no está restringida ni requiere nombre de usuario y contraseña. AquaGIS se organiza en tres servicios: (1) mapeo, (2) entrega, e (3) información. Una sección de la página de Ayuda muestra las funciones dentro de cada servicio (Figura 3.6a).

El Servicio de Mapeo contiene dos buscadores de mapas, uno de los cuales muestra los sitios acuícolas, los límites de sitio y las comunidades a través de la provincia. Los sitios se definen por el tipo de producto cultivado (Figura 3.6b). Otro buscador se basa en el SIG Acuícola de la Región de la Costa del Sur. La Figura 3.6b muestra las capas que pueden accederse en el SIG Acuícola de la Región de la Costa del Sur.

El Servicio de Información provee perfiles de sitio por especie y cada registro contiene información básica sobre la empresa acuícola junto con un vínculo hacia un mapa del sitio que se presenta en el mismo tipo de ventana que el Servicio de Mapeo (Figura 3.6d). También pueden realizarse búsquedas sobre sitios y aplicaciones para la acuicultura ingresando diversos tipos de información, tales como ubicación y nombre de la empresa. La nueva base de datos de SIG de la costa sureña fue diseñada para permitir que los acuicultores actuales y futuros conozcan los sitios apropiados y reúnan información científica biofísica importante. Esto, a su vez, debería proveer muchos de los requisitos de información extensiva que se necesitan para completar una solicitud de licencia para acuicultura. Sin embargo, de acuerdo con Colin Taylor (comunicación personal, 2006), los participantes de la industria no estaban utilizando la capacidad de análisis de sitio, no la consideraron prioritaria y se ha casi desechado.

El Servicio de Presentación tiene una página para ingresar comentarios sobre sitios acuícolas individuales, noticias y vínculos.

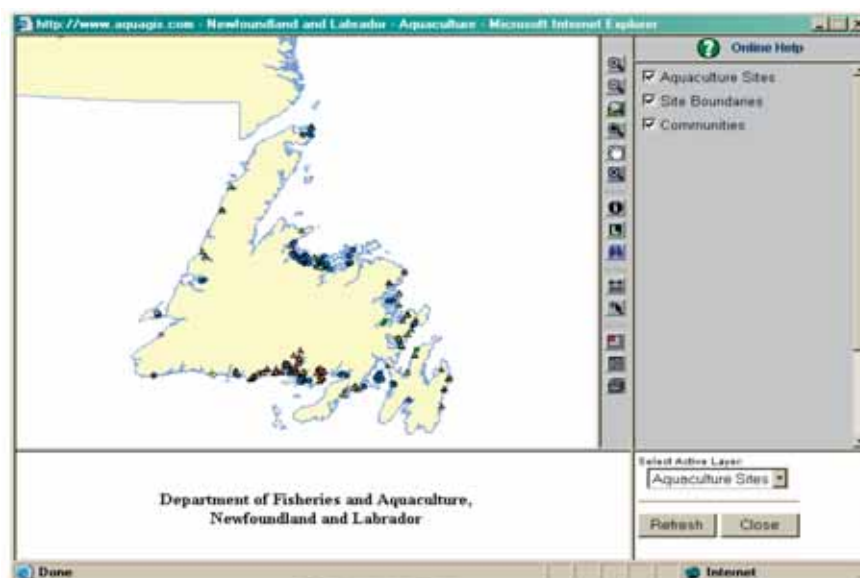
Como parte de la Iniciativa Nacional de Acuicultura Marina de la NOAA, el

FIGURA 3.6A
Visión general de los servicios disponibles de AquaGIS de la Página de Ayuda

Mapping		Information	
Map Browser	Load the Map Browser	Application	Search and Review Aquaculture Applications
Ice Map	View Current Ice Edge/Median Ice Conditions	Site/Grower	Search and Review Aquaculture Sites
Weather Map	Current Weather Map and Forecasts	Site Analysis	Analyze sites for Aquaculture Suitability
Catalogue	AquaGIS Spatial Data Catalogue	Reports	View Available Reports and Create Custom Reports
Data Quality	AquaGIS Data Quality Statement	News	View Current and Previous News
Downloads	Download Maps and Spatial Data	Contact List	List of Contacts Relevant to Aquaculture Licensing
Submission		Registration	
Site Comment	Site Comment	New User	New User
Add News	Add News	Modify User	Modify User
Add Link	Add Link	Change Password	Change Password
		Logout	Logout
		Utilities	
		Conversion	Conversion
		Location Map	Location Map

Fuente: <http://www.aquagis.com>

FIGURA 3.6B
Buscador de mapas de AquaGIS mostrando sitios acuícolas, límites de sitio y comunidades



Fuente: <http://www.aquagis.com>

Centro de Políticas Marinas de la Institución Oceanográfica Woods Hole (2003) ha desarrollado varias funciones interactivas en Internet. Una de estas funciones es el “Proceso de Modelado de Sitios Idóneos” (PMSI). El PMSI puede usarse para comparar ubicaciones alternas para la acuicultura en términos de parámetros económicos y ambientales y otros usos. Las capas de datos en el PMSI se muestran en la Figura 3.7. Ésta muestra las ubicaciones potenciales para sitios acuícolas en relación a los ingresos netos de la pesca comercial en las áreas adyacentes.

FIGURA 3.6C
Buscador de mapas de AquaGIS mostrando capas a las que pueden accederse en el SIG de
Acuicultura Regional de la Costa Sur



Fuente: <http://www.aquagis.com>

3.2 APLICACIONES DE SENSORES REMOTOS EN LA ACUICULTURA MARINA

3.2.1 Visión general de las aplicaciones de sensores remotos

Los sensores remotos reúnen y analizan datos de la zona u organismo de estudio que se encuentra físicamente alejado del equipo sensor, por ejemplo, instrumentos de detección de la superficie marina, satélites o aviones (FAO 2006b).

Kapetsky y Caddy (1985), Mooneyhan (1985) y Travaglia y Appelkamp (1985) detectaron y promovieron el potencial de los sensores remotos en la pesca y la acuicultura. Desde entonces, la información obtenida mediante sensores remotos ha demostrado tener muchos usos en el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina, pero la naturaleza esencial de la información no se ha solslayado porque ésta suele convertirse en capas en los estudios basados en SIG. La importancia y variedad de los datos obtenidos mediante sensores remotos se analiza en la Sección 5, Disponibilidad de datos. En esta sección, se presenta un análisis histórico en el cual los sensores remotos figuraron prominentemente en la selección de sitios y se señalan otros ejemplos en los que los sensores en tiempo real juegan un papel vital en la gestión de la acuicultura marina.

Históricamente, debido a la carencia de mapas digitales o de mapas convencionales en papel que pudieran ser digitalizados, los datos de satélites y sensores remotos se utilizaban como mapas base de SIG para la acuicultura costera, tal como se muestra en el ejemplo de Indonesia en la Sección 3.1 sobre mapeo. Otra aplicación fue desarrollar capas de usos de agua y tierra y de cubiertas terrestres y submarinas para la planeación estratégica y la selección de sitios (por ejemplo, Kapetsky, McGregor y Nanne, 1987). Los inventarios y monitoreo actualizados de las instalaciones acuícolas marinas como base para la gestión y regulación que aprovechan los sensores satelitales Radar de Apertura Sintética (RAS) durante sus observaciones de todas las temporadas (por ejemplo, Travaglia *et al.* (2004)) es una aplicación presentada como estudio de caso en GISFish. Más dinámicamente, los sensores remotos también se aplican al monitoreo

FIGURA 3.6D
 Perfil de sitio acuícola y su correspondiente mapa de ubicación de AquaGIS

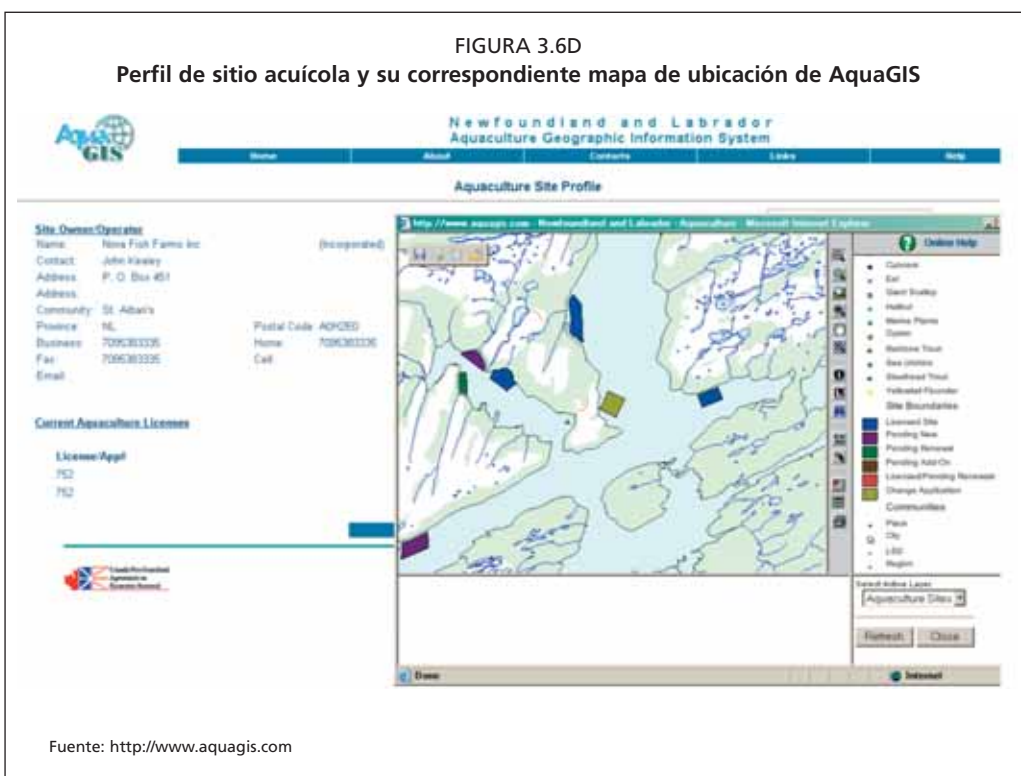
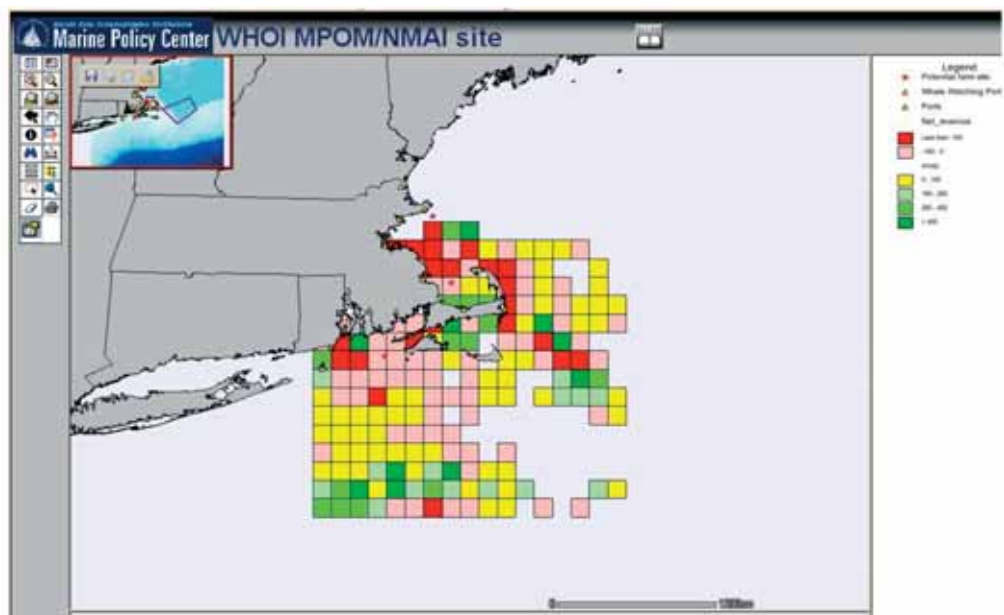


FIGURA 3.7
 Proceso de Modelado de Apropiabilidad de Sitio



de la calidad de las aguas costeras, especialmente para las “mareas rojas” que son una amenaza para los organismos cultivados, o peligrosas indirectamente para el hombre a través de los animales cultivados que contienen toxinas (por ejemplo, los moluscos). Otras aplicaciones en “tiempo real” o de “tipo climatológico” para la selección de sitio o zonas incluyen temperatura de aguas superficiales, altura de ola y corrientes marinas. Los sensores remotos de longitud de onda acústica es otro tipo de aplicación en la acuicultura marina que se ha utilizado para evaluar la acumulación de desechos orgánicos bajo las jaulas pesqueras (Hughes Clark, Wildish y Duxfield, 2002).

El objetivo de esta sección es proveer una visión general de la evolución de los sensores remotos en la acuicultura marina en una variedad de aplicaciones. Las aplicaciones se resumen en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2
Resumen de aplicaciones de sensores remotos en la acuicultura marina organizadas por tópicos principales

Autores	Año	Tópico principal	País	Especies
Sensores remotos para el desarrollo acuícola				
Cordell y Nolte	1988	Sitios apropiados y zonas	Estados Unidos de América	Ostión
Sensores remotos para la práctica y gestión acuícola				
Johannessen, Johannessen, y Haugan	1988	Inventario y monitoreo de la acuicultura y el medio ambiente	Noruega y Suecia	Salmón
Travaglia <i>et al.</i>	2004	Inventario y monitoreo de la acuicultura y el medio ambiente	Filipinas	Peces
Rodríguez-Benito, Haag, y Alvial	2004	Inventario y monitoreo de la acuicultura y el medio ambiente	Chile	Salmón
Van der Woerd <i>et al.</i>	2005	Inventario y monitoreo de la acuicultura y el medio ambiente	Países Bajos	Moluscos
National Office for Harmful Algal Blooms, Woods Hole Oceanographic Institution	2006	Inventario y monitoreo de la acuicultura y el medio ambiente	Estados Unidos de América y mundial	Peces y moluscos

3.2.2 Sensores remotos para el desarrollo de la acuicultura

Planeación estratégica para el desarrollo

Una de las primeras aplicaciones de sensores remotos para la planeación de la acuicultura marina se llevó a cabo en la costa suroccidental de Alaska (los Estados Unidos de América) (Cordell y Nolte, 1988; resumido como estudio de caso por Meaden y Kapetsky, 1991). El objetivo era demostrar que los sensores remotos podrían resultar efectivos en costo en zonas remotas. El estudio buscaba estimar el potencial para el cultivo de ostión.

Los autores buscaron información sobre diversas variables ambientales que incluían la temperatura de la superficie marina, sedimentos suspendidos (turbiedad), color del agua (concentración de plancton), hielo marino, batimetría de aguas poco profundas (claridad del agua), condiciones marinas (dirección de olas, longitud de olas), uso de tierras (restricciones tales como contaminación), y vegetación de la superficie marina (sargazo).

Se utilizaron seis fuentes de datos que incluyeron imágenes satelitales de Landsat, SPOT, el Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (RAMAT o AVHRR por sus siglas en inglés), la Misión de Mapeo de la Capacidad de Calor, el Escáner de Color para Zonas Costeras e imágenes infrarrojas de Fotografía Aérea a Alta Altitud en Alaska. Estas últimas demostraron ser la fuente de datos más efectiva en cuanto al costo. Se utilizaron análisis visuales y espectrales para derivar los resultados.

Se evaluaron cinco factores de producción en cuatro sitios dentro del área de estudio (Tabla 3.3). Los autores indican varios factores adicionales que deberían considerarse,

incluyendo la proximidad a los hábitats silvestres marinos, temperaturas marinas en los sitios, conflictos con usos de tierra actuales y previsibles, y proximidad con las llegadas de agua dulce.

TABLA 3.3
Matriz de selección de sitio mostrando la apropiabilidad para el cultivo de ostión

	Superficie del Área	Profundidad media	Turbidez	Hielo marino	Protección	Puntuación Total
Isla Blashke	3	4	3	3	3	16
Estrecho de Stikine	2	1	1	3	1	8
Bahía de Anita	3	2	4	3	2	12
Caleta de Jadski	3	4	4	2	3	18
Puntaje de factores						
1. Sitio de área	1 = < 1 hectárea 2 = 1 a 2 hectáreas 3 = > 2 hectáreas					
2. Profundidad media:	1 = < 5 metros o > 20 metros 2 = 20 a 15 metros 3 = 15 a 10 metros 4 = 10 a 5 metros					
3. Turbidez:	1 = turbiedad media (verano) 2 = turbiedad baja (verano) 3 = turbiedad ligera (verano) 4 = turbiedad nula (verano)					
4. Hielo marino:	1 = hielo marino en invierno 2 = hielo marino posible 3 = no se observó hielo marino					
5. Protección:	1 = posibles mareas altas ocasionales: dos lados protegidos 2 = mareas altas raras: tres lados protegidos 3 = protección en los cuatro lados					

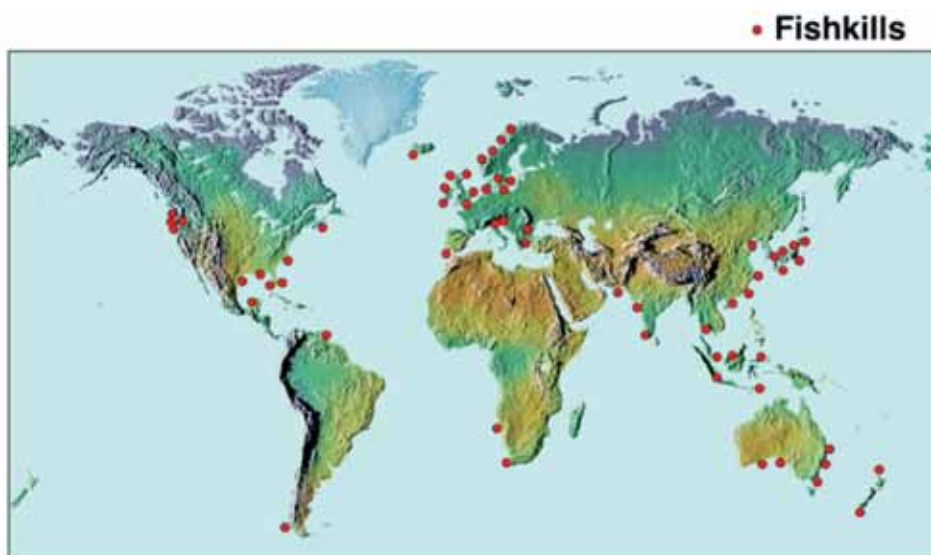
Fuente: Cordell y Nolte (1988)

3.2.3 Sensores remotos para la práctica y gestión acuícola

Inventarios y monitoreo de la acuicultura y el medio ambiente

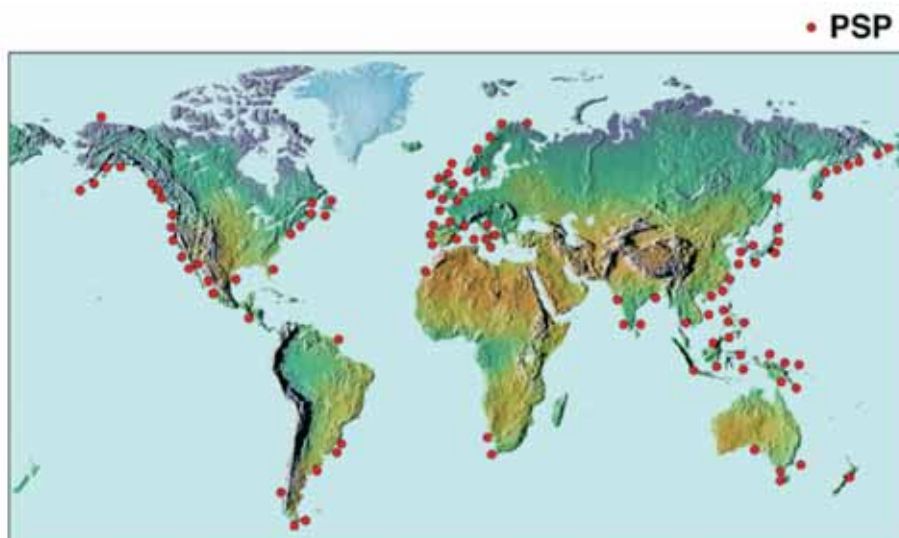
Un florecimiento dañino de algas (FDA) se define como una proliferación de algas al grado de que sus efectos dañinos, malignos o mortales sobre otros organismos son aparentes (van der Woerd *et al.*, 2005). Las toxinas asociadas con algunos tipos de algas dañinas afectan directamente a peces y otros invertebrados mientras que otros afectan indirectamente a los organismos acuáticos por degradación del oxígeno durante el periodo posterior al florecimiento. Es importante notar que los peces e invertebrados no son los únicos organismos afectados. Por el contrario, los FDA pueden ser dañinos al hombre mediante el contacto directo o a través del consumo de moluscos con elevada concentración de toxinas dañinas. Por ejemplo, de acuerdo con Hoagland, Kite-Powell y Lin (2003), en 1987 un catastrófico florecimiento de algas dañinas, que resultó en 129 envenenamientos amnésicos por moluscos y dos muertos, ocasionó un paro en la industria del mejillón en la Isla del Príncipe Eduardo, Canadá, y tuvo consecuencias en productores y procesadores en todo el mercado de América nororiental. Ya que el efecto económico de los FDA es mayor en las zonas costeras que son importantes para la recreación y el turismo, el impacto sobre los humanos ha recibido más atención que los efectos sobre la pesca y la acuicultura marina. Por ejemplo, un sitio de Internet de la Oficina Nacional para los Florecimientos Dañinos de Algas, del Instituto Oceanográfico Woods Hole (Estados Unidos de América) (2006), junto con la NOAA, provee información de antecedentes y mapas de sucesos de FDA, algunos de los cuales afectan a peces y moluscos (<http://www.whoi.edu/redtide/index.html>) (Figura 3.8a y 3.8b).

FIGURA 3.8A
Mortandades de peces



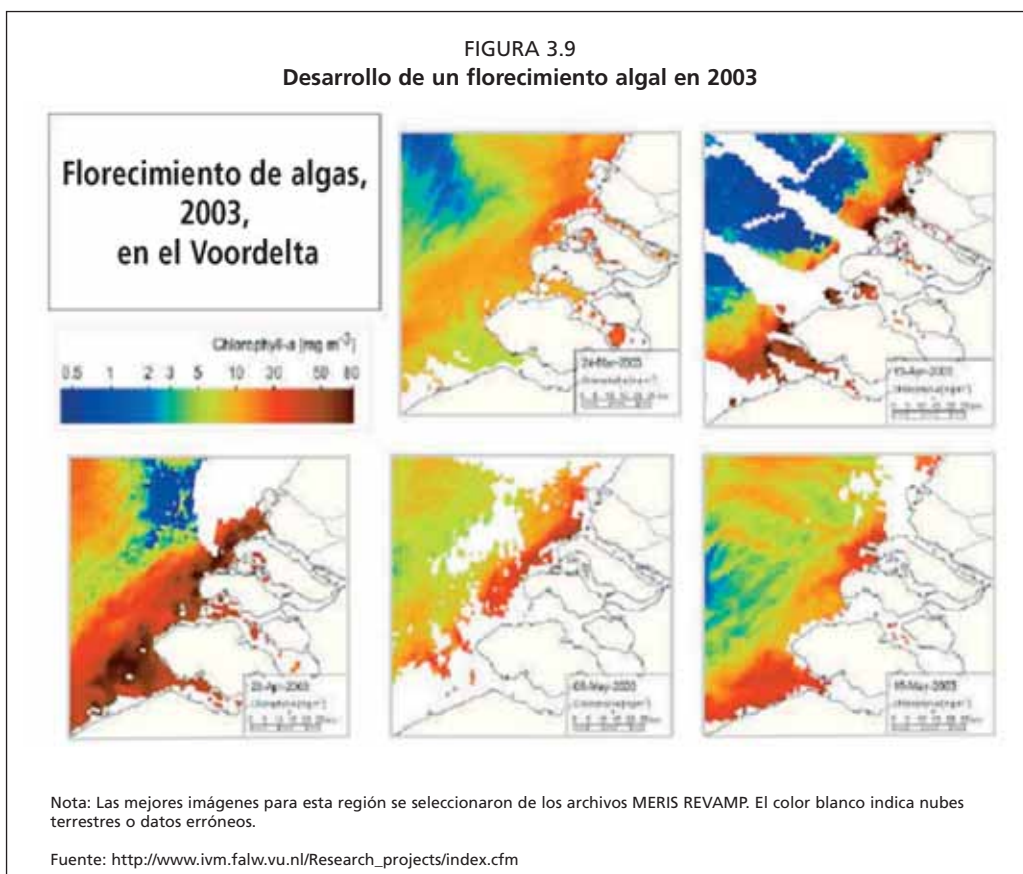
Fuente: http://www.whoi.edu/redtide/HABdistribution/fishkills_worldmap_2005.gif

FIGURA 3.8B
Intoxicación paralítica por moluscos



Fuente: http://www.whoi.edu/redtide/HABdistribution/PSP_worldmap_2005.gif

Johannessen, Johannessen y Huagan (1988) describen una de las primeras aplicaciones operativas de sensores remotos aéreos en la acuicultura marina, lo que posteriormente fue resumido como estudio de caso Meaden y Kapetsky (1991). Se detectó y monitoreó un FDA durante cuatro semanas mientras se desplazaba de Suecia a Noruega. Se utilizaron el Radar Aéreo de Vista Lateral de un avión y los sensores infrarrojos de otros dos para detectar los frentes oceánicos. Los frentes mostraron que el florecimiento avanzaba con el agua cálida. También se usó el RAMAR para estimar la temperatura de la superficie marina. Las muestras de agua de mar mostraron una correlación entre los frentes y el avance del FDA. El plancton podía verse desde el avión si el mar estaba



en calma. El FDA causó grandes pérdidas de peces silvestres y cultivados, generando pérdidas económicas; sin embargo, debido al monitoreo periódico mediante sensores remotos y previsiones utilizando un modelo de circulación de agua, se pudo evacuar cerca de 200 granjas, especialmente de salmón, antes de la llegada del FDA.

Van der Woerd *et al.* (2005) describen un proyecto realizado en los Países Bajos que buscaba combinar información de muestreos in situ, modelado y sensores remotos para prever florecimientos de *Phaeocystis globosa*, un alga que afecta a los moluscos a través de reducción de oxígeno. Muchos eventos de algas tóxicas resultan de florecimientos que se originan en mar abierto y se transportan cerca de ella, donde ocasionan daños. Por lo tanto, sería posible hacer predicciones confiables de estos eventos si se puede observar la ubicación de un florecimiento en mar abierto mediante sensores remotos y un modelo de transporte que pueda predecir el transporte de este florecimiento. El papel del sensor remoto satelital es detectar niveles elevados de clorofila y caracterización de los florecimientos (dimensión, crecimiento, transporte). A pesar de que puede detectarse la evolución espacial y temporal de la biomasa, no se cuenta con información explícita sobre las especies o su toxicidad. La meta del proyecto fue explotar la observación de los florecimientos de algas con EIRM (Espectrómetro de Imágenes de Resolución Media), instrumento del satélite europeo ENVISAT.

El área del proyecto es el Voordelta, una zona del sur del Mar del Norte con uno de los sistemas marinos más eutróficos del mundo. Los florecimientos de algas de gran biomasa están vinculados con la eutrofización (Figura 3.9). Los grandes ríos, tales como el Rin y el Meuse, así como otros ríos menores, se descargan en una plataforma marina relativamente poco profunda, atrapada entre el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y la Europa continental. Además, los cambios proyectados en los patrones de precipitación en Europa noroccidental, como resultado del cambio climático, inducirá reservas de agua y nutrientes en las zonas costeras en invierno. Por lo tanto, se espera un aumento en los florecimientos de algas como resultado de una mayor descarga de

rios en invierno y primavera. Esta situación aumenta el valor de las predicciones de florecimientos de algas en una región donde las pérdidas pasadas de mejillón cultivado por una ocurrencia en 2001 se estimaron en 20 millones de euros.

Una meta del proyecto fue proveer la base de un boletín de alerta temprana dos veces por semana, el cual resumiría el desarrollo espacial de las algas durante los tres días anteriores y haría una previsión de cinco días. Así, la combinación de sensores remotos y modelado biofísico fue probada en retrospectiva hacia 2003. El resultado fue un buen acuerdo entre las retrospectivas y las observaciones de campo. Los autores tenían confianza en que, de implementarse, el sistema de predicción que incorporara sensores de remotos en casi tiempo real, proveería resultados superiores al sistema existente con base únicamente en los muestreos de campo.

Chile es uno de los líderes mundiales en cultivo de salmón, el cual es una de las actividades más importantes al sur del país. Desde 1972, los florecimientos dañinos de algas han sido un problema creciente que resulta en pérdidas económicas. Por lo tanto, la predicción de florecimientos de algas es una iniciativa importante para reducir pérdidas.

Rodríguez-Benito Haag y Alvial (2004) describen un proyecto que se ha realizado con el objetivo de demostrar la aplicabilidad de los sensores remotos para prever la ocurrencia de florecimientos de fitoplancton utilizando imágenes satelitales de EIRM y el Radiómetro Escáner Avanzado de Caminos (REAC). Utilizando datos de estas fuentes se detectó un florecimiento de algas que resultó ser *Gymnodinium*. El florecimiento deprimió el oxígeno disuelto y causó muerte en los salmones.

En general, se obtuvieron buenos resultados de la comparación entre las medidas in situ de temperatura y clorofila y las observaciones desde el espacio. Los resultados de correlación superaron el 96% para los datos de SST y el 86% de la clorofila de fitoplancton.

3.3 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA ACUICULTURA MARINA

Nuestro enfoque es revisar las aplicaciones de acuerdo con el tipo de organismo cultivado (moluscos), o por el tipo de estructura de cultivo utilizada (jaulas) pues cada uno tiene sus propios problemas y soluciones espaciales. Utilizar este enfoque nos permite ilustrar la evolución de las aplicaciones de SIG relacionadas con un problema y organismo específico, y a veces también nos permite seguir la secuencia de estudios dentro de la misma zona geográfica.

Para ser más claros, hemos estandarizado la terminología. En cuanto a los criterios, hay dos tipos generales: (1) factores de producción variables que promueven o reducen las condiciones idóneas para un uso específico bajo consideración. Por lo tanto, se les mide en una escala continua, y (2) restricciones que, por el contrario, limitan las áreas en dos categorías booleanas, tales como “apropiada” y “no apropiada”.

3.3.1 Introducción a las aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica para jaulas marinas

Beveridge (2004) trató extensamente la acuicultura en jaulas. El cultivo de peces en jaulas es importante debido al relativamente alto costo de los productos cultivados.

La proximidad de la costa determina el tipo de análisis espaciales que deben considerarse. Desde un punto de vista geográfico, varios tipos de análisis relacionados son pertinentes dependiendo de si la ubicación de las jaulas se planea cerca de la costa o lejos de ella. Las instalaciones cerca de la costa deben tomar en cuenta el impacto visual de las granjas de jaulas y podrían tener problemas con la calidad del agua en cuanto a los contaminantes que emanan de la tierra y del impacto de los desechos de las granjas en el entorno local. A las instalaciones lejos de la costa les preocupa menos estos análisis puesto que no se encuentran dentro de un punto de vista de la costa y

por el mayor volumen disponible de recambio de agua. Por otro lado, las ubicaciones cerca de la costa y las que están lejos de ella tienen los siguientes análisis en común: (1) ubicación del área para un diseño genérico o específico de jaula, (2) ubicación de una instalación de apoyo en la costa, y (3) tiempo, distancia y confiabilidad de apoyo acuático (o aéreo) desde la instalación en la costa a la instalación fuera de ella.

Otro criterio de importancia es el amarre (anclaje). Los sitios de jaulas para estructuras ancladas deben evaluarse con base en la profundidad, las características de los materiales del fondo y la pendiente. Las jaulas sin ancla, tales como las de deriva oceánica previstas por Goudey (1998), dependerían principalmente de las corrientes y giros para mantener las condiciones ambientales favorables a los organismos cultivados. Así, la predicción para la ubicación de jaulas y de las condiciones oceánicas predominantes sería un aspecto importante para la “dinámica” de la ubicación de jaulas.

Las aplicaciones se organizan en tres categorías principales de temas, junto con las subcategorías de temas que se muestran en la Tabla 2.1. La Tabla 3.4 resume las aplicaciones.

SIG para el desarrollo de la acuicultura en jaulas marinas

Sitios idóneos y zonificación

Las aplicaciones que se incluyen en esta sección van de las que se enfocan únicamente a situar la acuicultura de manera que se cumplan las necesidades específicas del organismo y sistema de cultivo hasta aquellas en las que satisfacer los requisitos acuícolas así como acomodar otros usos juega un papel prominente. Ross, Mendoza y Beveridge (1993) evaluaron la aplicación de SIG para la selección de sitios acuícolas costeros en una pequeña bahía (20 ha) en Escocia, utilizando el cultivo de salmónidos en jaulas como ejemplo. Analizaron batimetría, corrientes y exposición en términos de altura predicha de ola. También se consideraron parámetros de calidad del agua, incluyendo el oxígeno disuelto, la temperatura y la salinidad, aunque los primeros dos no se limitaban al sitio por lo tanto no se les analizó más. Se interpolaron los datos puntuales de varias maneras. Se utilizó un sistema de puntos en cada factor, aunque no se aplicó un sistema formal de peso entre los factores. El área total apropiada para el cultivo en jaulas fue de 1.26 ha en una porción de la bahía. En comparación con los resultados del SIG, un panel de expertos sugirió ubicaciones adecuadas en varios lugares de la bahía. Los resultados de SIG y las opiniones expertas eran distintos. Los autores señalan varias fuentes de error, incluyendo la poca veracidad de los datos, la elección de funciones de producción (es decir, factores) seleccionadas así como su variabilidad espacial y temporal, el enfoque analítico adoptado y las restricciones impuestas al modelo espacial utilizado. Finalmente, respecto al enfoque analítico, muestran cómo el orden de análisis de los factores produce distintos resultados y por lo tanto afecta la toma de decisiones.

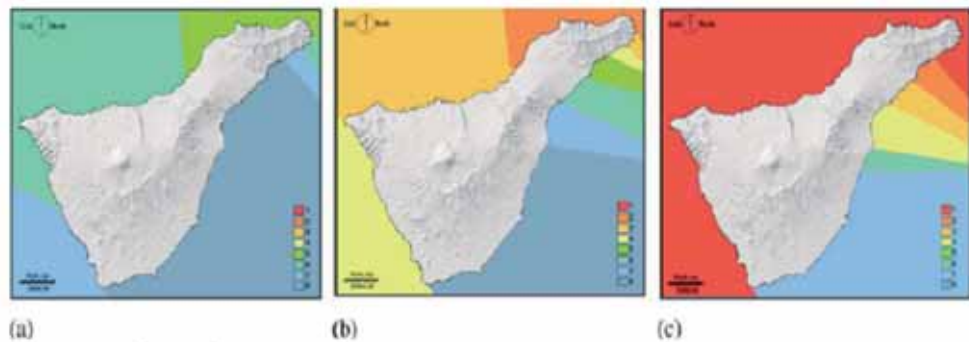
Guneroglu *et al.* (2005) realizaron una selección de sitio para la trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*, para cultivarla en jaulas sumergidas de 10 a 20 m., en la Bahía de Surmene en el Mar Negro (Turquía). La selección se basó en los siguientes criterios y rangos: “Si 10 = temperatura = 15 = 15 y salinidad es = 19% y si 10 = velocidad de la corriente = 50”. Se hizo una comparación entre los métodos de Peso de Distancia Inversa y Kriging que se usaron para interpolar los valores de las observaciones de campo y no se encontraron diferencias significativas entre ellos.

El clima de olas de las instalaciones fuera de la costa es un factor importante para elegir sitios por varias razones. La primera es el potencial de destrucción directa ocasionada por las tormentas y la segunda es el desgaste normal que resulta en fatiga estructural ocasionada por el movimiento de las olas. Una tercera consideración es el diseño y operación de barcos que den servicio a los sitios en mar abierto. Pérez, Telfer y Ross (2003a) trataron las primeras dos con relación al sitio de jaulas flotantes para

TABLA 3.4
Resumen de aplicaciones de SIG al cultivo de peces de aleta en jaulas, organizado por tópicos principales

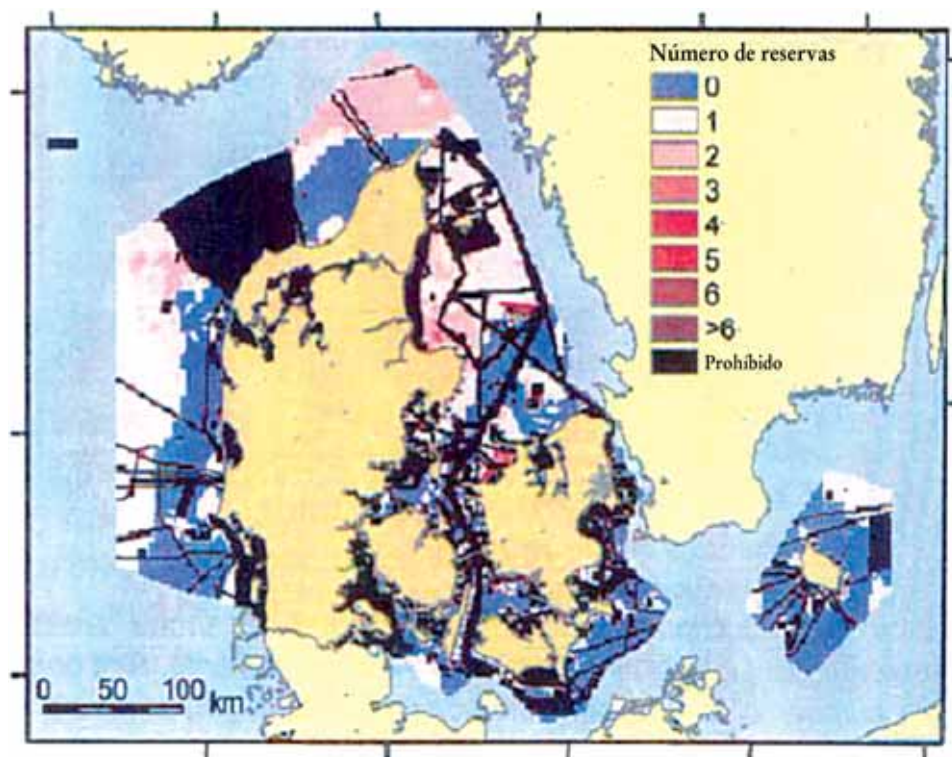
Autor	Año	Tópico principal	País	Especies	Software	Apoyo a decisiones
SIG para el desarrollo acuícola						
Kapetsky, McGregor y Nanne	1987	Strategic planning for development	Planeación estratégica para el desarrollo	Peces, mejillón, ostión	Software de Aplicaciones de Recursos de la Tierra (ELAS)	Umbrales sin ponderación, verificación en campo
Kapetsky	1989	Strategic planning for development	Malasia	Peces, mejillón	Sistema de Análisis de Datos de Recursos de la Tierra (ERDAS) v. 7.2	Umbrales sin ponderación, verificación en campo
Ross, Mendoza, y Beveridge	1993	Sitios adecuados y zonas	Reino Unido	Salmónidos	OSU-MAP para PC	Umbrales sin ponderación, verificación experta
Servicio de Pesca y Acuicultura	2000	Sitios adecuados y zonas	España	Peces	No especificado	Umbrales sin ponderación
Young et al.	2003	Strategic planning for development	Estados Unidos de América	Peces	N/G	Opinión experta, umbrales y ponderación
Hoagland, Kite-Powell y Lin	2003	Economics	Estados Unidos de América	Lenguado de verano	N/G	N/G
Pérez, Telfer y Ross	2003a	Sitios adecuados y zonas	España	Dorada y lubina	Idrisi 32, Cartalinx 1.2	Opinión experta y ECM
Pérez, Telfer y Ross	2003b	Sitios adecuados y zonas	España	N/A	Idrisi 32.v1.1	Opinión experta y ECM
Geitner	2004	Sitios adecuados y zonas	Dinamarca	Trucha arco iris	ArcView 3.2, ArcView SIG 8.2	Opinión experta, umbrales, ponderación y campos Verificación de Análisis Espacial
Guneroglu et al.	2005	Sitios adecuados y zonas	Turquia	Trucha arco iris	ArcInfo 8.0.2 y Arcview 3.2	Umbrales sin ponderación
Pérez, Telfer y Ross	2005	Sitios adecuados y zonas	España	Dorada y Lubina	Idrisi 32 v 1.1, ERDAS Image v.8.3.1	Opinión
SIG para la práctica y gestión acuícolas						
Pérez et al.	2002	Impacto ambiental de la acuicultura	Reino Unido	Salmon atlántico	Idrisi 32 v. 1.1	Distribución particular de desechos del salmón atlántico, verificando en campo
Corner et al.	2006	Impacto ambiental de la acuicultura	Reino Unido	Salmon atlántico	Idrisi 32 más extensión	Modelo de distribución particular para el salmón atlántico, verificando en campo
Planeación y gestión multisectorial incluyendo la acuicultura						
Pavasovic	2004	Planeación para la acuicultura, entre otros	Croacia	Salmónidos y ostión	ArcView 3.2 con Avenue scripts	Umbrales y modelos lineales ponderados, usos de agua y tierra
Chang, Page y Hill	2005	Planeación para la acuicultura, entre otros	Canadá	Salmon atlántico	MapInfo Professional 7.0	Umbrales sin ponderación de usos de tierra y agua

FIGURA 3.10
 Mapa de olas apropiadas para (a) Estación marina, (b) Spar oceánico y (c) jaulas Corelsa



Fuente: Pérez (2003a)

FIGURA 3.11
 Mapa de reservas completas



Nota: El azul marino indica las zonas que no tienen reservas. El azul claro está fuera de las áreas analizadas. Los rojos muestran el número de temas superpuestos de uno (claro) a diez (oscuro). El número de siete a diez reservas está representado con un grupo. Las zonas donde hay una prohibición de ubicar granjas marícolas están en negro. El amarillo claro muestra las áreas terrestres de Dinamarca y los países vecinos. Fuente: Geitner (2004).

dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*) en áreas fuera de las costas de Tenerife (España). Se usaron SIG en este estudio de dos maneras: para crear un inventario visual de las características del entorno de las olas como mapas temáticos y para generar mapas idóneos para los diversos sistemas de jaulas comerciales.

Los autores utilizaron datos de 15 puntos alrededor de Tenerife para estimar la altura promedio y máxima de las olas, la energía de las mismas y su dirección

durante un periodo de cinco años. Se usó un análisis de racimo para identificar cuatro zonas de olas con relación a su grado de exposición. Utilizando técnicas de Voronoi Tessellation, se generaron mapas de altura de ola máxima y promedio. Posteriormente se reclasificaron estos mapas y se combinaron usando técnicas de puntaje relacionadas con las características de diseño de clima de olas de tres tipos de jaulas comerciales. El resultado fue un mapa de olas idóneas para cada tipo de jaula (Figura 3.10).

Se realizó un estudio para identificar las zonas con potencial para la acuicultura marina en el contexto de zonas para acuicultura como un aspecto de gestión costera para la Región de Murcia, en la costa mediterránea de España (Servicio de Pesca y Acuicultura, 2000), donde ya se habían instalado jaulas flotantes para el cultivo de peces en nueve instalaciones. Desde un punto de vista administrativo, el estudio se formó por la información de las entidades que tratan con la gestión costera, turismo, mapas costeros, medio ambiente y el ejército. Los datos básicos consistían en batimetría (profundidades menores a 25 m), arrecifes artificiales, barcos hundidos, una reserva marina, puertos, áreas pobladas e instalaciones acuícolas existentes junto con las que están en proceso de aprobación. El primer paso fue mapear la costa relacionada con las preocupaciones y criterios de las entidades administrativas en tres clases: (1) áreas aptas para la acuicultura que sean compatibles con todos los usos, (2) la aptitud requiere un estudio con posible aprobación eventual, y (3) áreas incompatibles para el desarrollo acuícola. La integración de las preocupaciones de todas las entidades administrativas resultó en mapas de zona con las siguientes categorías: adecuada; adecuada con algunas reservas; inadecuada por razones de profundidad; incompatible desde un punto de vista ambiental o militar; y áreas prohibidas por el ejército. Como conclusión, el estudio enfatizó la necesidad de participación de todos los usuarios costeros para obtener un resultado objetivo.

Geitner (2004) reportó la ubicación de jaulas de red y alambre para el cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en aguas marinas. Este estudio formó parte de un esfuerzo amplio para aclarar la producción futura de la maricultura dentro de los 100 000 km² de ZEE de Dinamarca, realizado por un Comité de Maricultura conformado por los representantes de varios ministerios, grupos de interés en maricultura y ángulos y consultores. La tarea del comité era promover la maricultura minimizando los impactos ambientales.

Los datos para el SIG se consideraron en dos partes: (1) los requeridos para evaluar las operaciones de maricultura: batimetría, altura de ola, altura de marea, y (2) competencia de usos tales como restricciones o consideraciones (factores): maricultura existente, plataformas de excavación petrolera, áreas de desecho, áreas potenciales y reales de extracción mineral, descargas de drenajes, rutas comerciales, tuberías y cables, zonas militares, zonas de peligro, zonas protegidas y reservas, áreas biológicamente sensibles y estuarios.

El sistema de puntos era directo: se sumaron números de restricciones y consideraciones por cada área dada. En total, cerca del 75% de toda la ZEE fue evaluado y cerca del 25% no tenía restricciones o consideraciones y por lo tanto resultó apropiado para el cultivo en jaulas (Figura 3.11).

Los maricultores del proyecto verificaron que las áreas apropiadas identificadas por medio del SIG correspondieran con sus primeras percepciones de las áreas adecuadas.

Los criterios adicionales para mejorar el modelo incluyen distancia desde una instalación en la costa a la zona adecuada, así como áreas recreativas en la playa, casas de verano, zonas de pesca, áreas de importancia arqueológica, y la presencia de microalgas. Para mejorar las capacidades analíticas el autor sugirió un sistema de peso más sofisticado.

El turismo es el sector más importante en la economía de Tenerife, Islas Canarias. Así, Pérez, Telfer y Ross (2003b) evaluaron la integración y coexistencia de jaulas marinas pesqueras dentro de la industria turística. Tenerife tiene varias ventajas para

FIGURA 3.12A
Estructura conceptual del análisis de apropiabilidad para la integración de jaulas marinas a la industria turística en Tenerife



Fuente: Pérez, Telfer y Ross (2003b)

la acuicultura marina, incluyendo un mercado listo, temperaturas adecuadas y buena calidad del agua, pero hay escasez de tierras, y las zonas protegidas cerca de la costa ya están destinadas a otros usos.

Los autores utilizaron un proceso jerárquico para organizar sus criterios en submodelos que incluían playas, deportes náuticos y el panorama (Figura 2.12a). Los criterios dentro de los submodelos se contaron y pesaron utilizando técnicas de Evaluación de Criterios Múltiples. Este es un proceso en dos pasos: (1) la importancia relativa de los criterios dentro de un submodelo se determina por comparaciones en pares, y (2) los pesos se colocan en cada submodelo. Finalmente, los resultados se integran para una evaluación general.

Una de las principales objeciones a la instalación de jaulas cerca de la costa es el impacto negativo en el panorama. El submodelo de panorama es de interés particular al tratar con este factor. La vista se basa utilizando playas y edificios prominentes asociados al turismo como puntos de observación. La visibilidad del sitio potencial de las jaulas se basó en una distancia de 2 km como determina el modelo de elevación digital.

Combinando los submodelos, el resultado final fue que el 46% de las áreas

disponibles (menos de 50m) era muy adecuado y un 10% adicional era adecuado.

En consecuencia, los mismos autores (Pérez, Telfer y Ross, 2005) expandieron su estudio en Tenerife considerando 31 funciones de producción para cultivo en jaulas flotantes en mar abierto con el fin de desarrollar una metodología estándar para la selección de sitios de jaulas en ambientes insulares. Esta aplicación es digna de mención por la variedad de funciones de producción consideradas así como ir llevar más allá de los resultados de sitios para estimar la capacidad real de las jaulas. El enfoque de criterios múltiples fue similar al descrito en su estudio anterior. Los tomadores de decisiones en tres grupos de enfoque decidieron la importancia relativa de las funciones de producción. Cada grupo consistió de cuatro individuos con diversas experiencias en el campo. Los tres grupos consistían de (1) investigadores acuícolas del Departamento de Acuicultura del Centro Oceanográfico Español en Tenerife (COC), (2) acuicultores de peces en jaulas marinas en Tenerife, y (3) estudiantes de doctorado y maestría del Instituto de Acuicultura, Universidad de Stirling (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte), con experiencia en acuicultura marina. Se utilizaron cuestionarios para obtener retroalimentación. Las funciones de producción se organizaron en submodelos que incluían siete factores y un submodelo de restricción junto con pesos derivados de cada uno, tal como se resume en la Figura 3.12b. Se usaron sensores remotos satelitales para estimar la temperatura de la superficie marina en el submodelo de calidad del agua.

De los 228 km² de áreas disponibles, 37 km² no eran apropiados para jaulas en mar abierto. Utilizando varias presunciones sobre el tamaño de las jaulas y cantidad de las mismas, así como la distancia entre las granjas de jaulas, los autores calcularon que Tenerife podría contener hasta 22 granjas de 12 jaulas cada una. A su vez, otras presunciones sobre las tasas de producción por jaula y el mercado para peces cultivados, los autores estimaron un egreso total potencial de cerca de 11 000 toneladas con una posible contribución bruta a la economía de la isla de 0.5% del producto interno bruto.

Las mejoras que se podrían realizar al estudio que los autores identificaron incluyen la adición del tipo de suelo en relación al tipo y costo de sistemas de anclaje y respecto a la capacidad asimilativa del entorno de los desechos pesqueros y de alimentación. Un modelo de distribución particular, desarrollado por Pérez *et al.* (2002) (Sección sobre “Impacto ambiental de la acuicultura”), no se utilizó en este estudio por falta de datos sobre las corrientes.

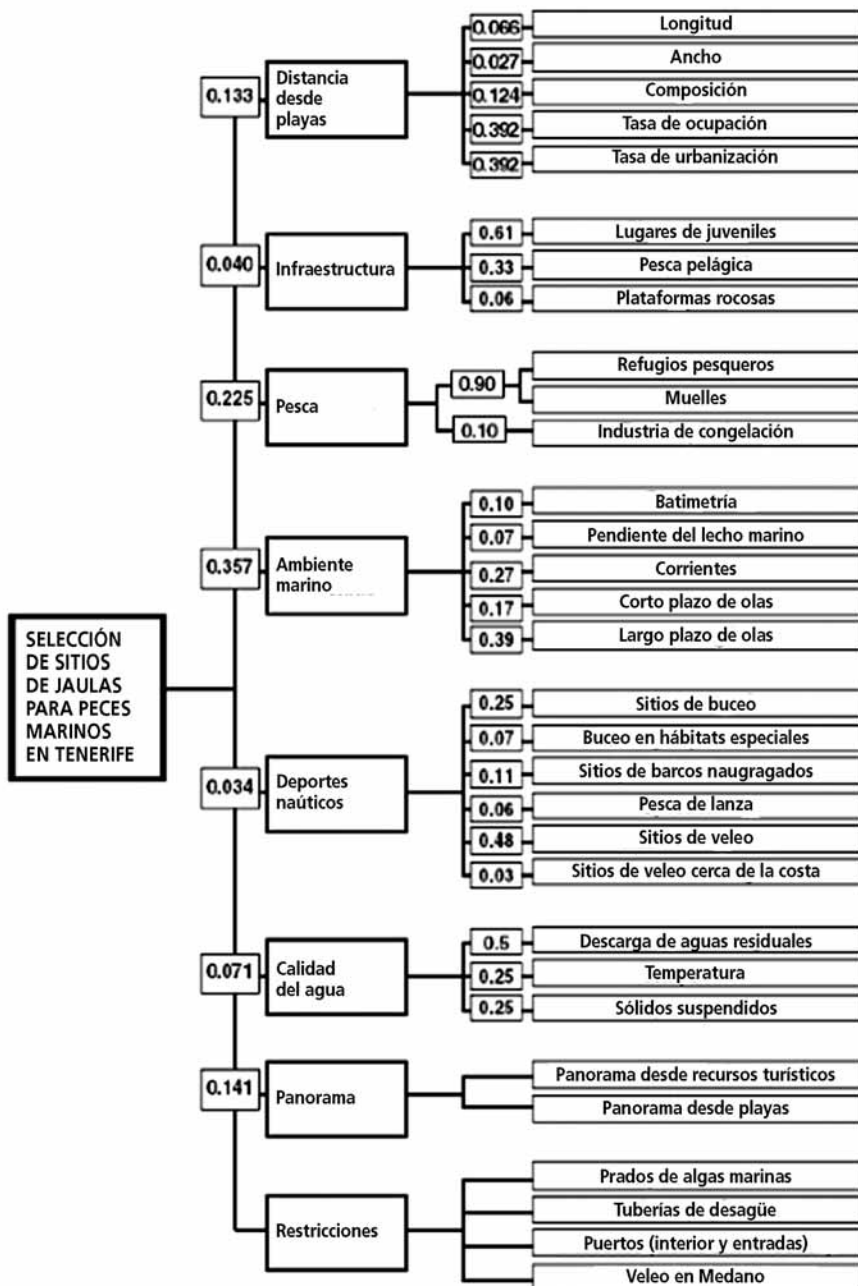
Planeación estratégica para el desarrollo

Los tres ejemplos revisados aquí pertenecen a estudios de pre-situación, cuyos resultados indican las ubicaciones más prometedoras para nuevas investigaciones detalladas que serán realizadas por desarrolladores comerciales de la acuicultura marina o por los oficiales gubernamentales responsables de las zonas. Así, las aplicaciones podrán verse como parte de la planeación estratégica para el desarrollo. Al contrario que otros ejemplos que tratan con el cultivo de peces en jaulas, un ejemplo trata del cultivo de algas marinas. Se incluye aquí porque puede emplear estructuras suspendidas de balsas o líneas.

Uno de los primeros trabajos, en el Golfo de Nicoya (Costa Rica) (Kapetsky, McGregor y Nanne, 1987), se realizó para promover el uso de SIG y no únicamente para el cultivo de peces en jaulas, sino que incluyó el cultivo de moluscos bajo la marea y entre las mismas, así como el cultivo de camarón en estanques. El estudio tomó en cuenta la necesidad de protección de las tormentas y el efecto de depreciación de las jaulas y balsas superficiales determinando la dirección del viento y tormentas y calculando la altura de las olas con base en la velocidad del viento. También se consideró la seguridad en términos de proximidad, infraestructura de transporte, salinidad y calidad del agua con relación al uso de la tierra. En un estudio paralelo,

FIGURA 3.12B

Estructura conceptual del análisis de apropiabilidad para la selección de sitios de jaulas marinas en Tenerife (estructura jerárquica) mostrando las ponderaciones asignadas a los diferentes factores y submodelos



Fuente: Pérez, Telfer y Ross (2003b)

Jacquet (1987) analizó las imágenes Landsat para la calidad del agua en el golfo.

Se concluyó que los resultados indicaban las oportunidades para el desarrollo acuícola con fines de planeación general y que se requería verificación adicional del agua y la tierra. Las mejoras sugeridas se refieren a actualizar y a agregar factores de producción relacionados con la infraestructura, ambiente físico y químico del agua, uso de tierra y economía.

La infraestructura, atributos de calidad del agua con relación al uso de la tierra,

profundidad, abrigo y velocidad actual se tomaron en cuenta al evaluar el potencial para las jaulas flotantes como parte de las posibilidades para el desarrollo acuícola en el estado de Johor (Malasia) (Kapetsky, 1989). Este estudio siguió una metodología similar a la de Kapestky, McGregor y Nanne (1987), pero se realizó para capacitar a los oficiales gubernamentales en la aplicación teórica y práctica de los SIG así como para hacer una contribución práctica a la planeación estratégica.

Un estudio basado en un archipiélago de áreas en mar abierto apropiadas para su consideración en el cultivo de jaulas en mar abierto fue el de Young *et al.* (2003) en Hawaii (Estados Unidos de América).

Este es un ejemplo de los resultados que pueden obtenerse cuando la necesidad de limitar los costos del proyecto es una restricción: sólo se utilizaron datos existentes, se modeló la dirección y velocidad de la corriente y no se recolectaron datos de campo. A su vez, estas restricciones requirieron un modelo con sólo cuatro factores generales de producción que incluían batimetría, áreas restringidas (ejército, puerto y navegación), tipo de agua respecto a las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental, y una frontera de 3 millas (4.8 km) desde la costa. La posibilidad de variar tanto la importancia de los factores de producción como los criterios de escala dentro de los factores fue una característica del modelo.

A pesar de las limitaciones, el enfoque fue útil para la planeación acuícola en todo el estado.

SIG para la práctica y gestión acuícola de las jaulas marinas

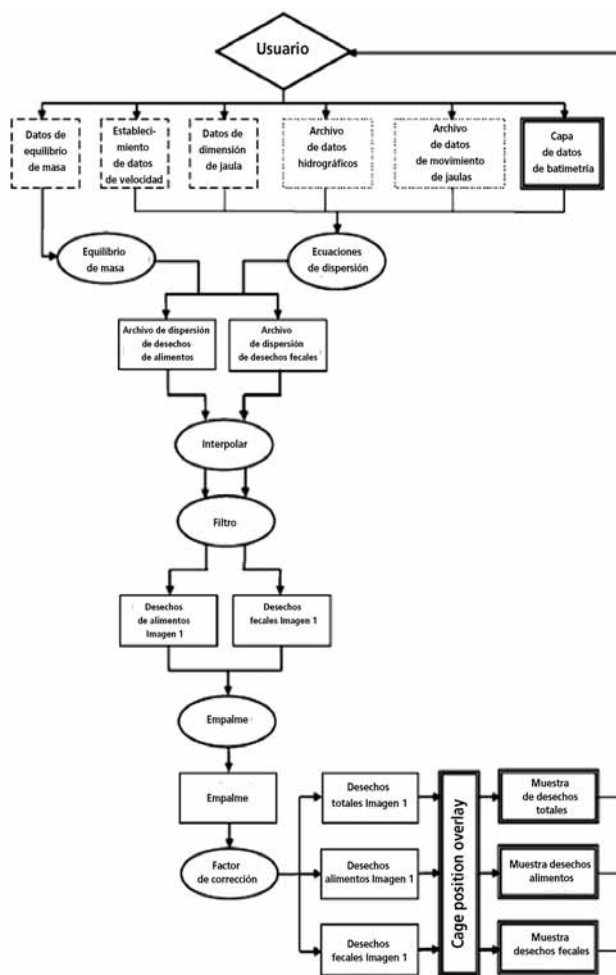
Impacto ambiental de la acuicultura

Un ejemplo del impacto ambiental de la acuicultura son las aguas residuales de las jaulas pesqueras, ya sea como alimentos no ingeridos o como excrementos de los peces que afectan la calidad del agua y a los organismos que habitan cerca de la jaula. En términos prácticos, si los desechos no pueden ser procesados por los sedimentos adyacentes, pueden afectar la salud de los peces cultivados y afectar el ambiente natural circundante. De acuerdo con Corner *et al.* (2006), estimar los impactos ambientales de las granjas de jaulas a través del uso de modelos de dispersión de desechos tiene varias aplicaciones que incluyen métodos efectivos en costo para evaluar los resultados en la selección de sitio y los límites de biomasa en términos de la capacidad del ambiente local, los estándares de calidad del sitio y apoyo a la toma de decisiones para la regulación y gestión ambiental probando una variedad de escenarios de reproducción para condiciones ambientales determinadas.

Pérez *et al.* (2002) desarrollaron técnicas de modelado espacial en SIG para la distribución de desechos particulares para el salmón del Atlántico, *Salmo salar*, cultivado en jaulas. El modelo se desarrolló en tres etapas principales: (1) cuantificación del material de desecho (alimentos no ingeridos y heces), utilizando técnicas de equilibrio de masa, (2) cálculo de la distribución de los componentes del desecho, y (3) cálculo y generación de los diagramas finales de distribución de contorno utilizando el SIG. El papel específico del SIG primero fue interpolar los valores de carbono desde los estimados puntuales generados por el modelo. Después se usaron filtros para ajustar la distribución del carbono en el espacio con relación a las velocidades y direcciones cambiantes de las corrientes. El modelo se probó contra datos recolectados en un sitio de granja de salmón. El resultado fue que existía una fuerte correlación entre los resultados predichos y reales de carbono. El resultado del SIG es un mapa de contorno que muestra la distribución y concentración de los desechos de los peces y los alimentos no ingeridos en el sustrato como carbono entre 18 jaulas en dos filas de nueve jaulas y en la zona adyacente.

Los autores prevén aplicaciones potenciales para el modelo de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), el diseño de programas de monitoreo, selección de sitios,

FIGURA 3.13
Arquitectura del modelo integrado

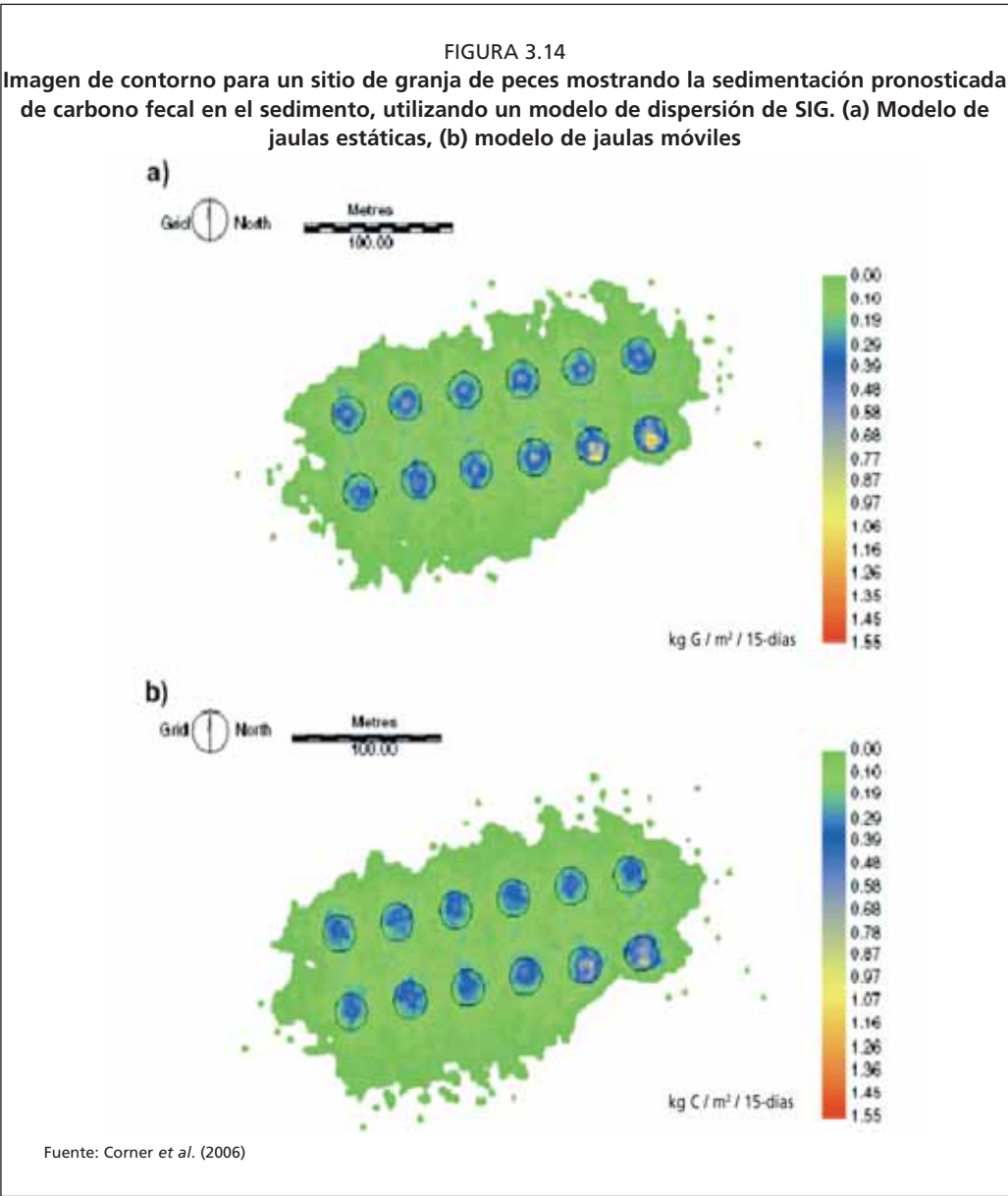


Fuente: Corner *et al.* (2006)

gestión de granjas y una rápida generación de escenarios alternos.

Corner *et al.* (2006) ampliaron el trabajo de Pérez *et al.* (op cit.) de manera que el modelo está completamente integrado en el SIG. La ventaja sobre la hoja de cálculo y la combinación de SIG utilizada por Pérez *et al.* (op cit.) es que garantiza que no se pierdan datos al integrar datos de diversas fuentes y los resultados del módulo de dispersión de desechos puede unirse en una serie de capas dentro de un enfoque integrado de Gestión de Zona Costera (GZC) para la gestión de sitio acuícola. La arquitectura del modelo se muestra en la Figura 3.13. El modelo se validó comparando sus predicciones con la deposición observada, medida utilizando trampas de sedimentos durante tres viajes de campo de dos semanas en una granja pesquera en la costa occidental de Escocia.

Otra innovación al estudio es responder por el efecto del movimiento de las jaulas en la dispersión de desechos (Figura 3.14). Los resultados del sistema son una serie de imágenes de rastreo a partir de las cuales se puede generar más información gráfica o estadística, dependiendo de los requisitos de la aplicación particular. El sistema puede operar a cualquier resolución espacial y el metro cuadrado utilizado en este estudio es especialmente apropiado para el modelado de dispersión particular a nivel de granja y con el potencial de utilizar escalas mayores en una evaluación de sistemas complejos



en múltiples sitios.

Las diferencias observadas y predichas bajo las jaulas y lejos de ellas alteraron la confiabilidad total del modelo, 58%. Sin embargo, los autores declaran que hay dos aplicaciones principales de su modelo de dispersión (1) al proveer a la industria con una herramienta independiente que puede ser probada a nivel de granja, y (2) la gestión ambiental de los sitios acuícolas, incluyendo aspectos tales como la predicción de capacidad de traslado, la interacción entre tierra y agua, y los efectos en múltiples sitios.

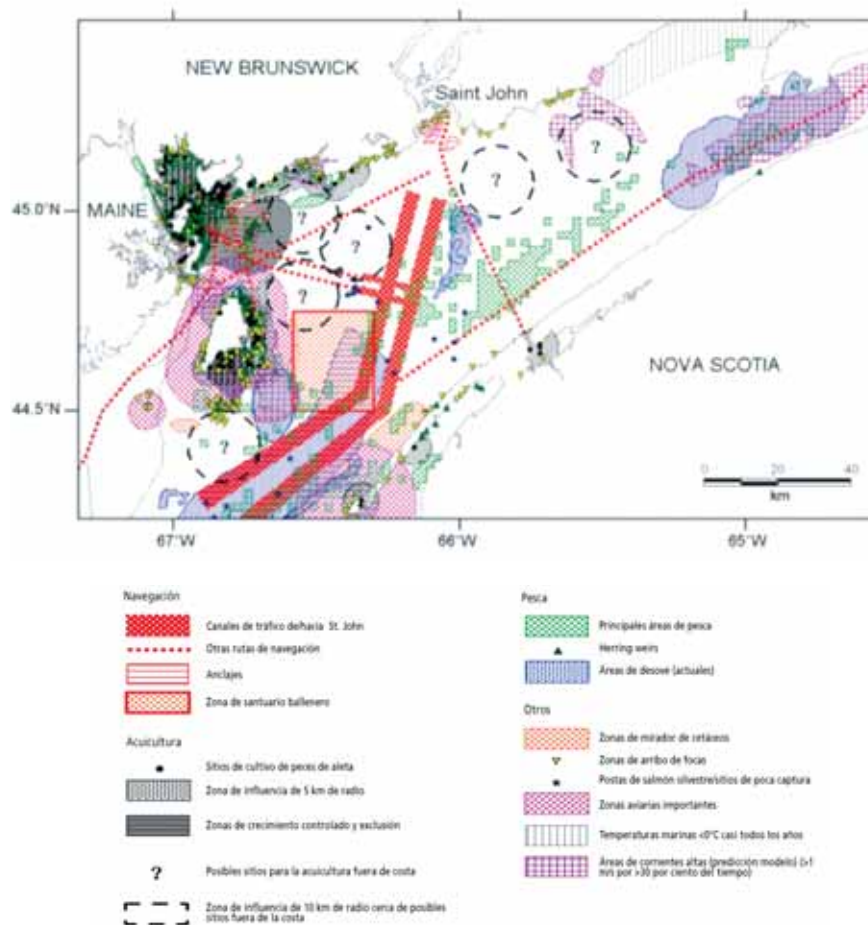
Desde el punto de vista de un SIG, este estudio llama la atención hacia la importancia de los módulos definidos por los usuarios como extensiones. Asimismo, trabajar dentro del SIG da la oportunidad de desarrollar nuevas aplicaciones.

SIG para el desarrollo y gestión multisectorial que incluye la acuicultura marina en jaulas

Planear la acuicultura entre otros usos de tierra y agua

Existe una escasez de estudios en el reino que la gestión de áreas costeras in las que se

FIGURA 3.15
Acuicultura en mar abierto en la Bahía de Fundy, Canadá



Fuente: Chang, Page y Hill (2005)

incluya específicamente a la acuicultura como uno de los usos o en los que la acuicultura reciba especial atención; sin embargo, el estudio de Pavasovic (2004) es una excepción. Su investigación es digna de mención porque se encuentra en el contexto de la gestión de zonas costeras y porque su resultado no es un reporte técnico o publicación, sino una herramienta diseñada para que la use el personal de gestión de zonas costeras con un conocimiento básico de SIG. Describe una investigación de apropiabilidad para la acuicultura en dos ubicaciones en la porción croata del Mar Adriático. El proyecto general se llama Plan de Gestión de Zona Costera para Croacia con Enfoque Particular en la Acuicultura Marina, con el objetivo principal de preparar lineamientos y procedimientos para planear, integrar y monitorear la acuicultura marina en Croacia. Participaron varios ministerios croatas, instituciones científicas y expertos nacionales e internacionales.

Los objetivos de la porción SIG del proyecto fueron: (1) amabilidad con los usuarios: la herramienta debe ser sencilla para que puedan utilizarla personas con conocimientos básicos de software de SIG, (2) flexibilidad de análisis: la herramienta debe permitir la prueba de diversos escenarios, (3) transparencia del proceso de modelado: la herramienta debe hacer que la “caja negra” entre el ingreso de datos y los resultados sea lo más transparente posible, especialmente para entender cómo ciertos

valores para algún parámetro del modelo afectan el resultado final, y (4) la herramienta debe ser versátil: debe apoyar análisis distintos al de la acuicultura marina con base en adaptaciones a la base de datos. A pesar de que el principal uso de la herramienta es el análisis de apropiabilidad, un objetivo subyacente es lograr el potencial de planeación participativa de la herramienta. Es decir, el público con un interés económico en algún desarrollo podría usar la herramienta para entender la objetividad del procedimiento analítico y aprovechar la propuesta de diversos escenarios para lograr ubicaciones alternas.

Para lograr estos objetivos, el SIG apoya tres módulos: (1) clasificación de criterios (factores de producción), (2) modelado para eliminar áreas que no cumplan con los valores de criterios propuestos por el usuario, y (3) modelado lineal ponderado en los que se asigna un determinado peso a los criterios. Los últimos dos módulos apoyan cinco escenarios cada uno.

El estudio más amplio de la acuicultura marina en términos de competencia de usos es el de Chang, Page y Hill (2005), quienes analizaron la acuicultura en mar abierto en la Bahía de Fundy (Canadá) con el fin de mapear para apoyar a la industria acuícola, los gestores de zonas costeras y las personas involucradas en sus deliberaciones sobre el potencial acuícola. La porción canadiense de la Bahía de Fundy tiene 15 300 km² con profundidades lejos de la costa de 50 a 200 m y rangos de marea de 4 a más de 12 m.

Una ventaja de este estudio fue la visión profunda obtenida de las jaulas previamente establecido cerca de la costa para el cultivo de salmón del Atlántico, *Salmo salar*.

Las principales categorías de funciones de producción que consideraron incluyen el ambiente físico, la acuicultura marina existente de peces de alta, tráfico de barcos, pesca comercial y especies protegidas o en peligro, así como áreas protegidas (Figura 3.15).

El resultado fue que no había virtualmente ningún área en la Bahía de Fundy que no tuviera competencia de usos. Así, los autores concluyeron que los principales retos para la gestión son (1) reducir el conflicto dentro de las áreas empalmadas al mínimo, y (2) equilibrar los impactos negativos potenciales de la acuicultura en mar abierto con sus beneficios económicos, sociales y ambientales potenciales. En un enfoque analítico, los autores recomendaron proceder por etapas. La primera etapa es esencialmente un mapa de restricciones en el que no se permita la acuicultura por razones físicas (por ejemplo, riesgo de temperaturas muy bajas para el salmón) o por competencia de usos (por ejemplo, las áreas pesqueras más productivas, las zonas de mayor tráfico). Posteriormente, una segunda etapa intentaría equilibrar la apropiabilidad de la acuicultura dentro de áreas con menos competencia de usos.

Respecto a cuántos sitios acuícolas en mar abierto podrían permitirse en un área determinada, los autores consideran una distancia de separación equivalente a una marea alta como criterio. Así, a mayor velocidad de corriente de la marea, será más alta la marea y mayor la distancia entre sitios.

Finalmente, respecto a los datos y a incluir funciones de producción adicionales, los autores indican que hay temas y actividades para los que no existen datos espaciales disponibles (por ejemplo, pesca de langosta y hábitats críticos para el salmón silvestre) para los que se requieren datos adicionales (corrientes de agua y altura de olas).

3.3.2 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica para el cultivo de moluscos

Existe una variedad de oportunidades para aplicar los SIG y los sensores remotos al cultivo de moluscos, una de las cuales es que, en general, el cultivo de moluscos se realiza en zonas costeras relativamente poco profundas. Estar cerca de la costa implica que el entorno, especialmente la calidad del agua, las enfermedades y la competencia de usos son los principales factores de producción a analizar. Además, las zonas cerca de la costa tienen más datos que las zonas lejos de la costa y la resolución o detalle

TABLA 3.5
Resumen de aplicaciones de SIG en la acuicultura marina de moluscos organizado por tópicos

Autores	Año	Tópico principal	Sistema	País	Especie	Software	Apoyo a decisiones
SIG para el desarrollo acuícola							
Scott y Ross	1998	Sitios apropiados y zonas	N/G	Brasil	Mejillón	IDRISI 2.0	Opinión experta y ECM
Scott, Vianna y Mathias	2002	Sitios apropiados y zonas	Líneas, linterna, fuera del fondo	Brasil	Ostión y mejillón	ArcView 3.0, SPRING 3.5,	Opinión experta y ECM. Se incluyen estimados de capacidad, productividad y verificación de campo.
Buitrago et al.	2005	Planeación estratégica para el desarrollo	Balsa	Venezuela	Ostión	MapInfo 6.0	Opinión experta y ECM
SIG para la práctica y gestión acuícola							
Jefferson et al.	1991	Inventario y monitoreo de acuicultura y fondo	N/G	Estados Unidos de América	Ostión	ARC/INFO	Mapeo y caracterización de arrecifes de ostión, medio ambiente
Legault	1992	Inventario y monitoreo de acuicultura y medio ambiente	N/G	Canadá	Moluscos	CARIS	Evalúa los efectos de la contaminación en el cultivo de moluscos (La computadora incluye un punto de vista económico y Sistema de Información de Recursos Apoyados)
Smith y Jordan	1993	Inventario y monitoreo de acuicultura	Fondo	Estados Unidos de América	Ostión	N/G	Sistema de información de gestión del ostión basado en SIG. Se usó un SIG para la investigación y educación en gestión.
Smith, Jordan y Greenhawk	1994	Inventory and monitoring of aquaculture and the environment	Fondo	Estados Unidos de América	Ostión	N/G	Se usó un SIG para la gestión, investigación y educación.
Durand et al.	1994a ; 1994b	Restauración de habitats acuícolas	Fondo	Francia	Ostión	ARC-INFO	Umbrales sin pesos
Jordan, Greenhawk y Smith.	1995	Inventario y monitoreo de acuicultura	Fondo	Estados Unidos de América	Ostión	N/G	SIG-based oyster management information system. SIG was used for management, research and education
Smith y Greenhawk	1996	Inventario y monitoreo de acuicultura y medio ambiente	Fondo	Estados Unidos de América	Ostión	N/G	Caracterización, inventario y mapeo de arrecifes de ostión
Smith, Greenhawk y Homer	1997	Inventario y monitoreo de acuicultura y medio ambiente.	Fondo	Estados Unidos de América	Ostión	N/G	Perfil de subfondo y sonar de escáner lateral
Populus et al.	1997	Inventario y monitoreo acuícola y del medio ambiente	Fuera del fondo	Francia	Ostión	ArcView,	SIG, proveyendo una herramienta de captura y edición, una base de datos espacial, programación de escritura y mapeo Se permiten funciones de análisis para aprovechar la forma digital de las capas de datos e indicadores computacionales esenciales para la gestión adecuada de un recurso costero económicamente importante

Autores		Año	Tópico principal	Sistema	País	Especie	Software	Apoyo a decisiones
Loubersac <i>et al.</i>		1997	Inventario y monitoreo de acuicultura	Fuera del fondo	Francia	Ostión	ARC/INFO v. 7 ARC/VIEW ERDAS Orthomax	SIG, proveyendo una herramienta de captura y edición, medio ambiente base de datos, programación de script y mapeo. Se permiten las funciones espaciales funciones espaciales para aprovechar el análisis Forma digital de capas de datos e indicadores computarizados esenciales para la gestión adecuada de Imagine v. 8.3 Un recurso costero económicamente importante
Goulletquer <i>et al.</i>		1998	Inventario y monitoreo de acuicultura	Fuera y sobre el fondo	Francia	Ostión	N/G	Modelos de producción. Capacidad de traslado de ostión y entorno de cultivo.
Soletchnik <i>et al.</i>		1999	Inventario y monitoreo de acuicultura	Fuera y sobre el fondo	Francia	Ostión	N/G	Modelos de producción. Capacidad de traslado de ostión y entorno de cultivo en fondo.
Smith, Bruce y Roach		2001	Inventario y monitoreo de acuicultura y medio ambiente	Fondo	Estados Unidos de América	Ostión	MapInfo	ASCS para evaluar el hábitat de ostión
Smith <i>et al.</i>		2001	Inventario y monitoreo de la acuicultura y medio ambiente	Fondo	Estados Unidos de América	Ostión	MapInfo	ASCS para evaluar hábitat y fondo asociado
Smith, Roach y Bruce		2002	Inventario y monitoreo de acuicultura y medio ambiente	Fondo	Estados Unidos de América	Ostión	MapInfo	Tecnologías acústicas y SIG para evaluar ubicación, origen geológico y composición de los bancos de ostión.
Bacher <i>et al.</i>		2003	Inventario y monitoreo de acuicultura	Redes de linterna	China	Vieira	ArcView,	Capacidad de sostenimiento relativa a la depleción alimentaria de la vieira. Se usó un SIG para producir mapas de la bahía de la depleción de seston y crecimiento de Vieira.
Carswell, Cheeseman, y Anderson		2006	Inventario y monitoreo de acuicultura y medio ambiente	Fondo entre mareas	Canadá	Almeja	ArcView	Inventario de acuicultura de almeja e impactos de acuicultura en poblaciones de aves
Vincenzi <i>et al.</i>		en preparación	Inventario y monitoreo de acuicultura y medio ambiente	Fondo	Italia	Almeja	Surfer v. 7.02	Capacidad de traslado en términos de prensa y potencial de resultados. Modelos de hábitats apropiados para estimar resultado. Opinión experta y pesos.
SIG para el desarrollo y gestión multisectorial que incluye a la acuicultura								
Arnold, Norris y Berrigan; Arnold y Norris; Arnold <i>et al.</i>		1996; 1998; 2000	Pesca y otros usos en competencia	Fondo	Estados Unidos de América	Almeja dura	ArcView, Spatial Analyst	Modelo de arrendamiento de sitio para el cultivo de almeja dura basado en SIG. Umbrales sin peso.
Center for Coastal Resources Management		1999	Pesca y otros usos en competencia	Fondo	Estados Unidos de América	Almeja dura	N/G	Umbrales Modelos de hábitats apropiados para almeja y SAV. Los resultados se consideraron un punto de partida para identificar varias opciones para el debate de políticas.
Dolmer y Geitner		2004	Pesca y otros usos en competencia.	Líneas Flotantes	Dinamarca	Mejillón	N/G	Umbrales y pesos.

de los datos también es mayor. Finalmente, la producción por peso de los moluscos es mayor que para los peces de aletas (Sección 1.2.3). Así, no es ninguna sorpresa que las aplicaciones de SIG en el cultivo de moluscos sea mayor y más diversa que para el cultivo de peces de aleta en jaulas.

Algunas de las reseñas aquí presentadas tratan con los SIG y los moluscos, aunque no específicamente con la acuicultura de moluscos. Sin embargo, las aplicaciones son relevantes en el sentido de que podrían ser igualmente aplicadas a situaciones de cultivo.

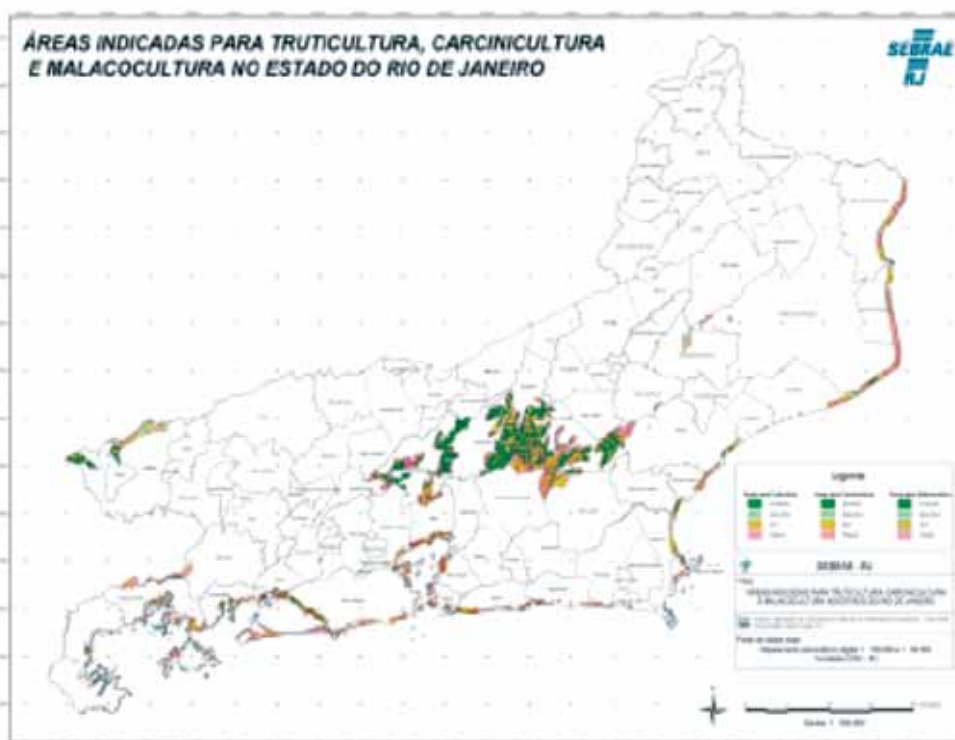
Las reseñas, como en la sección anterior, se presentan de acuerdo a las categorías principales y secundarias de temas (Tabla 2.1). Las aplicaciones se resumen en la Tabla 3.5.

SIG para el desarrollo de la acuicultura marina de moluscos

Apropiabilidad de sitio y zona

Scott y Ross (1998) examinaron el potencial para el cultivo de mejillón, *Perna perna*, en la Bahía de Sepetiba, en el oriente del estado de Rio de Janeiro (Brasil). La bahía, de cerca de 544 km², se encuentra bajo una gran presión por parte del desarrollo portuario e industrial, así como de las aguas negras no tratadas de los municipios. Los criterios de funciones de producción se agruparon en submodelos que incluían calidad del agua (temperatura, clorofila, salinidad, oxígeno disuelto y cloriformo fecal), protección (altura de ola, velocidad de corriente), e infraestructura (proximidad a centros urbanos, caminos principales, zonas pesqueras y fuentes de semilla de mejillón). Se establecieron umbrales para cada criterio y se les clasificó en cuatro grupos, de ideal a inadecuado.

FIGURA 3.16
Apropiabilidad para el cultivo de camarón, moluscos bivalvos y trucha a lo largo del estado de Rio de Janeiro, Brasil



Fuente: Scott, Vianna y Mathias (2002)

Las restricciones incluyeron áreas de alta contaminación, alta turbiedad, posible competencia de usos o conflicto, áreas utilizadas por el ejército y para navegación, pesca de camarón y operaciones portuarias. En general, se encontraron 10 000 ha ideales, 9 600 adecuadas y 1 270 marginales.

Aumentando al trabajo descrito, Scott, Vianna y Mathias (2002) identificaron las regiones y municipios con las condiciones más favorables para el desarrollo de varios tipos de acuicultura a lo largo del estado de Rio de Janeiro (Brasil). El estudio se apoyó en una organización que promueve las pequeñas empresas. Su trabajo es digno de mención por ser incluyente: (1) cubre la acuicultura tanto a lo largo de la costa (mejillón, ostión, camarón) como en tierra (peces, ranas), y (2) compara los resultados en términos de capacidad espacial y productividad acuícola con una aparente demanda de mercado para sus productos y en términos de autosuficiencia para los estados (Tabla 3.6 y Figura 3.16).

TABLA 3.6
Resumen de resultados de modelado en SIG para el potencial y demanda de Rio de Janeiro

Producto	Productividad estimada (kg/ha/año)	Áreas adecuadas (ha)	Área requerida para cubrir demanda (ha)	Porcentaje de áreas adecuadas requerido para que el estado sea autosuficiente	Índice de Prioridad (IP) para cubrir los productos acuícolas internamente
Camarón marino	2,000	47,331	264	0.5578	0.8355
Tilapia	5,700	2,060,189	29.5	0.0014	0.0933
Peces tropicales	4,300	2,060,189	20.1	0.0010	0.0636
Mejillón	25,000	16,448	1.9	0.0117	0.0061
Ostión	115,000	16,448	0.1	0.0008	0.0004
Vieira	60,000	16,448	0.04	0.0002	0.0001
Trucha	72,000	161,115	0.3	0.0002	0.0008
Ranas	75,000	3,186,768	0.06	0.0000	0.0002

Camarón marino = *Litopenaeus vannamei*. Tilapia = variedades rojas e híbridos de *Oreochromis niloticus*. Peces tropicales = *Colossoma macropomum*, *Piaractus mesopotamicus*, *Colossoma brachypomum* e híbridos Ostión = *Cassostrea rhizophorae*. Vieira = *Nodipecten nodosus*. Trucha = *Oncorhynchus mykiss*. Ranas = *Rana catesbiana*.

Fuente: Scott, Vianna y Mathias (2002)

Los autores llegaron a estimados de áreas apropiadas asignando un peso que variaba entre 0 y 10 para cada función de producción relacionada con cada especie. El peso se asignaba con base en la experiencia de los miembros del grupo y en discusiones sobre la importancia relativa de cada factor para cada especie. Se verificó presentando los mapas apropiados a agentes de extensión con experiencia, quienes juzgaron los resultados con base en sus propios conocimientos. Hubo un buen acuerdo entre los resultados y áreas modeladas que se sabía tenían diversos niveles de apropiabilidad.

Planeación estratégica para el desarrollo

Buitrago *et al.* (2005) se dispusieron a evaluar las posibilidades del cultivo de ostión en balsas en las lagunas de Isla Margarita (Venezuela) y en dos islas cercanas, tomando un área inicial de estudio de cerca de 3 900 km². Este estudio es digno de mención porque busca la selección de sitio para una acuicultura basada en la comunidad, ya que muchos expertos participaron en la toma de decisiones y por el uso de un enfoque no tradicional para considerar los factores de producción. En total se consideraron 20 factores. Se les agrupó en cuatro criterios principales: (1) los que afectan la supervivencia del ostión (intrínsecos al ambiente), (2) los relacionados con el éxito de la actividad de cultivo (extrínsecos al ambiente), (3) logísticos, y (4) socioeconómicos. Dieciocho expertos en áreas relacionadas con cultivo de moluscos de universidades, instituciones de investigación, agencias gubernamentales y compañías privadas sumaron la lista de factores con la restricción que la suma de puntajes tenía que ser 100. La importancia de cada factor se basó en el promedio de

sus respuestas. Posteriormente se asignaron factores individuales a cinco clases de apropiabilidad (óptimo a limitante), comenzando con el puntaje medio como la clase más alta (Tabla 3.7). Después, cada uno de los 20 factores se mapeó temáticamente y cada mapa temático se colocó en las mismas cinco clases utilizadas para puntuar los factores (Figura 3.17a).

La asignación de clases a los mapas temáticos se basó en una variedad de información que incluye los resultados de estudios anteriores, cuestionarios, entrevistas y la experiencia personal de los investigadores. También se establecieron restricciones para enmascarar las áreas relevantes. Las restricciones redujeron el área de estudio a 1 274 km². Un proceso en pasos se utilizó para combinar factores para una Evaluación de Criterios Múltiples (ECM). Primero, se combinaron factores dentro de cada uno de los cuatro principales criterios para identificar áreas con un alto potencial (Figura 3.17a). Posteriormente se combinaron puntajes de criterios, de nuevo identificando las zonas óptimas en todos los criterios. El resultado fue que se consideraron 13 sitios de 4.1 km² como óptimos para el cultivo de ostión en balsas. Se encontraron 137 sitios, con un total de 37.5 km², como casi óptimos pero con altos puntajes (Figura 3.17b). Uno de los problemas identificados fue la relativamente alta variación entre los expertos respecto a la importancia de algunos factores (Tabla 3.7). Otro problema fue que el enfoque pudo haber sido demasiado restrictivo ya que un número relativamente alto de sitios, así como una zona relativamente pequeña, se identificaron como con el mayor potencial.

SIG para la práctica y gestión de la acuicultura de moluscos

Inventarios y monitoreo de acuicultura y el medio ambiente

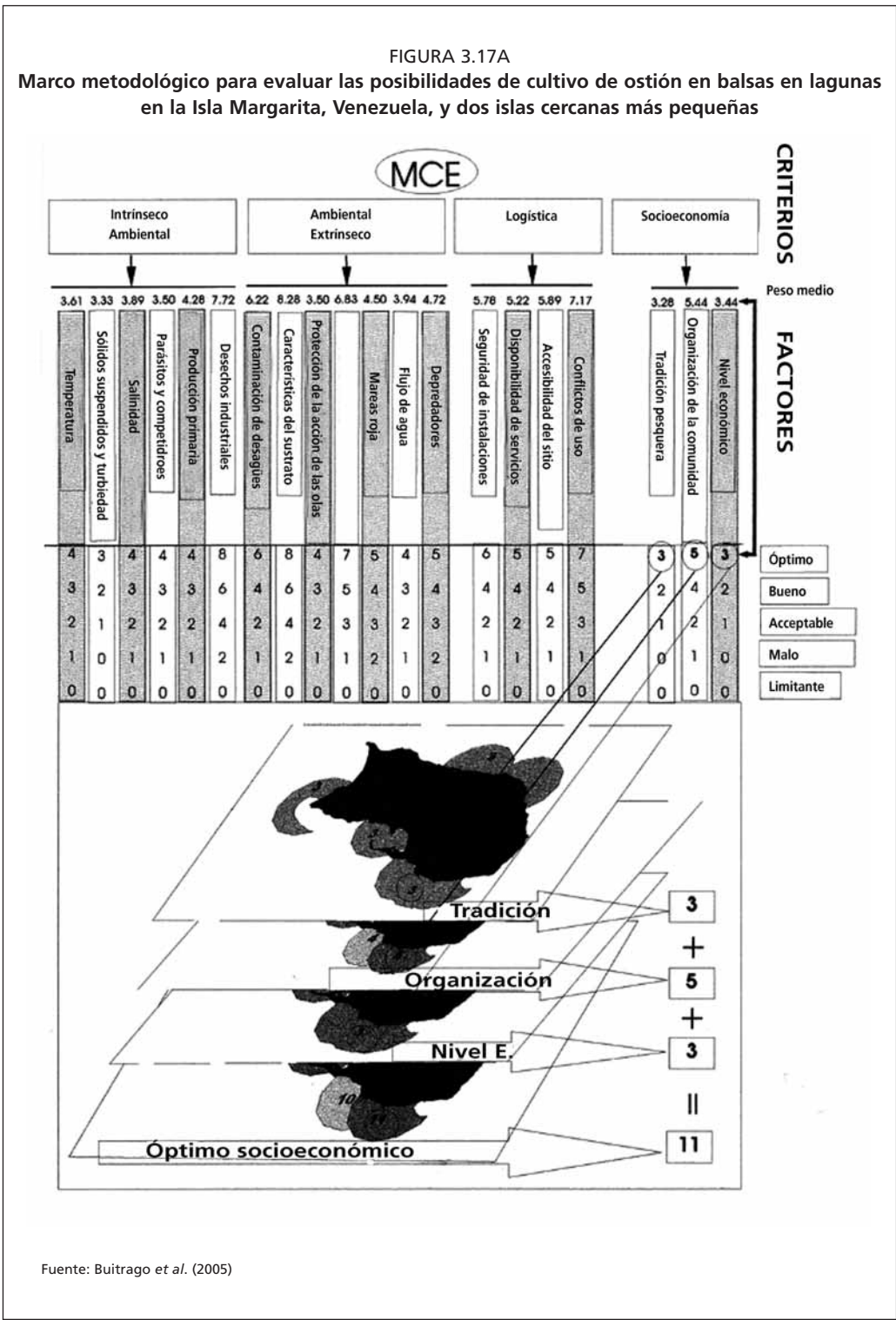
El inventario y monitoreo de las instalaciones y operaciones acuícolas junto con las investigaciones del ambiente se encuentran entre las aplicaciones más comunes de SIG aplicadas a los moluscos.

La calidad del agua y las enfermedades relacionadas con las operaciones junto con las investigaciones del ambiente se encuentran entre las aplicaciones más comunes de SIG aplicadas a los moluscos. Va sin decirse que la buena calidad del agua es esencial para la subsistencia de acuicultura marina. La calidad del agua en términos de las aplicaciones de SIG pueden verse en dos contextos: (1) fuentes externas a la operación acuícola, usualmente con base en tierra, que contribuyen a una pobre calidad del agua, y (2) enriquecimiento de los locales acuícolas con nutrientes disueltos en la columna acuática y material particular en los sedimentos, así como la posibilidad de enfermedades dentro de la operación acuícola.

Jefferson *et al.* (1991) estudiaron los arrecifes de ostión en Murrells Inlet, Carolina del Sur (los Estados Unidos de América), como parte de una investigación para examinar los efectos de la urbanización en los estuarios. La meta era propiciar las decisiones de gestión de recursos. Murrells Inlet es un estero poco profundo con alta salinidad, sin una llegada de río rodeada de desarrollo, excepto en una parte adyacente a un parque. El estero se congestiona con la presencia de pescadores recreativos y comerciales.

Los arrecifes de ostión dentro de la zona entre mareas del estuario fueron mapeados y caracterizados de acuerdo con (1) cosechas vivas, (2) diversos aspectos de estructura y ecología, así como reclutamiento de ostras asociado, y (3) talla de semilla. Otras capas incluyeron patrones de uso de tierra, marinas y sitios de contaminación puntual y no puntual.

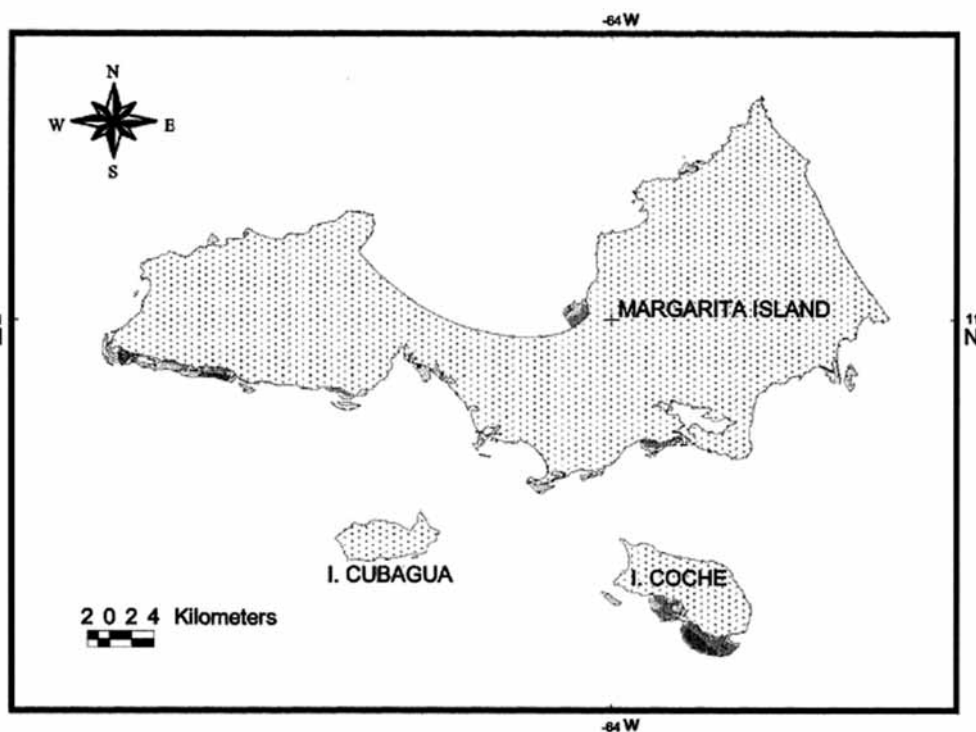
En general, los arrecifes de ostión en áreas contaminadas se ubicaban cerca de marinas, gran tráfico de barcos, desechos de industrias del servicio, y viviendas de alta densidad. Los arrecifes con alto reclutamiento se caracterizaban por una talla relativamente alta y en general no se ubicaban en áreas de alto tráfico de barcos, marinas o zonas altamente contaminadas. Como parte del estudio, se utilizaron búsquedas y



sobreposiciones espaciales para examinar los números y áreas de arrecifes de ostión que podrían ser afectadas por varios escenarios de desarrollo, incluyendo dragado para mantener una marina y un canal para barcos.

FIGURA 3.17B

Mapa final mostrando las zonas que representan más del 80% de las posibles ubicaciones en el sur de Macano y Coche, cubriendo 4.1 km²

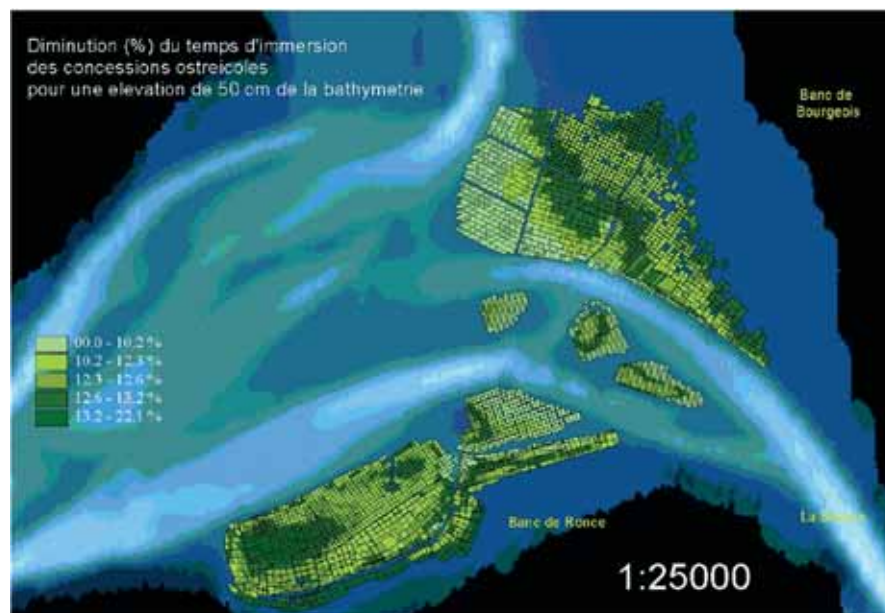


Nota: Se considera que estos lugares poseen las condiciones óptimas para el cultivo de ostión en balsas en la región de la Isla Margarita. Los sitios adicionales que cumplen con 75% (recuadro oscuro ■) ó 70% (recuadro claro ■) de los criterios exigidos para una selección final cubren 137 sitios en 37.5 km².

Fuente: Buitrago et al. (2005)

FIGURA 3.18

Pérdida de duración de inmersión (en %) para una tasa de sedimentación teórica de 50 cm sobre las áreas concesionadas de ostión en Bancs de Ronce y Bourgeois



Fuente: Populus et al. (1997)

TABLA 3.7
Criterios y factores de apropiabilidad, su consideración óptima y niveles categóricamente restrictivos

Apropiabilidad del Sitio			Pesos de juicio:
Criterios y factores	Óptimos	Restrictivos	media± SD (rango)
Ambiente intrínseco			
Temperatura	22-27°C	N.A.	36± 2.7 (0-10)
Batimetría-marea	> 5 m y marea pequeña	> 5 m o marea grande	3.3 ± 3.4 (0-15)
Rango	Fluctuación	Fluctuación	
Sólidos suspendidos y turbiedad	Profundidad de Secchi > 3 m	N.A.	3.9 ± 2 (0-8)
Salinidad	32-40 p.s.u.	N.A.	3.5 ± 2.6 (0-10)
Producción primaria	Alta pero no se reportan florecimientos de algas	Aguas oligotróficas	7.7 ± 3.6 (0-15)
Competidores y parásitos	No hay reportes de Polydora	N.A.	4.3 ± 2.1 (0-8)
Ambiente extrínseco			
Depredadores	Desde pastos marinos duros, zonas de manglares	N.A.	4.7 ± 2.3 (1-10)
Mareas de florecimientos rojos de algas	No se reportan florecimientos de marea roja o de algas dañinas	N.A.	4.5 ± 3.1 (1-10)
Corrientes	Velocidad 20-40 cm	N.A.	3.9 ± 2.6 (0-10)
Protección de la acción de las olas	Protegido de las tres principales direcciones de llegada de las olas	Sin protección de las aguas entrantes	6.8 ± 3.6 (0-15)
Características del sustrato	Lejos de comunidades altamente sensibles al medio ambiente (corales, pasto marino, suelos duros)	N.A.	3.5 ± 2.1 (0-8)
Contaminación de desagües	Área aprobada por los reglamentos de sanidad de moluscos	El área puede no cumplir con los estándares regulatorios	8.3 ± 4.3 (3-20)
Salida industrial	Área aprobada por los reglamentos de sanidad de moluscos	El área puede no cumplir con los estándares regulatorios	6.2 ± 2.9 (2-12)
Logística			
Acceso al sitio	Cerca de comunidades meta	No hay comunidades pesqueras cerca	5.9± 2.7 (0-10)
Disponibilidad de servicios	Todos los servicios requeridos a < 8 km	N.A.	5.22 ± 2.4 (0-10)
Seguridad de las instalaciones	Fácil supervisión de balsas	N.A.	5.8 ± 3.7 (0-15)
Conflictos en el uso de espacio y recursos	Lejos de áreas protegidas, zonas pesqueras y canales de navegación	Zonas protegidas cercanas o zonas pesqueras de arrastre o red	7.2 ± 4.2 (0-20)
Socio economía			
Organización de la comunidad	La comunidad incluye la participación de las mujeres en la toma de decisiones	N.A.	5.4 ± 2.9 (0-10)
Nivel económico	Pocas oportunidades de desarrollo alternativo	N.A.	3.4 ± 2.3 (0-8)
Tradición pesquera	Larga historia de uso de recursos marinos	N.A.	3.3 ± 2.5 (0-10)

Nota: los resultados de los juicios de los expertos, los pesos de factores apropiados, las desviaciones estándar y los son dados. N.A. = No aplica.

Fuente: Buitrago et al. (2005)

El estudio de Legault (1992) sobre moluscos es digno de mención por dos razones: primero, como una aplicación temprana de SIG para evaluar los efectos de la contaminación en los enclaves de moluscos, y segundo, porque incluye un punto de vista económico. Éste fue un estudio piloto con el objetivo de mostrar las capacidades y limitantes de un SIG para evaluar el impacto en los hábitats. El área de estudio fue la costa oriental de la Isla del Príncipe Eduardo, al oriente de Canadá, donde los enclaves debidos a las bacterias coliformes afectan a los moluscos de dos formas: los moluscos deben trasladarse a nuevas áreas para depurarlos y los productos pueden ser sospechosos si se cosechan cerca de las zonas cerradas. Especialmente, los SIG abarcaron zonas rentadas, zonas cerradas y zonas aprobadas, la línea costera, caminos y

salidas de aguas negras así como datos de atributos sobre las rentas que se encontraron en la base de datos. Al utilizar datos limitados sobre producción y valor, se estimaron las pérdidas debido a las zonas cerradas. A pesar de que no se realizaron estudios de causa y efecto, se mapearon las ubicaciones y tipos de fuentes de contaminación.

Uno de los principales problemas enfrentados fue la naturaleza diversa e inconsistente de los datos. Estos existían, pero no se encontraban disponibles en formatos útiles. Sobre la implementación de los SIG, se observó que la distribución de recursos humanos y financieros suficientes es esencial para la operación efectiva, y que el SIG requiere mucho trabajo y tiempo, pero al final, sus resultados, en términos de tiempo ahorrado comparado con las alternativas no automatizadas y en términos de la complejidad del análisis de datos, justifican el gasto.

La Bassin de Marennes-Oléron en Charente-Maritime es una de las áreas más importantes para el cultivo de ostión en Francia. Goulletquer y Le Moine (2002) revisaron el estado de la gestión de la acuicultura de moluscos dentro del contexto de la gestión de zonas costeras en la Bahía de Marennes-Oléron y en Carentais Sounds. Populus *et al.* (1997)¹ y Loubersac *et al.* (1997) reportan el desarrollo de un SIG para mejorar la gestión del cultivo de ostión en la misma región. Trabajaron con 22 000 zonas de cultivo en un área de 2 900 ha. Los principales problemas de gestión eran el sobrealmacenamiento de sitios, sistemas de cultivo no apropiados, sedimentación y competencia con los ostiones silvestres.

El proceso por pasos consistía en crear una base de datos de los arrendamientos y sus atributos, digitalizando mapas en papel de los mismos, georreferenciándolos y asignando los arrendamientos a “bancos” (unidades administrativas y de gestión). Mapear la profundidad promedio de las tierras arrendadas para cultivar ostión era importante por el limo que se cree se ocasiona por las estructuras de cultivo conocidas como “mesas”. Con el dato de la profundidad de los arrendamientos fue posible estimar el tiempo de inmersión de cada área arrendada, una variable asociada con el crecimiento del ostión y finalmente con la productividad y valor de cada área (Figura 3.18). Finalmente, la ubicación de las tierras arrendadas y los datos de profundidad fueron útiles para planear el dragado a manera de mejorar los efectos del limo.

Los usos adicionales de SIG previstos por los autores incluyen fotografías aéreas periódicas georreferenciadas para revisar el cumplimiento con las prácticas culturales, y para estimar la biomasa de los ostiones así como vincular los datos de arrendamiento a las dinámicas poblacionales del ostión y con su ambiente, incluyendo lluvia y descargas contaminantes.

Goulletquer *et al.* (1998) y Soletchnik *et al.* (1999), agregando al trabajo de Populus *et al.* (op. cit) y Loubersac *et al.* (op. cit), estudiaron la mortalidad de ostiones en cultivo sobre el fondo y despegado en una de las riberas de la Bahía Marennes-Oléron descrita arriba. A pesar de que la mortalidad veraniega de los ostiones en el área fue un problema, se desconocen las causas. Por lo tanto, el estudio obtuvo tasas de crecimiento adquirido, de supervivencia de madurez sexual y datos ambientales de 15 sitios muestra para investigar la relación. Las mortandades se relacionaban con altas temperaturas y con un catabolismo glicogénico previo al desove. Se construyeron modelos de producción con base en el análisis de los datos de campo y se incorporaron al SIG. Se demostró la capacidad variable geográficamente en ambos sistemas de cultivo.

Entre las aplicaciones de sensores acústicos remotos en la acuicultura de moluscos se encuentran inventarios de recursos de moluscos y caracterización de sus hábitats utilizando sensores remotos hidroacústicos. Los sensores remotos satelitales como fuente de datos para SIG y para el monitoreo en tiempo real tienen su contraparte

¹ Un estudio basado en una publicación reciente escrita por Populus *et al.* (en prensa) sobre la geomática de las ostras, es un estudio de caso en GISFish.

submarina en la acústica. Smith, Bruce y Roach (2001) identifican tres enfoques para la evaluación y la representación del suelo. Se puede utilizar un solo sonar de rayos para evaluar la superficie general y las características que se encuentran debajo de ésta, pero la clasificación de hábitat es subjetiva. Un sonar de escáner lateral provee imágenes de alta resolución en textura del fondo que pueden convertirse en mosaicos, pero exige un gran esfuerzo para evaluar el fondo. Los Sistemas de Clasificación Acústica del Lecho Marino (SCALM, ASCS por sus siglas en inglés) se han vuelto muy importantes. Estos clasifican el eco estadísticamente en tipos definibles de hábitat utilizando formas de ola que revelan información sobre los varios tipos de sustrato. Los SCALM también requieren un gran esfuerzo de evaluación.

Smith, Bruce y Roach (op. cit) describen los resultados de las evaluaciones de las tecnologías mencionadas para valorar el hábitat del ostión. Concluyeron que los SCALM son adecuados para identificar y cartografiar la concha del ostión así como para distinguir entre la concha y sedimentos finos. Además, los SCALM ofrecen una vinculación excelente con la capacidad de análisis y las muestras de SIG.

A pesar de que muchos recursos ostrícolas pueden capturarse y no cultivarse, en el caso de algunas granjas de ostión existe un elemento de acuicultura marina ya que el sustrato al cual se adhieren y en el cual crecen los juveniles lo proveen los arrecifes artificiales.

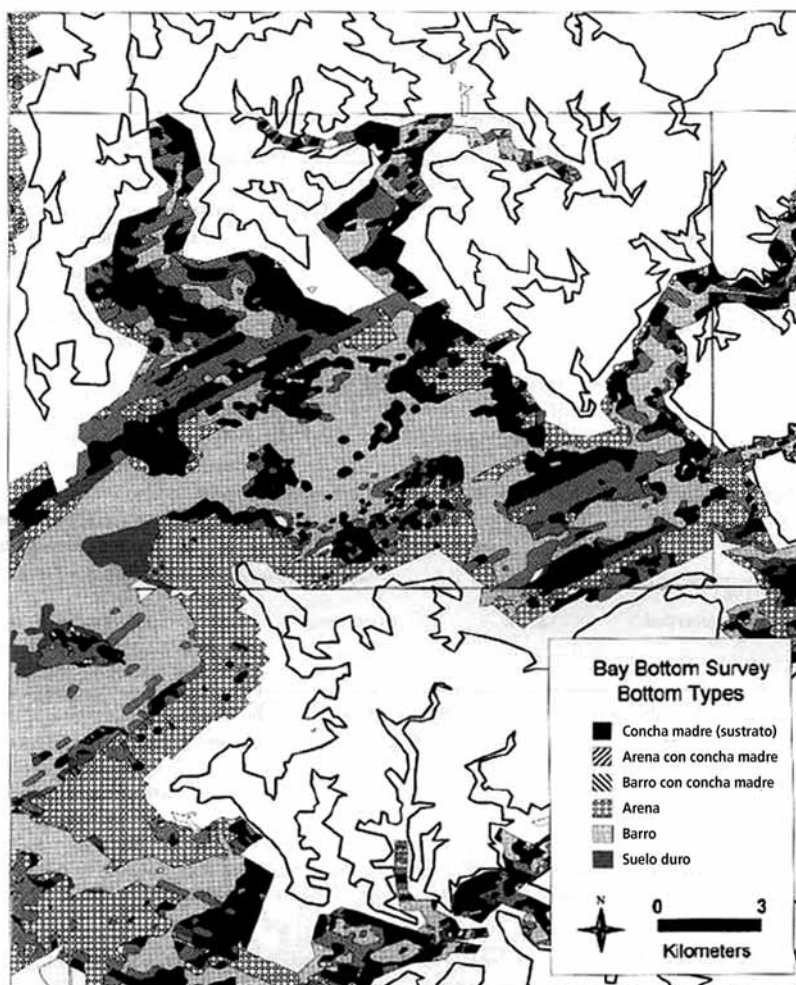
En algunos casos, es posible seguir la evolución de los SIG en un periodo de tiempo relativamente largo, ya que se aplica a una variedad de problemas relacionados. El recurso de ostión, *Crassostrea virginica*, de la Bahía de Chesapeake en Maryland (los Estados Unidos de América) provee un buen ejemplo. La Bahía de Chesapeake es el estuario más grande de los Estados Unidos de América, con un área de 11 600 km². Es relativamente poco profundo, con una profundidad promedio de menos de 9 m.

El uso de SIG aplicados a investigaciones y gestión de recursos de ostión en la Bahía de Chesapeake tiene una larga historia. Uno de los impedimentos para la gestión era que la complejidad de los datos sobre poblaciones y enfermedades implicaba que los datos no eran utilizados en su totalidad ni se les analizaba prontamente. El comienzo de encuestas anuales en 1990 tomando en cuenta un análisis de SIG ha tenido dos resultados: (1) los datos locales y regionales se representan en un contexto geográfico y (2) se han creado preguntas sobre gestión y capacidades estadísticas (Smith y Jordan, 1993) en un sistema de información de gestión de ostión con base en un SIG (Smith, Jordan y Greenhawk, 1994). El sistema ha demostrado ser especialmente útil en su apoyo a las necesidades informativas del Plan de Acción de Recuperación de Ostiones (Jordan, Greenhawk y Smith, 1995). Los gestores, científicos y políticos tienen perfiles claros y gráficos del hábitat, población y estatus de enfermedad del ostión, así como con los grados de salinidad. Además de su utilidad como herramienta de gestión e investigación, el SIG demostró ser útil como herramienta educativa para estudiantes y grupos turísticos.

Estudios posteriores en la Bahía de Chesapeake se han enfocado en la caracterización de los arrecifes de ostión. Como se indica anteriormente, esto tiene implicaciones importantes para la gestión, ya que se incurre en costos significativos al mantener y restaurar los arrecifes artificiales ("cargados"). Así, la caracterización, inventario y mapeo son aplicaciones importantes de los sensores remotos y los SIG. Smith y Greenhawk (1996) reconocieron dos tipos de arrecifes de ostión en la Bahía, en márgenes y en parche o mancha. La tasa de pérdida de las conchas de ostión expuestas se relaciona con el tipo de arrecife. Utilizaron un SIG con datos sobre los límites de los arrecifes cargados, batimetría y composición del fondo para estudiar la pérdida de conchas de finales del siglo XX a la década de los 70, e identificaron la sedimentación local como una de las causas principales de la pérdida de hábitat.

El pronunciado declive de las poblaciones de ostión en la Bahía de Chesapeake se ha atribuido a la pérdida de hábitat por sedimentación, como se muestra arriba,

FIGURA 3.19
Un ejemplo de la versión digitalizada de la Evaluación del Fondo de la Bahía de Maryland en la región del Río Coptank



Nota: La línea costera y los límites de los mapas Mylas originales están superpuestos sobre los temas de consulta de fondos, aunque no se incluyen en el archivo original. Las transparencias Mylas originales medían 70 x 111 cm, están dibujadas a una escala de 1:20,000 y se proyectan en U.S. State Plane NAD27. La orientación general noreste/suroeste de los temas de fondos que se muestran aquí es resultado de la navegación de faros de radio. Fuente: Smith *et al.* (2001).

Fuente: Smith *et al.* (2001)

sobrecaptura y enfermedades. De éstas, la última es la más difícil de cuantificar en áreas grandes. Para investigar los efectos de la sedimentación, Smith, Greenhawk y Homer (1997) utilizaron perfiles de subfondo y un sonar de escáner lateral sobre áreas que previamente fueron barras de ostión. Utilizaron un SIG para integrar los datos en dos y tres dimensiones. Así, la sedimentación sobre barras históricas de ostión y en arrecifes cargados podría diferenciarse.

En un estudio relacionado, Smith *et al.* (2001) crearon un SIG de hábitat de ostión y asociaron tipos de fondo en la porción de Maryland de la Bahía de Chesapeake que se basaba en datos de diversos tipos de encuestas realizadas entre 1975 y 1983. El propósito de la encuesta era revalorar el grado y condición de las barras de ostión que se habían evaluado en 1912. Los datos de la encuesta se usaron para clasificar el fondo en seis categorías, tres de los cuales se relacionaban con los hábitats de ostión y los demás con fondos sin ostiones. Los datos de la encuesta original se utilizaron

únicamente para producir mapas de las fronteras de las barras de ostión en hojas de mylar, pero los mapas estaban limitados porque no estaban geo-referenciados y no se mostraban las costas. Además, los datos de clasificación original de fondos no estaban mapeados. Para sacar ventaja de las posibilidades analíticas inherentes en los datos, las hojas se digitalizaron e integraron en un SIG junto con otros datos útiles espaciales tales como batimetría y encuestas acústicas recientes o planeadas (Figura 3.19).

Smith, Roach y Bruce (2002) utilizaron una combinación de tecnologías acústicas y SIG para evaluar la ubicación, origen geológico y composición de barras de ostión en las áreas mesohalinas de la Bahía de Chesapeake. Algunas estructuras geológicas proveen inicialmente la base para la formación de las barras y, al cartografiarlas, proveen una base para ubicar las barras y evaluar su condición. En algunas ubicaciones, se han cubierto las terrazas de las barras de ostión con sedimento, o se progresa en la sedimentación. A pesar de que se ha culpado a las prácticas de cosecha por la reducción en las barras de ostión, los resultados de este estudio no apoyan claramente dicha idea. Al contrario, la restauración de ostión debería ocurrir únicamente en las ubicaciones donde las características geológicas puedan apoyar la restauración material en las áreas donde los sedimentos del fondo no crezcan demasiado.

Un estudio de acuicultura de moluscos en Baynes Sound, Isla de Vancouver, BC (Canadá), realizado por Carswell, Cheesman y Anderson (2006), trata varios temas relacionados con el desarrollo acuícola, utilizando sensores remotos y SIG. Los temas incluyen un inventario de la acuicultura de almeja y el ambiente, al tiempo que estima los impactos ambientales de la acuicultura sobre las poblaciones de aves.

Baynes Sound, con un área aproximada de 8.6 km², contiene la mayor parte de la producción de maricultura de la provincia y es una de las zonas más densamente cultivadas. Las tres especies comerciales de almeja más importantes en Baynes Sound son la nativa almeja común, *Protothaca staminea*, y dos especies introducidas, la almeja barnizada, *Nuttallia obscurata*, y la almeja manila, *Tapes philippinarum*. Las almejas se cultivan bajo redes protectoras. Un posible efecto ambiental del cultivo de moluscos es la distancia espacial de las redes, ya que afecta la disponibilidad de presas para dos especies de aves.

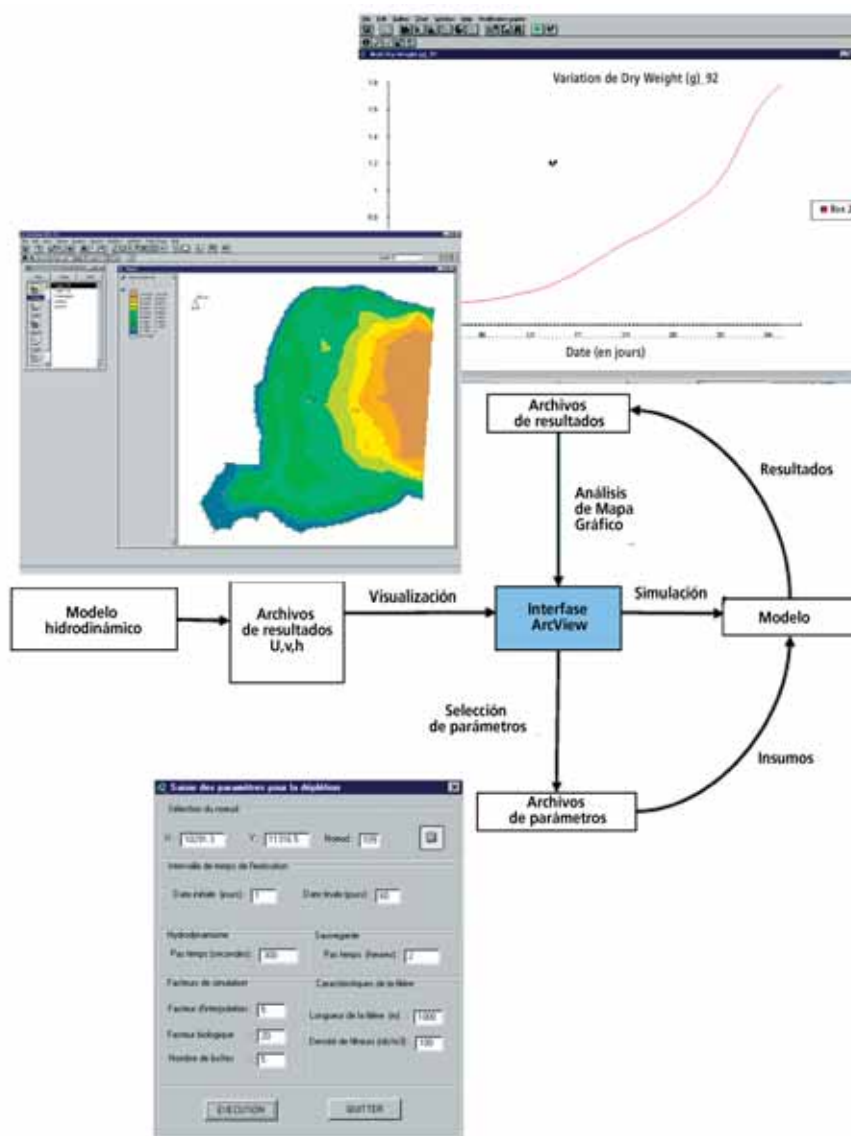
El inventario de concesiones de moluscos se basó en fotografías aéreas geo-registradas. Las fotografías se escanearon, hicieron mosaico e integraron en un SIG. Los contornos de las redes de almejas se digitalizaron para estimar sus áreas. También se utilizó un SIG para combinar la cubierta de las redes con un inventario existente de tipos de costas (por ejemplo, planicies de mareas). Los hábitats de almeja se delinearon de acuerdo con los contornos de elevación de las áreas entre mareas. Estos rangos se intersecaron con la cubierta de redes para determinar las proporciones del hábitat entre mareas de la almeja por tipo de sustrato cubierto por las redes.

Los resultados mostraron que, a pesar de que el área de las tierras concesionadas es relativamente grande, el área cubierta por redes es en general pequeña y es pequeña también de acuerdo con los diversos tipos de hábitats costeros. Así, el impacto del cultivo de moluscos en cuanto a superficie es relativamente menor. La almeja manila es la única especie cultivada en el estrecho y por lo tanto, es la única almeja para la que se despliegan redes. La evidencia sugiere que las aves en cuestión se alimentan en gran medida de almejas barnizadas, por lo que impedir el acceso a las aves utilizando redes no tendría un impacto en su fuente alimenticia. Los autores concluyen que un análisis espacial sobre la extensión de la acuicultura en Baynes Sound sería invaluable para hacer evaluaciones de riesgo y tomar decisiones de asignación de recursos bien fundamentadas.

Inglis *et al.* (2000) revisaron la capacidad de sostenimiento en el cultivo de mejillón en Nueva Zelanda. Reconocen cuatro tipos de capacidades de sostenimiento:

- Capacidad física – la superficie total de granjas marinas que caben en el espacio físico disponible;

FIGURA 3.20
Integración de modelos y SIG



Fuente: Bacher *et al.* (2003)

- Capacidad de producción – la densidad de estabulación de bivalvos a la cual se maximizan las cosechas;
- Capacidad ecológica – la densidad de estabulación o de granjas que ocasiona impactos ecológicos inaceptables; y
- Capacidad social – el nivel de desarrollo de granjas que ocasiona impactos sociales inaceptables.

Las investigaciones de capacidad de sostenimiento pueden aplicarse al desarrollo acuícola si se conducen antes de implementar la acuicultura o, como en el caso del siguiente estudio, a la gestión acuícola si se realizan después de comenzar las actividades. Bacher *et al.* (2003) han estudiado la capacidad de sostenimiento relativa a la depleción de los alimentos de la escalopa, *Chlamys farreri*, en la Bahía de Sungo [el nombre del lugar, en chino, es Sanggou], una de las áreas marinas más intensamente utilizadas para la acuicultura en China.

La capacidad de sostenimiento es la máxima producción posible en un ecosistema

determinado dadas las restricciones biológicas y las características de la actividad acuícola. La depleción alimenticia se definió como la proporción de la concentración de alimentos dentro de las áreas acuícolas respecto de la concentración fuera de ellas. Así, la selección de sitios de cultivo y la determinación de densidades de cultivo son aspectos críticos de la capacidad de sostenimiento y los estudios de depleción respecto a la sustentabilidad acuícola.

La Bahía de Sungo tiene en promedio 10 m de profundidad y ocupa 140 km². Debido a la baja recepción de nutrientes de la tierra, la producción primaria se origina con la importación de materia orgánica y de nutrientes del mar. La laminaria, *Laminaria laminaria*, y el ostión, *Crassostrea gigas*, se cultivan además de las escalopas.

El proceso analítico por pasos incluyó (1) la cuantificación de la relación entre los organismos filtradores y el medio ambiente. Respecto a los organismos filtradores, incluían filtración de alimentos, ingestión, asimilación y pérdidas metabólicas relacionadas con la temperatura, todo lo cual afecta el crecimiento. Respecto al medio ambiente, incluidas las concentraciones de alimentos y la materia suspendida total utilizando un modelo de corrientes para predecir la entrega de alimentos; (2) la definición de la escala geográfica de la limitación alimenticia a 1.000 m dentro de los cuales interactúan la densidad de cultivo, la concentración de alimentos y la hidrodinámica.

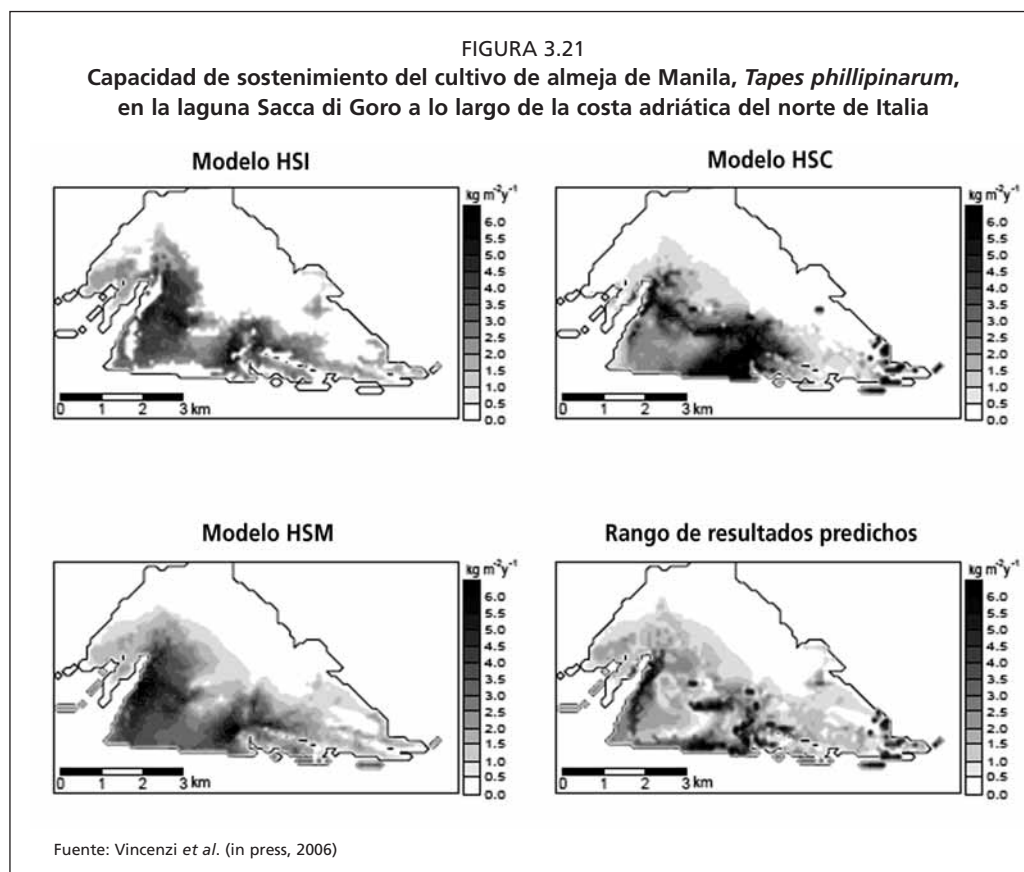
Se desarrollaron simulaciones en las que la hidrodinámica y las condiciones alimenticias variaban y se usó un SIG para producir mapas de toda la bahía sobre la depleción de seston y el crecimiento de escalopa.

Se desarrolló una herramienta (Figura 3.20) para:

- Computar y graficar las trayectorias de partículas;
- Seleccionar la escala de longitud, la densidad de cultivo, el sitio y simular el crecimiento anual de escalopa;
- Mapear el crecimiento final de escalopa o el factor de depleción;
- Comparar los factores de crecimiento y depleción simulados a diferentes densidades en un sitio o en la bahía;
- Computar las estadísticas de los factores de crecimiento y depleción en la bahía, tales como el porcentaje de las zonas con un factor determinado de depleción;
- y
- Estimar la densidad de cultivo que garantiza un factor determinado de depleción o un peso final de escalopa mediante aritmética simple.

Una serie de estudios de Vincenzi *et al.* (en la prensa, 2006) trata de la estimación de la capacidad de sostenimiento del cultivo de la almeja manila, *Tapes philippinarum*, en el sentido del potencial de producción en la laguna de Sacca di Goro, en la costa del Adriático norte en Italia. El último estudio (Vincenzi *et al.* en preparación) compara tres variaciones de modelos de Apropiabilidad de Hábitat para el estimado. La laguna tiene una superficie total de 26 km² y cerca de 10 km² están destinados al cultivo intensivo de almeja. El cultivo de almeja se regula mediante concesiones. La base para mejorar el proceso de concesiones es un conocimiento del potencial de producción en términos espaciales. El enfoque era emplear diversas variaciones de modelos de hábitats apropiados basados en un SIG para explorar la relación entre ocurrencia y abundancia de almeja manila y las propiedades bio-geoquímicas e hidrodinámicas que afectan su supervivencia y crecimiento. Una condición es que las variables ambientales deberían muestrearse o estimarse a bajo costo.

Los seis parámetros ambientales incluidos en los modelos son: tipo de sedimento, oxígeno disuelto, salinidad, hidrodinamismo, profundidad del agua y clorofila. El modelo básico del Índice de Hábitat Apropiado (IHA, HSI por sus siglas en inglés) usa funciones específicas por parámetro con base en una opinión experta para transformar los datos ambientales en Índices de Apropiabilidad por parámetro y una media geométrica ponderada – con los pesos basados en opiniones expertas – para estimar



el Índice de Hábitat Apropriado (IHA) general. Una función de escala derivada de las observaciones en campo se utilizó para transformar los valores de HS en estimados de resultados potenciales anuales. Los datos se obtuvieron en 15 sitios y los resultados se generan como estimados puntuales. El papel del SIG fue interpolar los datos puntuales y preparar los mapas temáticos.

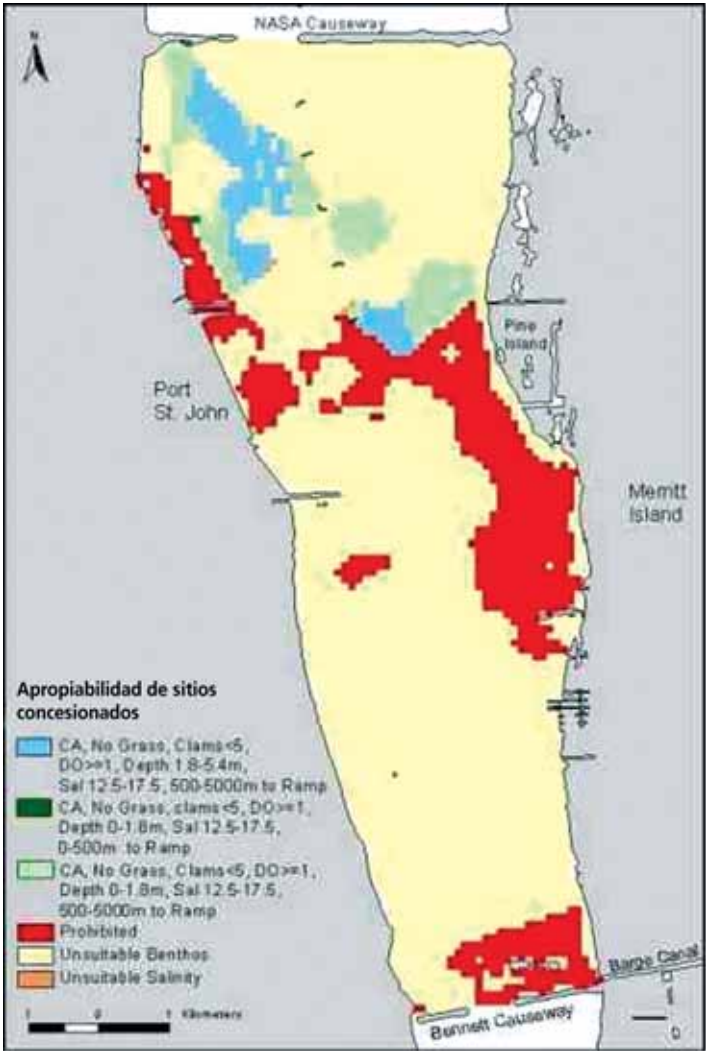
La producción potencial predicha por los modelos para la laguna son más del doble de los reportes oficiales de la granja (Figura 3.21). Esto se debe a que los estimados de potencial del modelo se encontraban fuera de las áreas que actualmente se cultivan. Los autores advierten que sus resultados no deberían utilizarse para definir la producción máxima sostenible de almeja manila. También debe considerarse la capacidad ecológica de sostenimiento.

Restauración de hábitats acuícolas

La costa de Charente-Maritime de la Francia centro-occidental es la más importante para el cultivo de ostión en Europa, pero la alta densidad de las estructuras de cultivo en la limitada zona intermareal de la cuenca Marennes-Oléron ocasiona tasas de crecimiento bajas y una alta mortandad de ostión que resulta en problemas socioeconómicos para los ostricultores. Una solución es trasladar parte de la producción a zonas sub-mareales cercanas. Durand *et al.* (1994a) y Durand *et al.* (1994b) exploraron esta alternativa en un trabajo pionero como un proyecto demostrativo. Además de la importancia del cultivo de ostión, la región es la segunda más visitada en el país y contiene el puerto de yates de placer más popular de Europa. Así, además de satisfacer los requisitos del ostión cultivado en el fondo y cosechado por dragado, la competencia de usos era otra de las consideraciones importantes.

Como criterios para el cultivo de ostión, los autores consideraron batimetría, pendiente, tipo de suelo, velocidad de corrientes, calidad del agua e interacción con

FIGURA 3.22
Áreas apropiadas para las concesiones para el cultivo de almeja dura en la Zona C de la laguna del río Indio, Florida



Leyenda, AC = área de cosecha moluscos Aprobada Condicionalmente, OD = Oxígeno Disuelto (mg/l), Sal = salinidad (ppt), el rango en metros representa la profundidad del agua (primero) o la distancia hasta la rampa de barcos más cercana (segundo).

Nota: Las áreas categorizadas como no apropiadas no son apropiadas para la acuicultura de almeja dura debido a la presencia de pasto marino, la alta densidad de las poblaciones de almeja registrada en nuestra investigación de 1994, los bajos niveles de oxígeno disuelto registrados entre 1987 y 1998, la excesiva profundidad del agua o la proximidad de canales de navegación, o las condiciones de baja salinidad inherentes a la supervivencia de la almeja. Del área restante, las celdas clasificadas como prohibidas (= Prohibidas o Restringidas Condicionalmente) no cumplen con los estándares de la calidad del agua requeridos para el cultivo de almeja. Fuente: Arnold et al. (2000).

Fuente: Arnold et al. (2000)

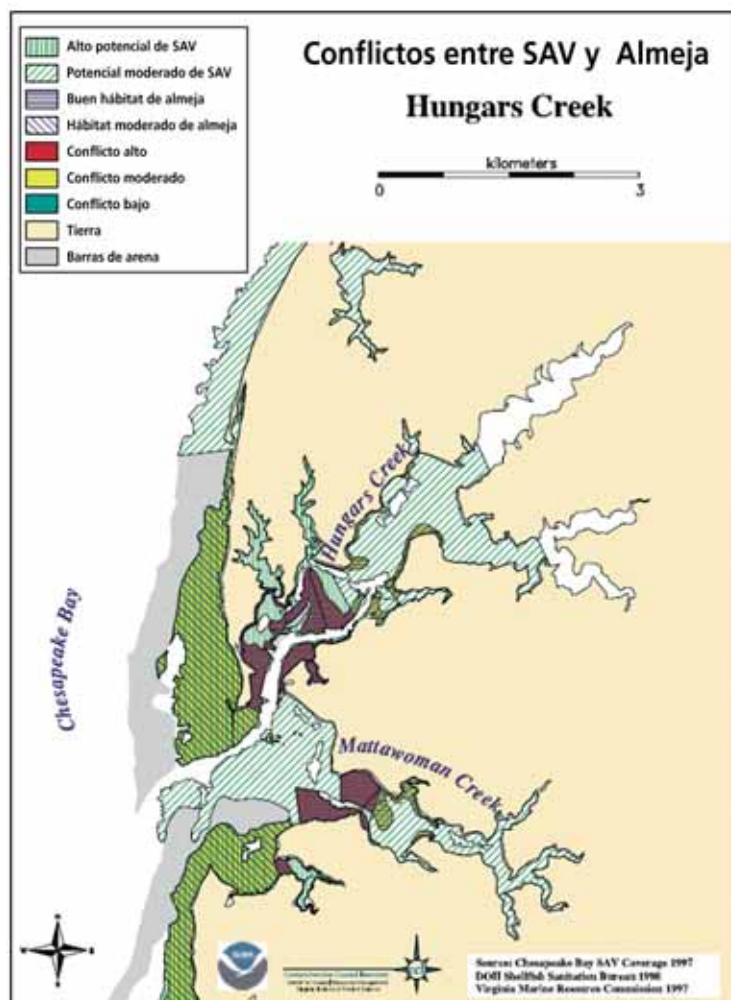
el cultivo entre mareas. Respecto a la competencia de usos, se tomaron en cuenta la navegación, el cultivo de mejillón y de algas en líneas suspendidas, la pesca y zonas de desove y criaderos.

Se implementó un sistema de puntaje de cuatro niveles con tres niveles relacionados con las características idóneas para el cultivo de ostión y un cuarto sobre zonas de exclusión (restricciones); sin embargo, no se aplicaron ponderaciones.

El resultado fue que cerca del 8% del área era muy favorable para el cultivo de ostión submareal.

Los principales problemas enfrentados fueron falta de datos espaciales y atributos

FIGURA 3.23
Áreas de conflicto de apropiabilidad de hábitats para almeja y vegetación acuática sumergida (SAV)



Fuente: Center for Coastal Resources Management (1999)

socioeconómicos, conocimiento insuficiente para sopesar las actividades en competencia y dificultades al limitar los datos continuos de maneras coherentes. Los autores previeron la necesidad de una gestión de datos temporales y tridimensionales, así como vínculos con los SIG basados en tierra.

SIG para el desarrollo y gestión multisectorial que incluye a la acuicultura marina de moluscos

Gestión de la acuicultura junto con la pesca

Los conflictos de usos espaciales en la acuicultura son diversos. Aquí se reseñan dos de los más importantes. Son la competencia directa por el espacio entre la acuicultura y la pesca y los conflictos indirectos por espacio en los que la acuicultura de moluscos puede desplazar o reducir la capacidad productiva biológica del ambiente y por tanto disminuir eventualmente la producción pesquera. Estos estudios son dignos de mención no sólo por los aspectos técnicos de las aplicaciones en sí mismas, sino por el hecho de que se utilizaron SIG para anticipar los conflictos, no después de que se presentaron.

Los estudios de Arnold, Norris y Berrigan (1996), Arnold y Norris (1998) y Arnold

et al. (2000), en apoyo al desarrollo de la acuicultura de la almeja dura (*Mercenaria spp.*) en Florida (los Estados Unidos de América), son un buen ejemplo de un SIG aplicado para anticipar la competencia de usos, incluyendo la pesca y otros usos al tratar con factores que afectan la producción de almeja y la sustentabilidad general de los arrendamientos acuícolas. El último estudio también es importante porque demostró cómo un enfoque de SIG diseñado para un área puede aplicarse a otra en una etapa distinta del desarrollo acuícola.

La acuicultura de almeja en Florida ha crecido rápidamente, pero entre los problemas destaca el que su engorda debe realizarse en fondos de propiedad pública. De la mano va la necesidad de que los sitios de cultivo soporten un crecimiento y supervivencia económicamente viables sin interferir directa o indirectamente con otras funciones tales como producción primaria, navegación y pesca, especialmente pesca de almeja.

Los autores trataron estos temas en la Laguna del Río Indio en la costa oriental de Florida, empleando una serie de restricciones que inicialmente excluían el hábitat de pastos marinos y áreas de elevada productividad natural de almejas, esta última para evitar conflictos con los acuicultores de almeja. Otras áreas excluidas eran las que tenían condiciones de salinidades y oxígeno disuelto desfavorables así como las que se encontraban cerca de canales navegables y rampas para barcos. Finalmente, se consideraron varias categorías de valores relativos: (1) zonas de cultivo de moluscos clasificadas como Aprobadas (cosecha en cualquier momento) y Aprobadas Condicionalmente (cosechas restringidas), (2) distancia desde las rampas de barcos (facilidad de acceso a sitios concesionados), y (3) profundidad (a mayor profundidad, mayor dificultad para plantar semilla y cosechar) (Figura 3.22). Se aplicaron los mismos criterios al puerto de Charlotte en la costa occidental de Florida y generaron una nueva serie de estimados y ubicaciones.

Los autores enfatizan que los mapas y datos generados deberían considerarse como punto de partida en la asignación de concesión de sitios para el cultivo de almeja más que como puntos finales, ya que muchos de los criterios (por ejemplo patrones de calidad del agua, profundidad y densidad de almejas) pueden ser reconsiderados o negociados. Los refinamientos identificados por los autores incluyen determinar las limitantes impuestas por las propiedades privadas y los patrones variados de crecimiento de almejas entre las áreas y hábitats.

El Centro de Gestión de Recursos Costeros (1999)⁴, con base en el trabajo de Kershner, describe un proyecto designado para evaluar un conflicto potencial debido al desplazamiento de la Vegetación Acuática Sumergida (VAS) (*Zostera marina* y *Ruppia maritima*) con el cultivo de almeja dura, *Mercenaria mercenaria*, en una región de acuicultura intensiva de corrientes en la parte de la Bahía de Chesapeake en Virginia (los Estados Unidos de América). El conflicto potencial surge porque la VAS provee un hábitat importante para peces y para el comercialmente importante cangrejo azul, *Callinectes sapidus*, así como una fuente de alimentos para la fauna acuática. El crecimiento de la almeja dura involucra el uso de charolas cubiertas y redes grandes ancladas al fondo para proteger las almejas de los depredadores. Tanto las charolas como las redes matan la VAS existente y evitan que crezca en las áreas de cultivo.

Se desarrolló un índice de hábitats apropiados para la acuicultura de almeja con base en los factores de producción que incluyen salinidad, tipo de sedimento, batimetría (profundidad menor a 1 m para permitir el acceso a las redes limpiadoras), exposición a viento y olas, y una restricción denominada zonas condenadas (con altos grados de coliformes fecales). Se designaron umbrales para cada factor y se dividieron en tres clases (apropiabilidad alta, media y baja de hábitat para almeja). La validación preliminar del modelo de almeja se obtuvo comparando la predicción de las zonas acuícolas adecuadas con las zonas de actividad de cultivo actuales en dos arroyos. En un arroyo había buena correspondencia, pero en el otro no. Se determinó que el factor de producción de problemas era la exposición. De igual forma, se desarrolló un modelo

de hábitat adecuado para VAS con base en la calidad del agua, batimetría y exposición a olas. A su vez, la calidad del agua se basó en la atenuación de la luz. A la batimetría y exposición a olas se les asignó el mismo umbral que a los hábitats de almejas. Lo mismo que en el modelo de almeja, hubo tres clases de hábitat: alta, media y baja. Al evaluar el modelo comparándolo con la distribución real de VAS, era aparente que la restricción de profundidad era muy estricta. Sobreponiendo las zonas de hábitats apropiados para almeja y VAS se generó un modelo de conflicto potencial (Figura 3.23).

El resultado fue que actualmente no hay conflicto de usos entre la acuicultura de almeja y la VAS, aunque cerca del 46% del área de estudio podría estar en conflicto si la acuicultura de almeja se expande a zonas donde su potencial es de moderado a alto y que tengan, al mismo tiempo, un potencial de moderado a alto para VAS.

El proyecto no estaba designado para proveer una resolución definitiva de los conflictos potenciales, sino para documentar la situación actual y desarrollar y probar un enfoque analítico. Así, los modelos sencillos de SIG, a pesar de las limitaciones de los umbrales de algunos factores de producción, proveyeron un buen punto de partida para identificar diversas opciones para promover el debate de políticas.

En Limfjorden (Dinamarca), Dolmer y Geitmer (2004) describen un SIG creado como herramienta de gestión para apoyar un aumento en el cultivo reciente de mejillón azul, *Mytilus edulis*, tomando en cuenta la importante captura de mejillón (80 000 – 100 000 toneladas/año) y de ostión plano, *Ostrea edulis*, (850 toneladas), así como la pesca de arrastre de arenque y semilla (no se mencionan especies). Ambas especies de moluscos se captura mediante dragado.

Los datos de SIG se organizaron en tres categorías (1) áreas no disponibles para producción de mejillón (restricciones generales), (2) áreas con posibilidad de cultivo, y (3) áreas restringidas específicamente por la pesca (Tabla 3.8).

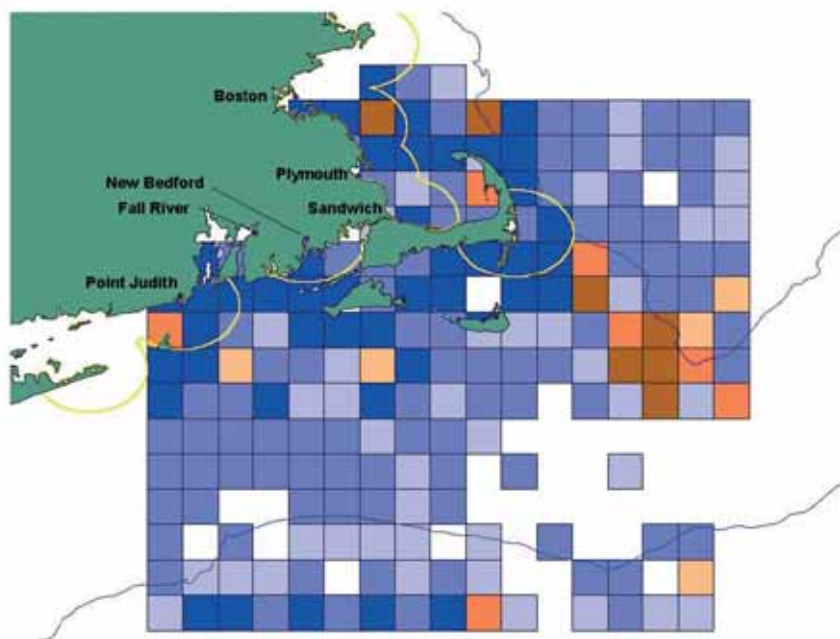
TABLA 3.8
Factores descritos en una herramienta de gestión de SIG sobre regulación de la producción de bivalvos en Limfjorden

Áreas no disponibles para la producción de mejillón:
Puertos
Depósitos de sedimentos dragados
Arroyos contaminados con aguas negras
Áreas locales contaminadas
Tuberías y cables
Áreas disponibles para ciertos tipos de producción de mejillón:
Áreas reguladas por directrices internacionales de protección de la naturaleza: Hábitat-Ramsar-Birddirective
Áreas reguladas por directrices nacionales de protección de la naturaleza
Áreas cerradas al arrastre del mejillón
Áreas con pasto de anguila y macroalgas
Áreas incluidas en un programa de monitoreo de macroalgas
Áreas con arrecifes de piedra Áreas cercanas a invernaderos
Áreas cercanas a playas Marcas y corredores de navegación
Áreas con extracción de sedimentos
Áreas con zonas de captura
Mejillón azul
Ostión plano
Arenque

Fuente: Dolmer y Geitner (2004)

Expertos técnicos de varias instituciones y niveles de gobierno determinaron las categorías. Las zonas con posibilidades de cultivo se delimitaron únicamente mostrando el número de restricciones de 0 a 9 respecto a cualquier área. La importancia de las zonas de captura de mejillón y ostión se determinó por muestreos anuales o

FIGURA 3.26
Valor de la pesca comercial en la región de Nueva Inglaterra



Nota: Un traslape de valores económicos para la acuicultura marina y la pesca comercial fuera de la costa de Massachusetts. Las cajas son recuadros geográficos de diez minutos que muestran los ingresos netos promedio estimados para toda la pesca la pesca comercial durante la primavera, verano y otoño del periodo 1995-97. Los colores representan los promedios estimados durante este periodo en los rangos de ganancias o pérdidas netas sumadas en todas las embarcaciones pesqueras: azul oscuro (pérdidas): < -\$25,000; azul claro (pérdidas): -\$25,000 a \$0; beige (ganancias): \$0 a \$25,000; anaranjado (ganancias): \$25,000 a \$50,000; café claro (ganancias): \$50,000 a \$100,000; café oscuro (ganancias): > \$100,000. Las líneas amarillas delimitan las zonas de renta probable (áreas de ganancias positivas) para el crecimiento de la platija (*Paralichthys dentatus*) en jaulas de red en el mar (puede ocurrir entre la primavera y el otoño en Nueva Inglaterra).

Fuente: Marine Policy Center, Woods Hole Oceanographic Institute (2003)
<http://www.lib.noaa.gov/docaqu/nmimages2001/finrepwhei.htm>

bienales. Las áreas con baja densidad de mejillón y ostión se consideraron disponibles para el cultivo del primero (Figura 3.24). No hay datos comparativos sobre la pesca de arrastre de arenque y semilla así que se utilizó una profundidad mayor a los 6 m como criterio subrogado para establecer las zonas de arrastre.

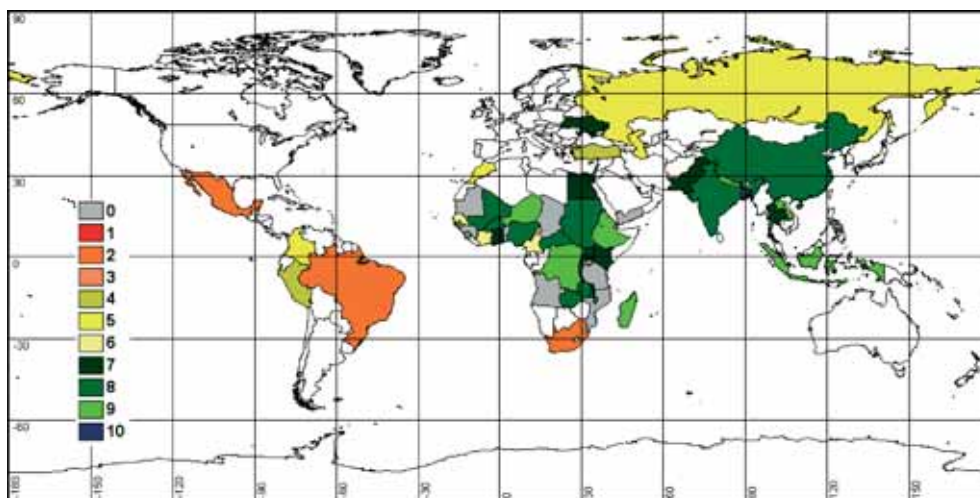
El SIG fue utilizado como una herramienta de planificación tanto por las autoridades gubernamentales como por acuicultores potenciales de mejillón. Entre las capacidades adicionales previstas del SIG se incluyen la estimación de la capacidad de sostenimiento en relación al número y densidad de granjas y la identificación de áreas con problemas de bio-deposición.

3.3.3 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica para el cultivo de algas marinas

Se implementó un proyecto conjunto de la FAO y Brasil titulado “Cultivo de algas marinas a pequeña escala en el Noreste de Brasil” con el objetivo general de apoyar el desarrollo social de las comunidades costeras pobres a través de la promoción de prácticas de acuicultura sustentable (Soares de Souza, 2003). La estrategia propuesta por este proyecto era probar la posibilidad de introducir el cultivo en líneas suspendidas de *Gracilaria* spp., y evaluar su potencial de expansión en cinco comunidades en tres estados, principalmente Ceará, Rio Grande do Norte y Paraíba. La duración del proyecto fue de dos años.

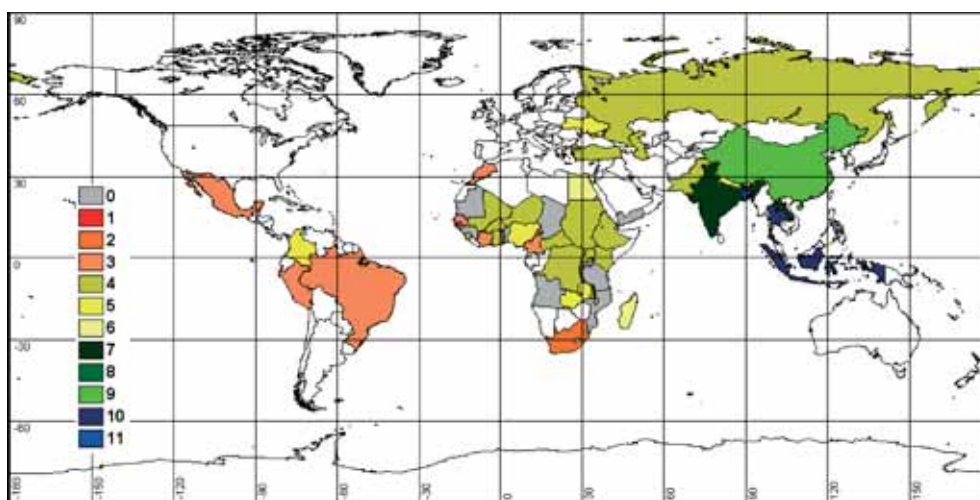
Se utilizó un SIG en este proyecto para (1) evaluar el potencial del cultivo de algas en los tres estados seleccionados, y (2) identificar las áreas adicionales en otros estados

FIGURA 3.27
Países pobres dependientes de la acuicultura (directa e indirectamente)



Fuente: Pérez, Muir y Ross (2000)

FIGURA 3.28
Países más dependientes de la acuicultura que son al menos moderadamente pobre (directa e indirectamente)

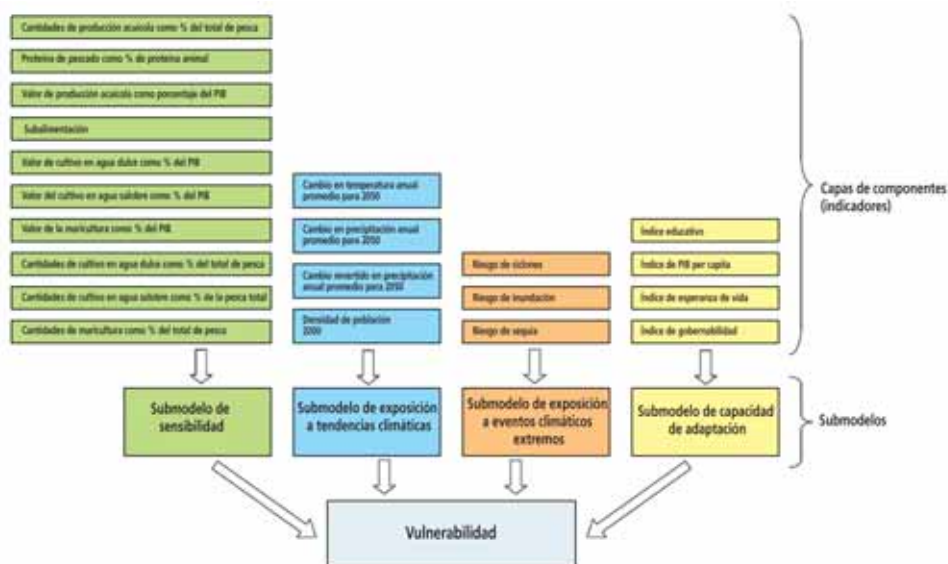


Fuente: Pérez, Muir y Ross (2000)

al noreste de Brasil con potencial para el cultivo de algas. Se eligieron costas, vientos, corrientes y batimetría como los factores primarios para determinar las características idóneas de los sitios de cultivo y luego los sitios elegidos se analizaron nuevamente desde un punto de vista económico, estimando (1) distancia, y (2) características sociales dentro de cada sitio (por ejemplo, experiencia de cultivo, clase de grupo social, número de familias que podrían beneficiarse del cultivo). Se desarrolló un modelo sencillo pero completo (que incluía preguntas de Lenguaje de Búsqueda de Sistema (LBS)) para integrar los datos ambientales y sociales descritos arriba.

Los resultados derivados de este modelo fueron varios mapas por estado en una escala de 1:150.000, ilustrando sitios potenciales para el cultivo de algas marinas en cerca de 1 000 km de costa. Los resultados indican que hay un enorme potencial para el cultivo de algas marinas; en la costa este de Ceará, se identificaron 2 324 ha (Figura

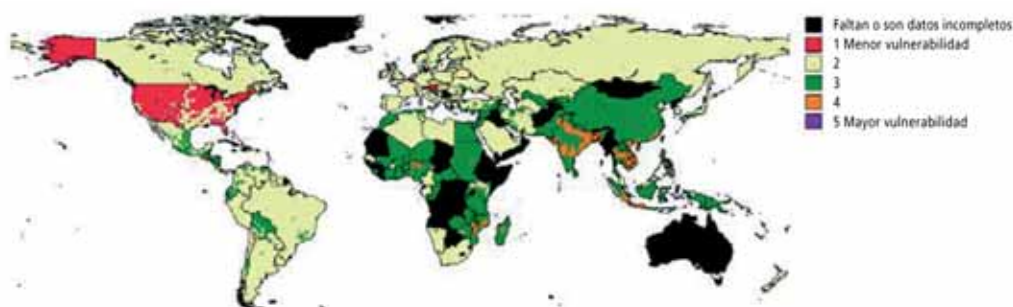
FIGURA 3.29
Representación esquemática del modelo de evaluación de vulnerabilidad



Nota: Se muestra el rango completo de capas de componentes (indicadores) disponibles para su uso en el modelo aunque no todos se utilizarán al mismo tiempo. La elección de capas y pesos (importancia) utilizados en la combinación variarán dependiendo de los temas investigados.

Fuente: Handisyde et al. (2006)

FIGURA 3.30
Vulnerabilidad



Fuente: Handisyde et al. (2006)

3.25), 713 ha en el Oeste, 1 081 ha en la costa norte de Rio Grande do Norte, 930 ha en la costa occidental de Rio Grande do Norte y 1 256 ha en la costa de Paraíba.

El estudio es novedoso porque trata sobre algas marinas y porque toma en cuenta consideraciones sociales importantes en el análisis de apropiabilidad de cada sitio de cultivo.

Un seguimiento a este proyecto es el proyecto de cinco años del Fondo de Fideicomiso Unilateral (FFU) sobre “Desarrollo de Comunidades Costeras” para el periodo 2006-2010. El FFU recolectará e ingresará la información requerida en un SIG para preseleccionar 15 nuevos sitios por estado para analizarlos. Se busca el establecimiento de un SIG para la pesca artesanal y la maricultura integrada e incluirá la capacitación de operadores y la programación del sistema que podría usarse también para el monitoreo del impacto del proyecto (Freddi y Aguilar-Manjarrez, 2005).

3.4 ECONOMÍA, SOCIOECONOMÍA Y SIG

Esta sección trata de las aplicaciones económicas y socioeconómicas de SIG. Fundamentalmente, todos los aspectos de la acuicultura tienen una base económica; sin embargo, pocos estudios combinan la geografía de la acuicultura y las consideraciones económicas. Así, las aplicaciones disponibles se han combinado aquí y se resumen en las Tablas 3.4 y 3.5.

Los costos y beneficios del desarrollo y gestión de la acuicultura marina son importantes tanto para los gobiernos como para el sector comercial. De hecho, todos los aspectos de la acuicultura marina tienen implicaciones económicas subyacentes que afectan la sustentabilidad. De ahí sigue que todas las facetas económicas de la acuicultura marina, que también son de naturaleza espacial, tienen soluciones que pueden tratarse mediante mapas, sensores remotos o SIG. Las oportunidades para el uso de SIG en la economía de la acuicultura marina generalmente se relacionan con las zonas y la selección de sitios. Específicamente, los análisis de SIG se pueden utilizar para (1) evaluar las alternativas de tiempo y costo distancia para dar servicio a las instalaciones que están en mar abierto, (2) identificar áreas con condiciones físicas que favorecen la estructura del cultivo (por ejemplo, profundidad, velocidad de corriente, energía de olas, incidencia de tormentas), (3) integrar modelos bioeconómicos de condiciones ambientales que favorecen el crecimiento y la supervivencia de los organismos cultivados (por ejemplo, temperatura, velocidad de corrientes, clorofila), (4) evaluar costos alternos de ubicaciones de instalaciones de engorda y de infraestructura costera de apoyo (por ejemplo, adquisición, comunicaciones, transporte de alimentos y productos cultivados), y (5) evaluar la competencia de usos de espacio contra el potencial del desarrollo de la acuicultura marina.

3.4.1 Economía y cultivo en jaulas

Sobre la evaluación económica de la competencia de usos, Hoagland *et al.* (2003) identificaron y compilaron datos sobre el valor de la pesca comercial en la región de Nueva Inglaterra. La Figura 3.26 muestra tanto el valor neto promedio de las capturas de peces comerciales en la costa oceánica de Massachusetts (cuadros de sombra de diez minutos) y las áreas económicamente plausibles en las que puede producir la platija de verano en jaulas de red (líneas amarillas). Las capas de datos de SIG, como ésta, pueden utilizarse para entender mejor los costos de oportunidad de asignación de áreas para otros usos distintos a la acuicultura.

3.4.2 Economía y socioeconomía de la acuicultura mundial

Pérez, Muir y Ross (2000) reportan los resultados preliminares de un estudio mundial a nivel de países que empujaba modelos espaciales para relacionar la acuicultura con la pobreza. El estudio es digno de mención porque toma en cuenta la pobreza, por su alcance global y por el modelado que dependía de una cantidad limitada de datos comparables que se encontraban disponibles en los países. Los objetivos del estudio fueron (1) identificar los países más pobres en los que la acuicultura es significativa y donde podría ser una actividad más importante si se pudiese mejorar, y (2) identificar los países que no necesariamente son los más pobres pero cuya dependencia de la acuicultura es elevada.

Básicamente, los autores utilizaron un SIG para generar los resultados por países como mapas temáticos con un puntaje en escala del 1 al 12. Los mapas se combinaron de varias maneras usando modelos de pobreza y dependencia de la acuicultura. El primer modelo, con base en dos índices, identificó los países más pobres. Luego se usaron los datos del PNB para determinar el nivel de pobreza de cada país. Se desarrolló un segundo modelo para determinar en qué países es importante la acuicultura. La importancia se basó en la dependencia directa o indirecta de cada país hacia la acuicultura. La dependencia directa se evaluó con base en el consumo

interno y el empleo generado mientras que la importancia indirecta se midió utilizando la producción y exportación acuícola. Los resultados se refinaron al considerar en conjunto la pobreza a nivel nacional y la importancia de la acuicultura. Se definieron dos tipos de distinción pobreza-acuicultura variando los pesos asignados a la pobreza y a la importancia de la acuicultura: (1) los países más pobres en los que la acuicultura es importante (Figura 3.27) y (2) los países que dependen de la acuicultura y que son al menos moderadamente pobres (Figura 3.28). Otra combinación de mapas temáticos identificó a los países más dependientes de la acuicultura, sin importar su nivel de pobreza.

Los autores señalan varias limitaciones del estudio, incluyendo una falta de datos comparativos a nivel de países tomando en cuenta los índices de pobreza, y la necesidad de estimar el consumo y las exportaciones acuícolas internas al estudio debido a la falta de datos publicados. Mientras que el estudio identificó países donde la acuicultura podría beneficiar a los pobres, una mejora podría determinar dónde, dentro de los países más necesitados, sería más adecuada la acuicultura.

Otro estudio global basado en un SIG analiza los efectos del cambio climático sobre la acuicultura (Handisyde *et al.*, 2006). Los efectos del cambio climático pueden ser directos, por ejemplo, cambios en la disponibilidad del agua, temperatura y daños por eventos climáticos extremos, o indirectos, tales como costos crecientes de alimentos para peces con consecuencias para los costos de alimentación acuícola. El papel del SIG era identificar las zonas donde la vida era vulnerable a los impactos del cambio climático sobre la acuicultura. El modelo (Figura 3.29) establece la vulnerabilidad como una función de exposición y sensibilidad al cambio climático y la capacidad de adaptación. El proceso analítico es conocido: (1) se reclasificó cada función (capa) de producción para que sus celdas tuvieran una importancia de entre 1 y 5, (2) se combinaron las capas de datos en los submodelos y en el modelo principal utilizando una evaluación de criterios múltiples (ECM) con una combinación linear ponderada y con los pesos colocados en capas determinados por opiniones expertas.

Las zonas más vulnerables se encontraban en partes de Asia, África y América Latina (Figura 3.30). Se corrieron otros siete modelos, cada uno enfatizando un tipo diferente de vulnerabilidad (por ejemplo, en términos de seguridad alimentaria, de la vulnerabilidad de la maricultura a los ciclones), con cada modelo identificando las regiones y países más afectados.

De acuerdo con los autores, varios factores afectaron los resultados del estudio. Entre estos se encuentra que los datos para las capas variaban en resolución, típicamente con datos para eventos extremos, la población y el clima tenían las resoluciones más altas mientras que los datos sociales, políticos y económicos se encontraban a nivel nacional. Se hubiera preferido datos con resolución más alta en todos los aspectos, pero esto es difícil en los estudios globales. Otro factor fue que las vulnerabilidades actuales se comparaban con cambios futuros predichos por los modelos de cambio climático. Sin embargo, se concluyó que las vulnerabilidades actuales son los mejores parámetros para la situación futura. Se hizo notar que un grupo de enfoque más grande (sólo hubo seis personas en el grupo de estudio) hubiera ampliado la experiencia y los resultados hubieran sido más robustos estadísticamente. Se enfatizó que la meta de la evaluación era señalar las áreas que probablemente serían vulnerables como manera de identificar las áreas que requirieran una investigación más detallada. El uso de datos espaciales y SIG proveyeron resultados superiores a los que se hubieran obtenido con un índice numérico ya que se identificaron las zonas afectadas dentro de los países así como la geografía de los temas; sin embargo, los resultados se consideran indicativos.

4. Estimando el potencial acuícola de mar abierto en las Zonas Económicas Exclusivas con sensores remotos y SIG: un reconocimiento

4.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección trataremos la pregunta “¿hay suficientes datos básicos disponibles gratuitamente para que cualquier país pueda evaluar su potencial de Acuicultura en Mar Abierto (AMA) a nivel de reconocimiento?” Nuestro objetivo subyacente es motivar a los países en desarrollo, especialmente a los que actualmente tienen una producción de acuicultura marina modesta, a explorar su propio potencial de acuicultura marina como parte de un proceso de planeación estratégica para el desarrollo acuícola sustentable.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El SIG utilizado en este estudio fue Manifold (CDA International Ltd.), versiones 6.0 y 6.5. Se utilizó Manifold porque es accesible (cuesta aproximadamente una quinta parte del costo de los software de SIG más utilizados), pero es totalmente funcional.

Se eligió los Estados Unidos de América como país meta para el estudio porque el autor principal reside ahí y porque está familiarizado con los temas de acuicultura en mar abierto a nivel nacional y por que posee conocimiento de primera mano de algunas zonas costeras incluidas en el estudio. Un estudio a nivel de reconocimiento del potencial de la acuicultura en mar abierto en la ZEE estadounidense es oportuno porque se ha introducido una iniciativa para la acuicultura en mar abierto en la cámara legislativa del país.

Área de estudio, especies indicadoras y sistemas de cultivo. Nuestro objetivo era estimar el potencial acuícola indicativo seleccionando ambientes, especies y estructuras de cultivo diversas. En este sentido, nuestra área de estudio comprende las ZEE del Atlántico, Golfo de México y Puerto Rico – Isla Virgen (PR_USVI). Así, el área de estudio, de cerca de 1.6 millones de km², comprende una costa del territorio estadounidense e incluye un amplio rango de condiciones climáticas y ambientales (Figura 4.1).

Por razones de realismo y amplia aplicabilidad, elegimos especies que ya se cultivan en la costa estadounidense y en otros países. La cobia, *Rachycentron canadum*, se cultiva en cuatro países y la producción total en 2004 fue de cerca de 20 000 toneladas. La cobia es un candidato prometedor para la acuicultura por su rápida tasa de crecimiento, resistencia y alta calidad de carne. La cobia puede crecer de 4 a 6 kg en un año (Arnold, Kaiser y Holt, 2002). La importancia del mejillón azul está bien establecida. Se cultivó en 16 países con una producción de cerca de 423 000 toneladas en 2004 (FAO, 2006a). Además, quisimos contrastar los niveles tróficos de los organismos cultivados, sus regímenes de temperatura y sistemas de cultivo. En este sentido la cobia es un pez de aguas templadas y un depredador ejemplar. Provee un ejemplo de “acuicultura de alimentación” ya que requiere alimentos formulados. Por el contrario, el mejillón azul es un molusco de aguas frías y se alimenta por filtración, por lo que es un ejemplo de

“acuicultura de extractiva”. El primero se cultiva en jaulas y el segundo utiliza varios tipos de artes suspendidas incluyendo líneas flotantes.

Datos de SIG

Los datos espaciales para este estudio se dividen en tres componentes: (1) límites, (2) batimetría y (3) ambientes de temperatura superficial y clorofila-a. Los datos de la ZEE estaban disponibles en la Oficina de Mapeo Costero (2006), sin embargo, los datos sobre los límites marinos estatales, normalmente 3 millas (4.8 km), aunque algunas veces 9 millas (14.5) tuvieron que ser digitalizados para las áreas donde los límites permanecen en disputa entre los estados y el gobierno federal.

La batimetría (Figura 4.2) viene del conjunto de datos de apoyo global en resolución de 2 minutos, ETOPO2 (versión 2001; Centro Nacional de Datos Geofísicos, 2006). Los datos pueden descargarse de manera interactiva con elección de formatos para cualquier área geográfica deseada por medio del Traductor del Centro Nacional de Datos Geofísicos (GEODAS) (2006).

Los datos ambientales son temperaturas superficiales del mar y climatologías de clorofila-a (Figura 4.2). La climatología de temperaturas superficiales tiene una resolución de 4 km y se basa en datos adquiridos de noche de 1985 a 2001 (Centro Nacional de Datos Oceanográficos, NOAA, 2004). La resolución de datos de clorofila-a es de aproximadamente 9 km y los datos son de 1998 a 2003 (Centro Nacional de Datos Oceanográfico, NOAA, 2004).

Umbrales

Los umbrales que relacionan temperatura y crecimiento se establecieron para la cobia con base en Ueng *et al.* (2001) y M.J. Osterling (comunicación personal, 2005). Ueng *et al.* (2001) establecen que las tasas de crecimiento de cobia fueron más altas entre 28 y 32°C y que el crecimiento disminuyó debajo de los 20°C. Concluyeron que la mitad de la variación de la tasa de crecimiento se debía a la variación de temperatura. M.J. Osterling (comunicación personal, 2005) nota que ha criado cobia a temperaturas de entre 21 y 28°C y que el mejor crecimiento se obtuvo a temperaturas más altas. Él y otros han observado que la cobia “deja de alimentarse” a temperaturas inferiores a los 20°C. Por lo tanto, los umbrales se establecieron de manera conservadora a < 20°C, no alimentación; 20-25°C, crecimiento; >25°C, mejor crecimiento. La distribución espacial de estas condiciones se muestra en la Figura 4.3.

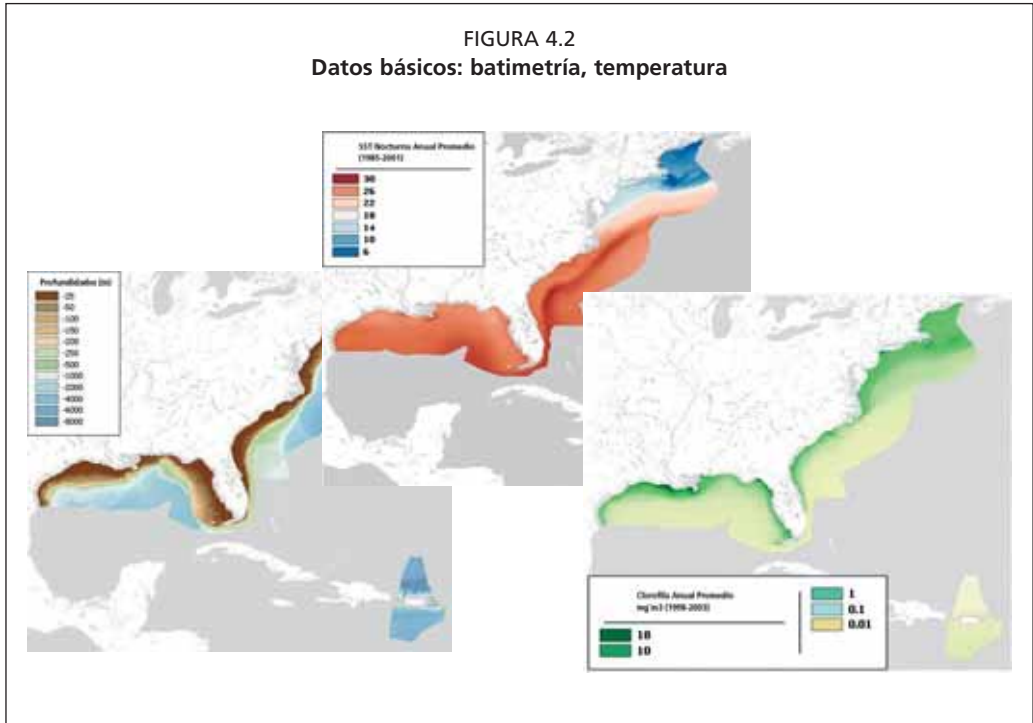
Respecto a los umbrales para el mejillón azul que relacionan la temperatura con el crecimiento, Langan y Horton (2003) establecen que dentro de un rango de temperatura de 5-16°C, la cantidad y calidad del alimento son los factores más importantes que afectan el crecimiento. Saxby (2002) hizo una revisión mundial de las condiciones de los sitios de cultivo comercial de bivalvos en 10 países. Concluyó que la temperatura y la disponibilidad de alimentos son los principales factores que afectan el crecimiento, y también que las temperaturas de entre 10 y 18°C promueven un buen crecimiento del mejillón. Newell (2001) estableció que la temperatura máxima debería ser inferior a los 20°C para evitar la mortalidad de verano y también indicó que el mejillón azul sobreviviría y crecería rápidamente, en algunas ubicaciones, por debajo de una temperatura máxima en verano de 21.1°C (Newell, 2003). El Instituto de Islas (1999) produjo una guía para el cultivo de mejillón azul en Maine (los Estados Unidos de América). Se encontró que se requieren temperaturas de 4.4 a 18.3°C para el crecimiento, pero que a temperaturas superiores a los 18.3°C comienzan a morir y perder fuerza de su glándula bisal.. Así, se establecieron umbrales conservadores a < 4.4°C, muy frío para crecer; 4.4 a 18.3°C, crecimiento; >18.3°C demasiado caliente para crecer y sobrevivir. La distribución espacial de estos umbrales se muestra en la Figura 4.4.

Saxby (2002) encontró que las concentraciones medias de clorofila-a del orden de 1-10 mg/m³ predominaban en sitios donde el crecimiento de bivalvos no parecía

FIGURA 4.1
Área de estudio



FIGURA 4.2
Datos básicos: batimetría, temperatura



especialmente limitado por la falta de nutrientes. Inglis (2000) reseñó la capacidad de sostenimiento de las bahías de Nueva Zelanda para el cultivo sustentable del mejillón de concha verde, *Perna canaliculus*, pariente del mejillón azul, y desarrolló lineamientos “genéricos” para las concentraciones de clorofila-a relacionadas con el crecimiento.

Encontró que a concentraciones menores a 1 mg/m³ había poco crecimiento, pero el crecimiento aumentaba con concentraciones crecientes hasta alcanzar los 8 mg/m³, sobre lo cual no se sabía si el crecimiento continuaría mejorando o disminuiría por dificultades alimenticias. La distribución espacial de los umbrales que relacionan el crecimiento de mejillón con la concentración de clorofila-a se muestran en la Figura 4.5; sin embargo, dada la incertidumbre de los umbrales para el mejillón azul, los umbrales para análisis se establecieron conservadoramente a <1mg/m³, no crecimiento; 1-8 mg/m³, crecimiento; >8 mg/m³ posibles dificultades con el manejo del alimento.

Los umbrales de profundidad para las jaulas se basaron en una revisión de las prácticas actuales en instalaciones experimentales y comerciales, y los fabricantes de las jaulas proporcionaron las especificaciones (Tabla 4.1). La profundidad de sitio mínima fue de 30 m, pero un productor recomienda >25 m. Así, se estableció una profundidad mínima de 25 m para evitar la autocontaminación bajo las jaulas. La profundidad máxima fue de 67 m. A pesar de que un productor sugiere que podrían considerarse profundidades de 100 m, se requerirían anclajes especiales y estos aún se encuentran en diseño. Además, inspeccionar las estructuras de anclaje a profundidades superiores a los 100 m sería complicado (Johan Obiling, Farmocean International, comunicación personal, 2006). Así, se establecieron 100 m como el límite tecnológico y económico práctico de las jaulas disponibles actualmente. La instalación de mejillón en mar abierto perteneciente a la Universidad de New Hampshire (UNH) se encuentra a una profundidad de 40 m y las líneas están sumergidas a 12 m (CINEMAR, 2005). Así, los límites establecidos de profundidad de -25 a -100 m para las jaulas también se aproximan a las profundidades adecuadas para las estructuras de soporte al cultivo de mejillón en líneas sumergidas.

Las estructuras no amarradas (jaulas en flotación libre o a propulsión) podrían ocupar profundidades tan someras como la mínima profundidad de la jaula, 25 m, y todas las zonas más profundas.

Datos de acceso

Como se señala en la Sección 1.4.1, el acceso desde una instalación de apoyo en la costa a una instalación de cultivo fuera de ella es un criterio indispensable para la evaluación de potencial. Se seleccionó una parte de la línea de la costa atlántica del sur de Virginia de unos 700 km cercana a Norfolk al sur de Carolina del Sur cerca de Charleston, para analizar tiempo y distancia desde una ensenada a la zona más cercana apropiada para el cultivo de cobia. Se seleccionó esta parte de la costa porque uno de los autores vive aproximadamente en el centro y tiene conocimiento de primera mano de algunas de las ensenadas. Además, los datos de la carta náutica digital estaban completos para esta parte de la costa. Los datos de la carta son importantes porque las ubicaciones de las ensenadas se señalan con boyas de “aguas seguras” que marcan las entradas del mar a los canales. Se establecieron viajes de servicio en barco en un solo sentido en rangos de 1, 2 y 3 horas (22, 44 y 66 km). Los umbrales se basaron en la observación por el autor principal de la velocidad de crucero de un barco pesquero con quilla de cerca de 11 metros de eslora con casco de fibra de vidrio, y una sola hélice propulsado por motor de diesel (Figura 4.6). En contraste, Kite-Powell *et al.* (2003) utilizaron un barco más largo y lento en su modelo bioeconómico de crecimiento de peces con aleta. La velocidad era de 15 km/h y la capacidad de carga de 30 toneladas.

Las categorías de datos mencionadas, junto con sus umbrales correspondientes, se resumen en la Tabla 4.2, y forman la base de la evaluación del potencial de acuicultura en mar abierto en los Estados Unidos de América (ZEE del Atlántico, Golfo de México y Puerto Rico – USVI).

FIGURA 4.3
Crecimiento de cobia y temperatura del agua

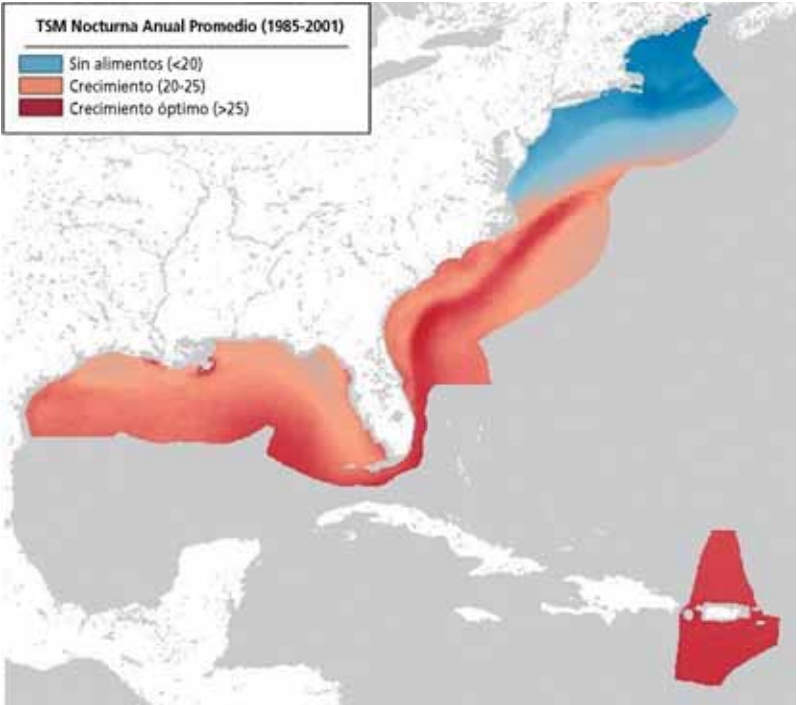


FIGURA 4.4
Crecimiento de mejillón azul y temperatura del agua

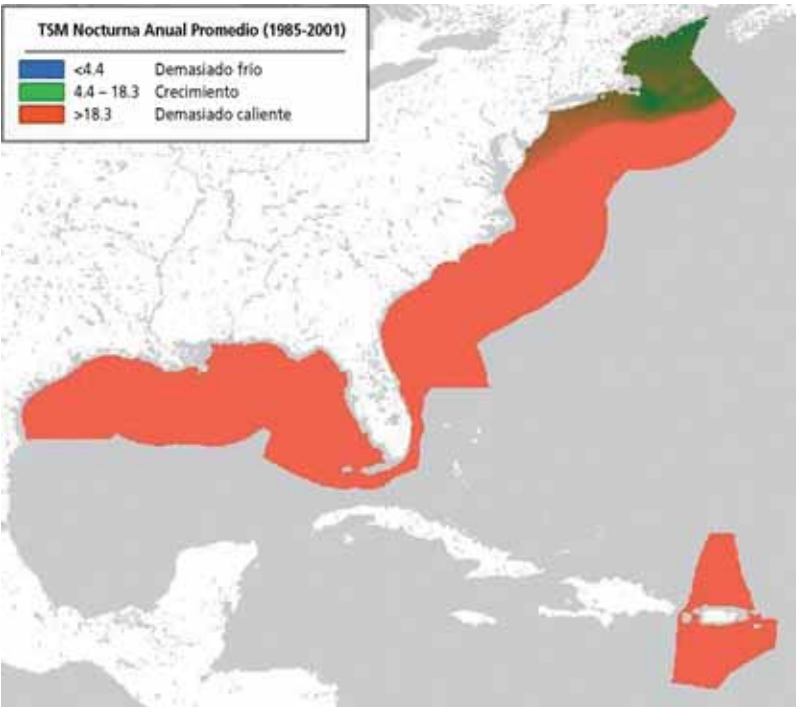


TABLA 4.1
Características de profundidad de instalaciones de jaulas experimentales y comerciales y especificaciones de los fabricantes

Entidad	Ubicación	Tipo de jaula	Especie	Profundidad del sitio (m)	Longitud vertical de la jaula (m)	Profundidad sumergida desde superficie (m)	Profundidad aparente debajo de la jaula (m)	Fuentes
El instalaciones experimentales y comerciales								
Snapperfarm, Inc.	Puerto Rico, USA	SeaStationTM Fuera de la costa sumergible CulebranCobiaTM	Pargo borrego (<i>Lutjanus analis</i>) y cobia (<i>Rachycentroncanadum</i>)	30	15	12	3	O'Hanlon et al, 2003 p. 263 in OOA ;http://www.snapperfarm.com/2006/aboutsnapperfarm.htm
Cates International	Hawaii, USA	SeaStationTM fuera de la costa	Barbudo de seis dedos del Pacifico (<i>Polydactylus sexfilis</i>)	31	15	12	4	http://www.oceanicinstitute.org/_oldsite/techtransfer/seacage.html; Bybee and Bailey-Brock, 2003 p. 119 in OOA
Kona Blue Water Farms	Hawaii, USA	SeaStationTM fuera de costa	Cola amarilla hawaiano (<i>Seriola rivoliana</i>)	61-67	20	6-9	32-41	http://seattletpi.nwsource.com/local/260433_kampachi22.html Kona Blue Water Farms (2003)
University of New Hampshire	New Hampshire, USA	Sea StationTM jaula pesquera	Mero del Atlántico (<i>Hippoglossushippoglossus</i>)	52				http://ooa.unh.edu/
Gulf of Mexico Offshore Aquaculture Constortium	Mississippi, USA	SeaStation 600 m³	Corvión Ocelado (<i>Sciaenops ocellatus</i>)	25				http://www.masgc.org/oac/Phase%201%20RP1.pdf
SUBFlex, Ltd. (manufacturer)	Israel	Open Ocean Subflex sumergible	N/A	60				http://www.subflex.org/
Especificaciones de productores								
Ocean Spar LLC, (manufacturer)	Washington, USA	Sea Station sumergida o flotante	N/A	>25				http://www.oceanspar.com/files/OceanSpar_SeaStation.pdf
Farmocean International (manufacturer)	Sweden	Farmocean 4500	N/A	25		3		http://www.farmocean.se/General.pdf
Helgeland Holdings AS (manufacturer)	Norway	Polarcirkel Sumergible	N/A			3-20		http://www.polarcirkel.no/gbframedensedsenk1.htm
SUBFlex Ltd. (manufacturer)	Israel	Open Ocean Subflex submergible	N/A	50-80	12			http://www.subflex.org/

FIGURA 4.5
Crecimiento de mejillón azul y concentración de clorofila-a

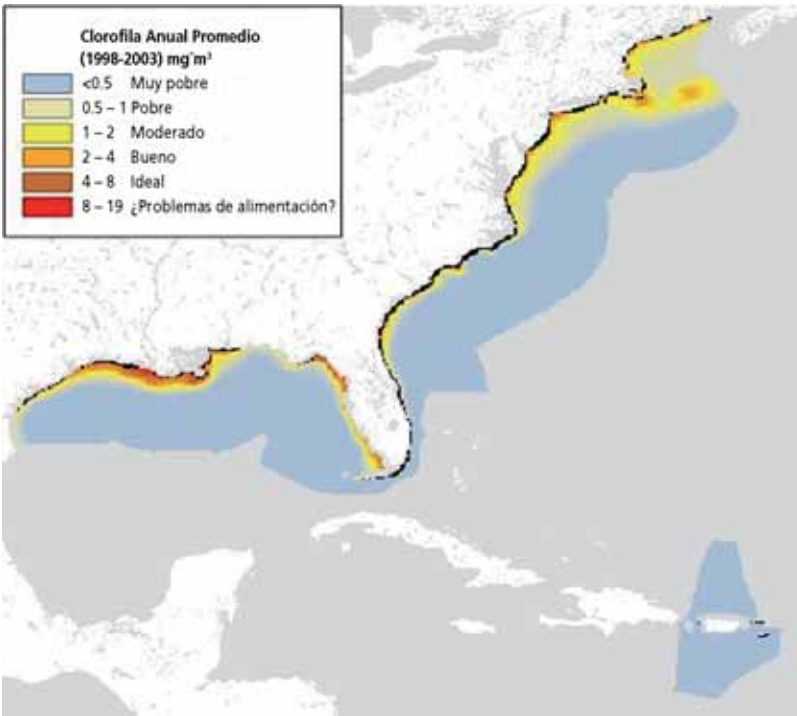
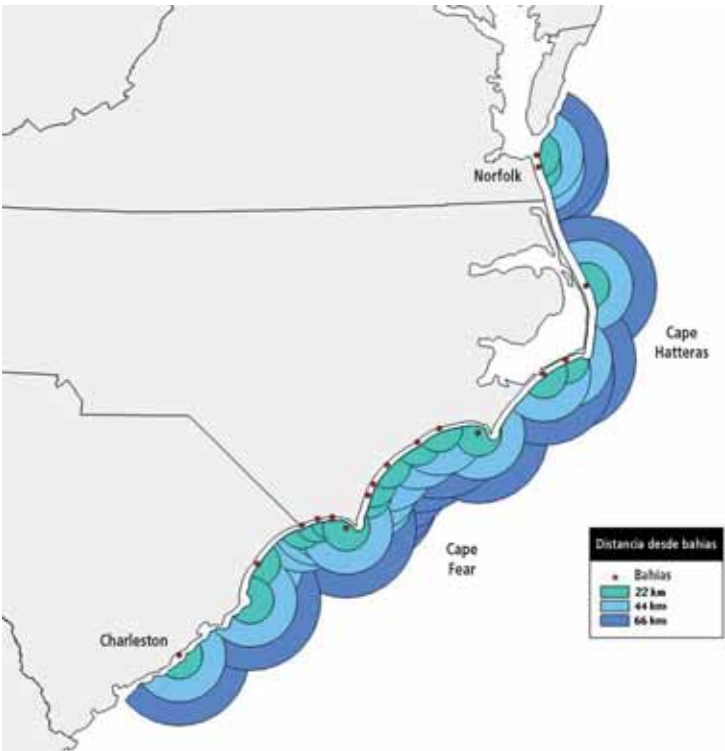


FIGURA 4.6
Acceso desde ensenadas al mar en viajes en un solo sentido en barco de 1, 2 y 3 horas (22, 44 y 66 km)



SIG Análisis de SIG

Los análisis eran básicos de SIG e incluyeron la importación, georregistro, cortado, contorno de superficies, topes, sobreposición de capas y búsqueda.

TABLA 4.2

Resumen de umbrales utilizados para evaluar el potencial de la acuicultura en mar abierto en Estados Unidos de América (ZEEs del Atlántico, Golfo de México y Puerto Rico – USVI)

Datos espaciales y fuente	Fecha	Resolución / escala	Rango de datos de atributos	Umbrales
SST anual medio National Oceanographic Data Center, NOAA (2005) ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.0_Climatologies/	1985-2001	4 km	6 – 30 °C	Crecimiento de cobia y temperatura del agua No alimentación (<20) Crecimiento(20-25) Mejor crecimiento (>25) Blue mussel growth and water temperature: Too cold (< 4.4) Growth (4.4 to 18.3) Too warm (>18.3)
Clorofila media anual National Oceanographic Data Center, NOAA (2005) ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/CoralAtlas/	1998-2003	9 km	0.01 – 18 (mg ^m³)	Crecimiento de mejillón azul y concentración de clorofila No crecimiento (< 1) Crecimiento (1 - 8) Posibilidad de manejar las dificultades de alimentación (> 8)
Batimetría ETOPO2 (2001 version; National Geophysical Data Center 2006) http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html	2001	2-min	-25 to – 8000 (m)	Jaulas para cobia y líneas para mejillón azul Demasiado poco profundo (< 25) Estructuras ancladas y no ancladas (25 -100) Demasiado profundo par estructuras ancladas; adecuado para estructuras no ancladas (>100)
Acceso (Ensenadas) MapTech Chart Navigator and NOAA ENC Direct (2006) http://ocs-spatial.ncd.noaa.gov/encdirect/viewer.htm	Various	> 1:50 000	Virginia a Carolina del Sur	Distancias desde ensenadas 22 km viaje de ida de una hora 44 km viaje de ida de dos horas 66 km viaje de ida de 3 horas
Límite Office of Coast Survey (2006) NOAA: http://chartmaker.ncd.noaa.gov/csd/eez.htm	2006	N/A	Zonas Económicas Exclusivas estadounidenses para el Golfo de México, Atlántico y Puerto Rico – USVI	N/A

4.3 RESULTADOS

Profundidad y estructuras. Hay un margen estrecho en la mayor parte de los lugares a lo largo de las costas del Golfo y del Atlántico que es muy poco profundo para estructuras ancladas tales como jaulas y líneas flotantes (Figura 4.7). Éstas conforman el 9% de la ZEE. La zona adyacente hacia el mar, 19%, tiene profundidades adecuadas para las estructuras ancladas. Hay un área amplia, 72%, demasiado profunda para las jaulas y líneas, donde podría colocarse estructuras sin anclaje (jaulas libres o a propulsión). En contraste con las costas del Golfo y Atlántico, casi toda la zona de Puerto Rico – USVI es demasiado profunda para estructuras ancladas. Desde luego, las estructuras sin anclaje podrían ocupar las áreas adecuadas para las estructuras ancladas.

Apropiabilidad para cobia. Se definieron cuatro tipos de áreas adecuadas para el

cultivo de cobia y un área no adecuada, con base en los umbrales de crecimiento y profundidad (Figura 4.8a y 4.8b). A pesar de las temperaturas favorables para el crecimiento de cobia mostradas en la Figura 4.3, sólo 12% de la ZEE sería adecuada para el cultivo anclado (por ejemplo, en jaulas), cuando se considera también la profundidad. Actualmente, las jaulas ancladas son el único medio de cultivo tecnológicamente disponible en profundidades inferiores a los 100 m. Gran parte del área adecuada no está próxima a la costa.

Apropiabilidad para mejillón azul. Tomando en cuenta el crecimiento relacionado con la temperatura del mejillón azul (Figura 3.3), disponibilidad de alimentos en términos de concentración de clorofila-a (Figura 4.5), así como la profundidad, sólo cerca del 9% del total de la ZEE es apropiada para la acuicultura de mejillón azul en líneas, la tecnología disponible (Figuras 4.9a y 4.9b).

Acceso. Se identifican las áreas con apropiabilidades diferentes para el cultivo de cobia en relación con las tres zonas de viaje tiempo-distancia (Figuras 4.10a y 4.10b). En resumen, sólo hay cuatro bahías donde las áreas apropiadas para el cultivo de cobia se encuentran dentro de los 22 km (una hora) y éstas representan sólo el 6% del área total dentro de los 22 km. Únicamente 4 de las 17 ensenadas se encuentran al alcance de las zonas adecuadas. El problema no son las temperaturas que son bajas, sino la poca profundidad. Al aumentar la profundidad, la situación mejora. Entre los 22 y los 44 km de distancia de las bahías, cerca del 40% del área es adecuado, y de los 44 a los 66 km, el área adecuada aumenta a 66% y los sitios adecuados para la acuicultura se asocian con todas las bahías. No se toma en cuenta que muchas de las ensenadas no son confiables o que no están suficientemente cerca de los bienes y servicios requeridos por una instalación de apoyo a la acuicultura marina en la costa.

4.4 DISCUSIÓN

Se ha demostrado el potencial de la acuicultura marina para dos especies “indicadoras” en términos de áreas superficiales de las ZEE en que las especies y los sistemas de cultivo podrían establecerse con las tecnologías actuales y con tecnologías futuras que no dependan de la profundidad. Nuestros resultados muestran, de manera general, que las temperaturas en las ZEE del Atlántico, Golfo de México y PR-USVI favorecen la selección de plantas y animales para cultivo que crecen bien en temperaturas cálidas y zonas subtropicales, que la batimetría favorece las estructuras en flotación libre sobre las estructuras ancladas, y que las concentraciones de clorofila-a favorecen el cultivo de alimentadores por filtración únicamente cerca de la costa. Respecto al acceso, la disponibilidad de bahías así como el tiempo-distancia de las bahías a los sitios adecuados podrían ser factores importantes que limitan el desarrollo de la AMA en el futuro cercano. Habrá que diseñar más tecnologías autónomas de mar abierto para sacar ventaja de las amplias áreas disponibles en las ZEE de los países.

Hemos mostrado que es posible desarrollar un SIG de reconocimiento útil que busque evaluar el potencial acuícola en alta mar de manera indicativa y que se base en datos espaciales de alcance global disponibles fácilmente para su descarga desde el Internet. Ya que los datos espaciales y de atributos están disponibles, debería ser posible replicar nuestro enfoque en cualquier país sustituyendo las especies y sistemas de cultivo relevantes a las utilizadas aquí.

Como indica nuestro título, éste es un reconocimiento del potencial acuícola, no un estudio definitivo. Sin embargo, nuestros resultados señalan diversos tipos de mejoras que resultarían en mejores estimaciones del potencial. Una mejora sería tomar en cuenta los factores de producción y restricciones adicionales donde los datos espaciales lo permitan. Como ejemplo, en la Tabla 4.3 se presentan los datos de SIG disponibles, principalmente en sitios del gobierno estadounidense, arreglados de acuerdo a los lugares donde los datos se aplicarán: estructura de cultivo; instalación de apoyo en la costa; transporte y viajes de mantenimiento. Puede verse que hay datos útiles y

FIGURA 4.7
Profundidad y apropiabilidad para estructuras de cultivo

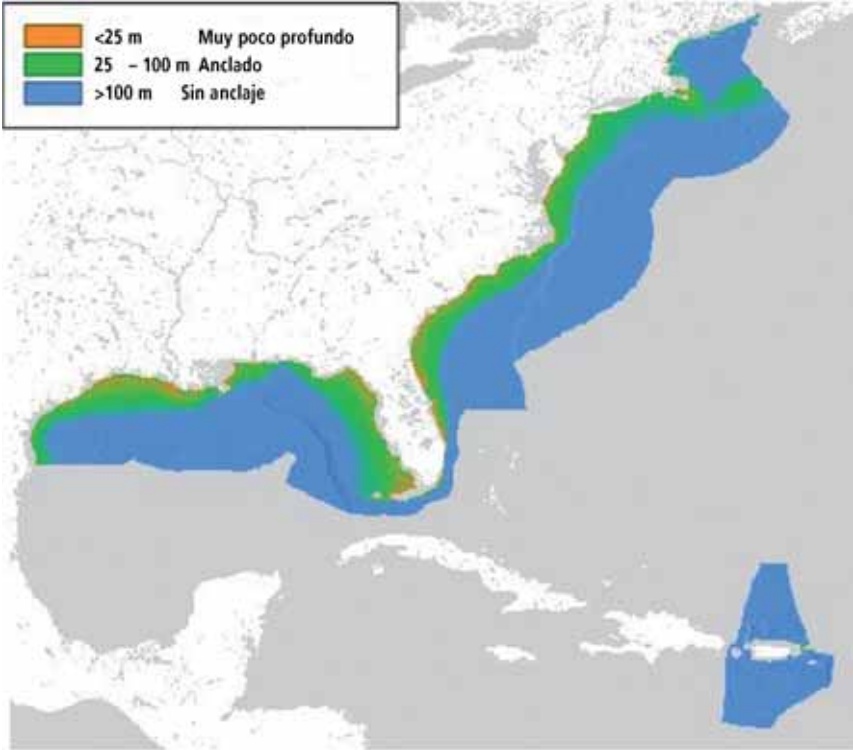


FIGURA 4.8A
Apropiabilidad para cultivo de cobia en términos de estructuras de cultivo y crecimiento

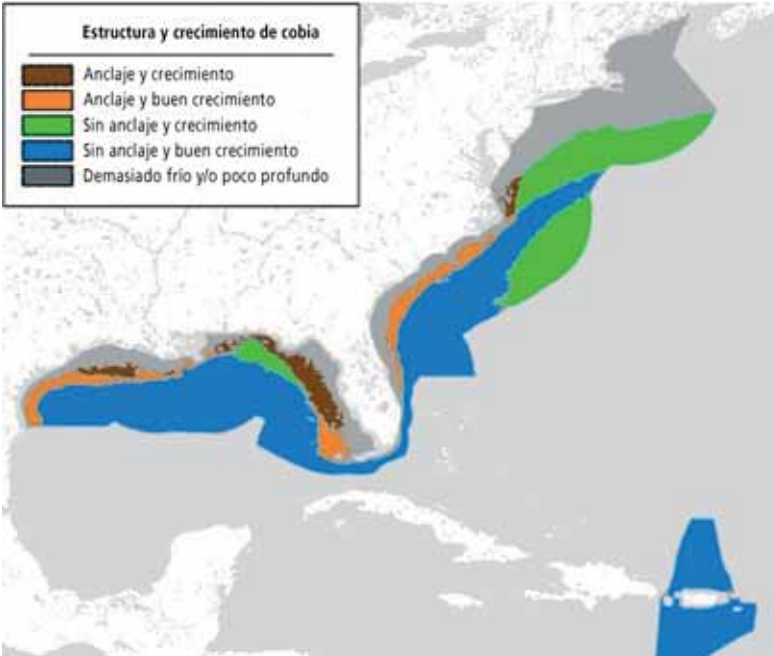


FIGURA 4.8B
Apropiabilidad para el cultivo de cobia en términos de superficie (km²)

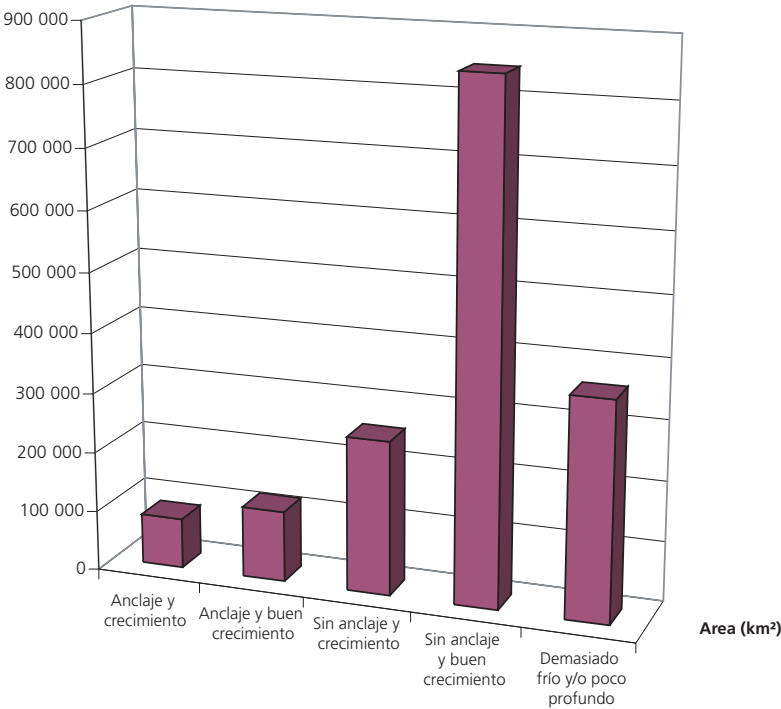
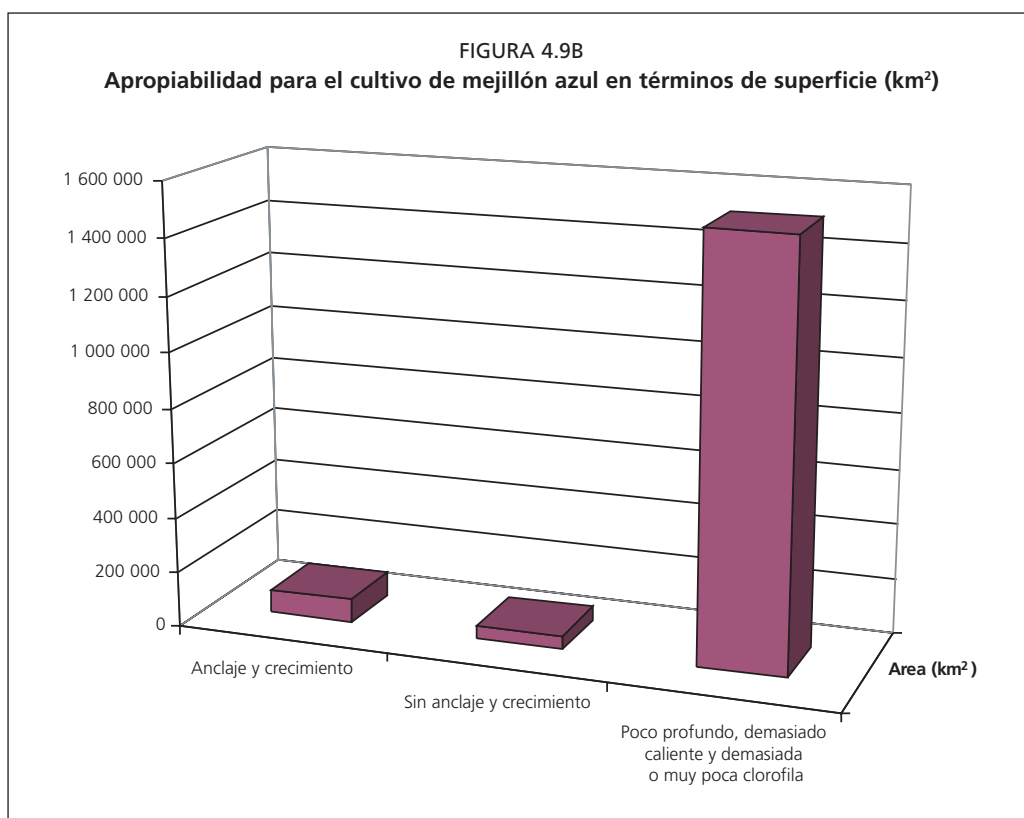


FIGURA 4.9A
Apropiabilidad par el cultivo de mejillón azul en términos de temperatura, concentración de clorofila y profundidad





variados; sin embargo, la continuidad espacial de los datos sigue siendo un problema. Es decir, no todos los datos están disponibles para toda la costa ni se extienden hacia el mar para cubrir la totalidad de las ZEE. Aún así, afortunadamente los datos cada vez son más variados, la cobertura geográfica es más amplia y los datos se pueden descargar gratuitamente.

Las climatologías de SST y clorofila-a que utilizamos son promedios de varios años de datos; sin embargo, al evaluar el potencial, también es importante el análisis de los extremos, pues hay variaciones por temporada y entre años. Así, una mejora adicional sería analizar estos datos utilizando intervalos de tiempo más breves, comenzando con análisis mensuales y por temporadas. A su vez, estos resultados podrían utilizarse para identificar áreas y periodos de tiempo donde existan condiciones extremas.

Implícito en nuestro estudio está el que los factores de producción – temperatura superficial, batimetría y clorofila-a poseen igual importancia para estimar el potencial acuícola. Claramente, no es el caso. Hemos demostrado que el acceso al mar y la distancia de una bahía a un área apropiada para el cultivo pueden variar significativamente. Los estudios realizados para estimar el potencial acuícola de zonas más pequeñas a resoluciones más altas y más específicas sobre sistemas y ambiente de cultivo podrían incluir una ponderación y rangos de los factores de producción que relacionen los análisis de SIG con los modelos bioeconómicos.

Cabe mencionar que dos de los tres conjuntos de datos: temperatura superficial y clorofila-a, se basan en datos de sensores remotos mientras que el tercer conjunto, batimetría, se basa parcialmente en altimetría satelital.

El problema principal radicó en encontrar suficientes datos confiables para desarrollar los umbrales de temperatura y clorofila relacionados con el crecimiento. Un aspecto es que las diferentes razas de la misma especie pueden reaccionar de manera diferente a la temperatura por lo que los resultados de una ubicación pueden parecer contradictorios a los de otro lugar. Otro aspecto es que la temperatura en sí misma puede no ser el único determinante en las operaciones actuales de cultivo. Por ejemplo, la cobia crece

FIGURA 4.10A
Apropiabilidad para el cultivo de cobia en términos de tiempo-distancia desde una ensenada

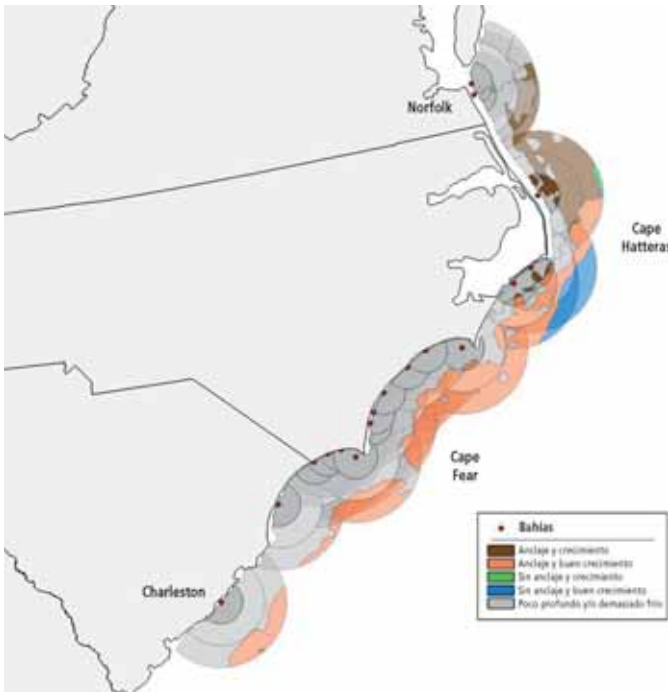
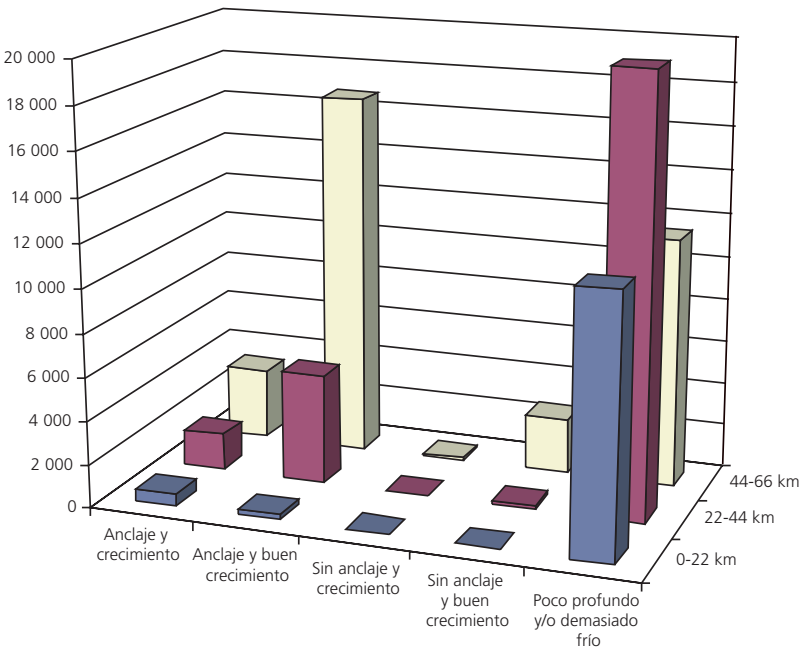


FIGURA 4.10B
Apropiabilidad para el cultivo de cobia en términos de tiempo-distancia desde una ensenada



más rápido en el extremo más alto de su rango de temperatura, pero puede ser más susceptible a algunas enfermedades en ese extremo, de manera que, en la práctica, pueden cultivarse en temperaturas inferiores a la óptima (M.J. Osterling, comunicación personal, 2005). Nuestros umbrales se ampliaron deliberadamente primero para simplificar la ilustración y también por la incertidumbre en su confiabilidad para las áreas más amplias incluidas en el estudio.

Finalmente, con una única ubicación de mar abierto para el cultivo de cobia y mejillón azul cerca de nuestra zona de estudio, el intento de verificar nuestros indicativos de potencial no habría sido válido.

TABLA 4.3

Datos espaciales disponibles para descarga gratuita y su aplicación para evaluar el potencial de la acuicultura marina: organismos cultivados (OC), instalaciones de cultivo en mar abierto (OF) y viajes de transporte y mantenimiento desde las instalaciones costeras a las instalaciones de cultivo en mar abierto (TM)

Factores de producción	Aplicación	Ubicador de Recursos Uniformes (URL)
Batimetría (profundidad y pendiente)	CO & OF	http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html
Tipos de fondo	OF	http://www.csc.noaa.gov/opis/html/meta_lite/mseamap.htm
Clorofila-a	CO	ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/CoralAtlas/
Riesgo costero/ vulnerabilidad	SF, OF, TM	http://www.ncddc.noaa.gov/cra/gislibrary/
Transporte costero de material orgánico e inorgánico	OF	http://www.nrl.navy.mil/content.php?P=03REVIEW199-2
Patrones de negocios regionales	SF	http://www.census.gov/epcd/cbp/view/cbpview.html
Velocidad de corriente a 15 m de profundidad	TM, OF & CO	http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlas/atlantic/spaghetti-speed.html
Velocidad de corriente en la superficie	OF & CO	http://www.aoml.noaa.gov/phod/dataphod/work/trinanes/INTERFACE/index.html
Zonas muertas	CO	http://serc.carleton.edu/images/microbelife/topics/map_of_gulf_of_.jpg
Ubicaciones de desove de peces	OF	http://ocean.floridamarine.org/efh_coral/ims/viewer.htm
Equipo de pesca	OF & TM	http://ocean.floridamarine.org/efh_coral/ims/viewer.htm
Instalaciones de procesamiento de peces	SF	(should be among census data)
Florecimientos nocivos de algas	CO	http://www.ncddc.noaa.gov/habsos/Mapping/
Peligro de huracanes	TM, OF & CO	http://www.usgs.gov/hazards/hurricanes/
Ensenadas	SF & TM	http://ocs-spatial.ncd.noaa.gov/encdirect/viewer.htm?
Puertos principales	SF & TM	http://www.csc.noaa.gov/opis/html/meta_lite/mports.htm
Áreas marinas protegidas	OF & TM	http://gis.mpa.gov/website/mma/viewer.htm
Distribución de peces y moluscos en mar abierto	OF	http://www.ncddc.noaa.gov/ecosystems/SIGMapping/document_view
Servicios de Gestión de Minerales (SGM)	OF	http://www.gomr.mms.gov/homepg/pubinfo/repcat/arcinfo/index.html
Profundidades de capas mixtas	CO	http://www.nodc.noaa.gov/OC5/mixdoc.html
Uso de MMS de la plataforma continental exterior	OF & TM	http://www.mms.gov/ld/PDFs/atl-use.pdf
Red de planeación de carreteras nacionales	SF	http://www.bts.gov/publications/north_american_transportation_atlas_data/
Centros de población, negocios y geografía	SF	http://quickfacts.census.gov/qfd/
Aeropuertos públicos	SF	http://www.bts.gov/publications/north_american_transportation_atlas_data/
Plumas de ríos	CO	http://www.nrl.navy.mil/content.php?P=03REVIEW199-2
Temperatura de la superficie del mar	CO	ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.0_Climatologies
Zonas de gestión de especies	OF	http://ocean.floridamarine.org/efh_coral/ims/viewer.htm

Factores de producción	Aplicación	Ubicador de Recursos Uniformes (URL)
Trayectoria de tormentas	SF, OF, TM	http://hurricane.csc.noaa.gov/hurricanes/download.html
Temperaturas subsuperficiales	CO	http://las.pfeg.noaa.gov/las6_5/servlets/metadata?catitem=60
Tiempo y distancia a mercados	SF	(should be among census data)
Instalaciones de puertos acuáticos	SF & TM	http://www.bts.gov/publications/north_american_transportation_atlas_data/
Altura de ola y velocidad de viento	SF, OF, TM	http://polar.ncep.noaa.gov/marine.meteorology/marine.winds/
Restricciones		
Arrecifes artificiales	OF	http://www.csc.noaa.gov/opis/html/meta_lite/martreef.htm
HAPC de coral	OF	http://www.nmfs.noaa.gov/gis/data/hapc.htm
Sitios de desecho de dragado	OF	http://ocs-spatial.ncd.noaa.gov/encdirect/viewer.htm?
Hábitats esenciales para peces	OF	http://ocean.floridamarine.org/efh_coral/ims/viewer.htm
Zonas marinas protegidas	OF	http://www3.mpa.gov/exploreinv/explore.aspx
Santuarios marinos	OF & TM	http://sanctuaries.noaa.gov/library/imast_gis.html
Zonas militares	OF & TM	http://ocs-spatial.ncd.noaa.gov/encdirect/viewer.htm?
Hábitat crítico ballenero	OF	http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/shipstrike/critical_habitat_traffic.pdf
Canales de navegación	OF	http://ocs-spatial.ncd.noaa.gov/encdirect/viewer.htm?
Hundimiento/colisión de buques	OF	http://ocs-spatial.ncd.noaa.gov/encdirect/viewer.htm?
Datos de base		
Extractor de línea costera	OF, SF, & TM	http://rimmer.ngdc.noaa.gov/coast/
Zona Económica Exclusiva	OF	http://nauticalcharts.noaa.gov/csdl/EEZ.HTM
Límites marítimos	OF	http://chartmaker.ncd.noaa.gov/csdl/mbound.htm
Línea costera media de marea alta	OF	http://www.nauticalcharts.noaa.gov/csdl/ctp/cm_vs.htm
Gestión de minerales	OF	http://www.mms.gov/ldatlantic.htm#SOBD
Cartas náuticas	OF, SF, & TM	http://www.nauticalcharts.noaa.gov/csdl/ctp/cm_vs.htm

5. Disponibilidad de datos

Una de las primeras preguntas a resolver cuando se piensa en las posibles aplicaciones de SIG y sensores remotos para la acuicultura marina se relaciona con la disponibilidad y la calidad de los datos. Los tipos de datos requeridos dependen forzosamente de la aplicación. Las aplicaciones reseñadas en la Sección 3 proveen buenas fuentes para compilar listas de los datos y las características requeridas para diversas actividades, tales como selección de sitio y planeación estratégica. Además, el estudio sobre el potencial acuícola, Sección 4, provee una lista de necesidades y fuentes para datos requeridos para un SIG de acuicultura marina a nivel nacional y local. Pueden ocurrir diversos traslapes en los tipos de datos que se requieren, pero las diferencias serán evidentes en la resolución y en la distribución temporal y geográfica de los datos.

La disponibilidad de datos para SIG puede considerarse en dos vertientes: datos espaciales y datos de atributo. Los datos digitales espaciales pueden verse por tipo de uso amplio. Por ejemplo, hay datos de línea costera para mapas base, y capas de datos para agregar a los mapas base tales como batimetría, temperatura y minerales. Adquirir datos de una resolución apropiada para el estudio es una consideración importante y suele ser un reto. Por ejemplo, muchos de los datos disponibles para el mar abierto son de una resolución muy baja para utilizarse en investigaciones sobre acuicultura cerca de la costa. Normalmente existe una correlación estrecha entre la resolución de los datos y el alcance de la cobertura geográfica. Así, los conjuntos de datos pueden categorizarse convenientemente como global, nacional, subnacional y local. Los conjuntos de datos subnacionales suelen pertenecer a los límites administrativos de primer y segundo nivel.

Los datos de atributo se utilizan para establecer umbrales sobre los factores de producción. Dos ejemplos son (1) los umbrales de temperatura relacionados con las tasas de crecimiento de organismos cultivados y (2) los umbrales relacionados con las profundidades mínimas y máximas para ubicar jaulas. Puede tomar mucho tiempo identificar, compilar y sintetizar los datos de atributo por la necesidad de búsquedas extensivas en la literatura científica y en Internet, así como para la comunicación con expertos.

Otra distinción importante es entre los datos disponibles para su descarga gratuita desde Internet y los datos procesados comercialmente para su venta.

5.1 DATOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA CON COBERTURA GLOBAL

Nuestro énfasis es en los datos globales, disponibles gratuitamente para su descarga desde Internet y que permiten una primera evaluación del potencial de la acuicultura marina en mar abierto para cualquier país, como ilustra el estudio de potencial acuícola (Sección 4). Para evaluar el potencial de la acuicultura cerca de la costa, se requerirán datos a nivel nacional y subnacional. Intentar una compilación completa de conjuntos de datos a nivel nacional que podrían emplearse para un SIG de acuicultura marina está fuera del alcance de este estudio; sin embargo, proveemos algunos ejemplos de datos a nivel nacional que están disponibles.

Hacemos una distinción entre dos tipos de datos (1) compilaciones de datos “estáticos” tales como líneas costeras y climatologías, estos últimos normalmente basados en períodos relativamente largos de datos, y (2) datos en tiempo real, o casi tiempo real, para operaciones y gestión acuícola. Cabe señalar que la mayoría de los datos provienen

de diversos tipos de sensores remotos.

Las compilaciones de datos con un alcance marino global incluyen líneas costeras, batimetría y climatologías de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y clorofila a varias resoluciones e intervalos de tiempo. También se incluyen compilaciones de datos sobre tierra provenientes de sensores remotos que pueden resultar útiles para ubicar las instalaciones de apoyo costero a la acuicultura marina. Los datos globales se describen brevemente abajo y se resumen en la Tabla 4.1, incluyendo la Ubicación de Recursos Uniformes (URU) para descarga.

5.1.1 Compilaciones de datos de los Sistemas de Información Geográfica

Los datos de la línea de costa como mapa base son importantes como un marco para las demás capas. Los Vectores de Línea Costera Mundiales (VLM, WVS por sus siglas en inglés) es un archivo digital de datos que contiene las líneas de costas, fronteras internacionales y nombres de los países de todo el mundo. Los VLM se dividen en diez archivos de áreas de cuencas oceánicas. Juntos, los diez archivos forman un mapa perfecto, a excepción de América Central, donde se empalma el archivo del Atlántico Norte Occidental y el archivo del Pacífico Norte Oriental.

La batimetría y la elevación están disponibles juntas en Datos de Apoyo Global en Cuadrícula de 2 Minutos (ETOPO2, por sus siglas en inglés). ETOPO2 es una compilación de varios conjuntos de datos y parte de estos se basan en altimetría satelital.

Se proveen climatologías útiles, incluyendo TSM, clorofila-a, Radiación Activa Fotosintética (RAF), velocidad del viento y concentración de oxígeno a 100 m, para varios periodos promedio (por ejemplo: mensual, estacional, anual) y a varias resoluciones. Las climatologías de TSM son dignas de mención ya que se proveen durante varios periodos promedio adicionales, incluyendo diariamente, 5 días (Pentad), 7 días (semanal) y 8 días, y también por su mayor resolución a 4 km. Además, cada periodo se provee bien sea sólo de día, sólo de noche, o combinado día-noche.

A pesar de que las corrientes se encuentran entre los datos más importantes para evaluar el potencial de la acuicultura marina, los datos de corrientes son los más difíciles de obtener en resoluciones temporales y espaciales que sean útiles globalmente, regionalmente y a nivel local. Se ha conformado una climatología de las corrientes cercanas a la superficie en todo el mundo generada por un derivador (drifter). Un derivador (drifter) se compone de un flotador superficial que incluye un transmisor de datos y un termómetro que lee la temperatura a pocos centímetros bajo la interfase aire/mar. El flotador superficial se ancla a un flotador subsuperficial que minimiza la rectificación del movimiento de las olas. A su vez, éste se ancla a unacalcetín o embudo perforado, centrado a 15 m de profundidad. La resolución es de sólo 1 grado x 1 grado. Una versión contiene los valores medios anuales de las corrientes cerca de la superficie y de la temperatura por debajo de la superficie del mar, mientras que otra tiene promedios mensuales; sin embargo, ésta última sólo está disponible para el Atlántico tropical.

Es indispensable delinear la Zona Económica Exclusiva (ZEE) para evaluar el potencial de la acuicultura de mar abierto, especialmente en áreas en disputa. Hasta hace poco, los datos globales eran de tipo comercial (por ejemplo, la Base de Datos Mundial de Límites Marítimos, generada por General Dynamics Advanced Information Systems en <http://www.gd-ais.com/capabilities/offers/sr/gmbd.htm>). Sin embargo, el Intercambio Internacional de Información y Datos Oceanográficos (IIIDO), a través del Centro de Flandes de Datos e Información Marina de la Comisión Oceanográfica Internacional, ha desarrollado una versión de fuentes abiertas de la capa de ZEE del SIG y está disponible para descargar en <http://www.vliz.be/vmdcdata/marbound> utilizada ya por GoogleEarth. Consiste en características de líneas, con calificativos que describen el significado de las líneas y porqué (por ejemplo, fuentes) se generaron.

El Instituto de Flandes garantizará el mantenimiento de esta fuente de SIG de las ZEEs. Los límites de la ZEE y las estimaciones del área subyacente pueden verse en el Proyecto Sea Around US (<http://www.seaaroundus.org/eez/eez.aspx#>).

Los datos útiles para evaluar el potencial para el desarrollo de instalaciones en costa para apoyar a la acuicultura marina incluyen centros de población, sistemas de transporte (camino, vías férreas, aeropuertos), y límites administrativos. Google Earth (<http://earth.google.com/>) ofrece la posibilidad de ver y manipular fácilmente un escenario de imagen satelital a resoluciones variables (normalmente 15 m, generalmente de menos de 3 años de antigüedad) y de adquirir estos datos para diversos lugares del mundo. Se puede ver un área de interés agregándole diversos rasgos, se pueden colocar los puntos de control para georreferenciar la zona seleccionada y se puede exportar la imagen en formato jpg para hacer un mapa sencillo que a su vez podrá georreferenciarse en un SIG con datos de otras fuentes. También se puede usar el Lenguaje de Señalamiento de Keyhole (Keyhole Markup Language, KML) para compartir lugares e información con otros usuarios de Google Earth. De igual forma, se pueden encontrar archivos de KML en el sitio de la Comunidad Google Earth que describe características y lugares interesantes.

El Mosaico Global WMX también es potencialmente útil para el mismo fin; es un mosaico de imagen global de alta resolución del planeta, producido con más de 8 200 escenas individuales de Landsat 7, con una resolución máxima de 15 m.

El Grupo Munich RE provee NATHAN, un mapa con cobertura mundial de peligros naturales de importancia obvia para la acuicultura marina. Los peligros naturales incluyen tsunamis, terremotos, erupciones volcánicas, tormentas, tornados, tormentas de granizo, tormentas eléctricas y hielo marino. Pueden verse los mapas de peligro de manera interactiva acercando del nivel mundial al subnacional en Internet. Los datos de SIG deben comprarse.

Los mapas de florecimientos de algas nocivas ya fueron mencionados en la Sección 3.2. Algunos mapas están disponibles a nivel regional. Los mapas regionales y globales podrían ser útiles si se pudiesen obtener los datos subyacentes, incluyendo el organismo causante, la frecuencia de la ocurrencia y las ubicaciones precisas.

La FAO y el Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas (PMA), y más recientemente, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), han combinado sus investigaciones y experiencia en mapeo para desarrollar un fuente abierta conocida como GeoNetwork (<http://www.fao.org/geonetwork/>) como una estrategia conjunta para compartir fácilmente la información temática referenciada geográficamente entre diversas Unidades de la FAO, otras agencias de la ONU, ONGs y otras instituciones.

GeoNetwork es un entorno de gestión de información espacial estandarizada y descentralizada, diseñado para permitir el acceso a bases de datos georreferenciadas, productos cartográficos y metadatos relacionados de una variedad de fuentes, aumentando el intercambio de información espacial y entre organizaciones y su público, utilizando las capacidades del Internet. Este enfoque de gestión de información geográfica busca facilitar a los usuarios de información espacial un acceso sencillo y oportuno a los datos espaciales disponibles y a los mapas temáticos existentes que puedan apoyar una toma de decisiones informada.

El principal fin del software de GeoNetwork es mejorar la accesibilidad de una amplia variedad de datos, junto con la información relacionada, a diferente escala y de fuentes multidisciplinarias, organizados y documentados de manera estándar y consistente.

Los tipos generales de datos que pueden encontrarse en GeoNetwork que son relevantes para la acuicultura marina incluyen: límites administrativos, líneas costeras, distribución de recursos pesqueros, ubicaciones de zonas pesqueras, ciudades principales, densidad de población, caminos y cuencas hidrológicas.

El reto es mejorar el intercambio de datos y compartirlos entre las organizaciones para evitar la duplicación, aumentar la cooperación y coordinación de esfuerzos en la recolección de datos y hacerlos disponibles para el beneficio de todos, ahorrando recursos y al mismo tiempo preservando la propiedad de los datos y la información.

La fuente abierta GeoNetwork fue desarrollada para conectar a las comunidades de información espacial y sus datos usando una arquitectura moderna, la cual es al mismo tiempo poderosa y de bajo costo, con base en los principios de Software de Fuente Abierta y Gratuita (SFAG) y los Estándares Internacionales y Abiertos para servicios y protocolos.

Dooley (2005) compiló un inventario y comparación de bases de datos y bibliotecas geoespaciales consistentes mundialmente como publicación de la FAO. Esta publicación presenta un inventario de fuentes de datos globales que pueden utilizarse para proveer bases geoespaciales consistentes para capas de datos de marcos para soportar mapas base generales, de respuesta a emergencias, seguridad alimentaria y pobreza. Incluye también datos importantes para la acuicultura marina tanto en mar abierto como para instalaciones de apoyo en la costa. En la publicación, sólo se consideraron fuentes de datos consistentes mundialmente a escalas de 1:5 millones o más grandes para datos vectoriales y un tamaño de pixel nominal de 5 minutos de arco o resolución más alta para datos raster. Se identificaron las fuentes de los datos presentados en el inventario con base en una revisión de fuentes de Internet realizada en el primer trimestre de 2004 y actualizada en enero de 2005.

5.1.2 Datos de sensores remotos en tiempo real para la gestión operativa

Los tipos de datos pertinentes a la acuicultura marina adquiridos por sensores remotos incluyen la temperatura de la superficie marina, los patrones de corrientes oceánicas, la formación de remolinos y anillos, surgencias, la acción de vientos sobre la superficie, el movimiento de las olas, el color del océano (en parte indicador de concentraciones de fitoplancton) y el estado del hielo marino a altas latitudes (importante para los organismos, operaciones y estructuras).

Los datos en tiempo real, y más importante aún, las predicciones que puedan hacerse con base en ellos, pueden ser vitales para la gestión operativa de las instalaciones de acuicultura marina. Las aplicaciones de sensores remotos en tiempo real satisfacen las necesidades básicas para la información de gestión. Son aplicaciones para la gestión de (1) organismos cultivados, (2) estructuras de cultivo y (3) acceso (comunicaciones por mar y aire) e instalaciones de apoyo en la costa. Los datos relacionados con los organismos cultivados son temperatura, clorofila-a, vientos superficiales (longitud de ola, periodo y altura) y velocidad de corriente. Los datos relacionados con las estructuras de cultivo y el acceso a las mismas son velocidad de corriente, altura de olas y velocidad del viento. Estos últimos se satisfacen con las previsiones de meteorología marina con base en sensores remotos satelitales y datos de sensores fijos y en flotación en el mar. Por lo tanto, no los tratamos en detalle y nuestro enfoque es sobre los datos relacionados con los organismos cultivados.

Pensando en el uso futuro de instalaciones acuícolas no ancladas (en libre flotación) en mar abierto, como describe Goudey (1998), la velocidad de corriente es una variable importante de gestión para mantener la instalación en ubicaciones que sean las más favorables al bienestar de los organismos y para la seguridad de la instalación procurando el uso mínimo de un sistema de propulsión suplementario. En una escala más amplia de tiempo, el conocimiento de los patrones de corrientes también es esencial para predecir los sitios óptimos de emplazamiento y para planear rutas para lograr las condiciones ambientales óptimas. Es interesante observar que los datos requeridos para estos fines no son datos crudos, sino que ya se encuentran compilados o procesados de alguna manera mediante el modelado o mediante la combinación de datos de varios sensores.

Clorofila-a

Existen diversas opciones para adquirir datos de clorofila-a con cobertura mundial. El Grupo Internacional de Coordinación de Color del Océano (<http://www.ioccg.org/>) provee una visión general de las fuentes, características e instituciones involucradas. Por ejemplo, la NASA (Estados Unidos de América) muestra la variedad de productos en términos de resolución espacial y temporal sólo para el sensor MODIS Aqua en http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/PRODUCTS/L3_sst.html

Otros datos marinos en tiempo real

El Centro de Archivo de Distribución Activa de Oceanografía Física (NASA, Estados Unidos de América) provee una única ubicación desde la que se pueden obtener catálogos de datos y descargas diversas de TSM mundiales, datos de corrientes y de olas (<http://podaac.jpl.nasa.gov/catalog/>). Es posible seleccionar, plotear y ver muchos de los conjuntos de datos antes de descargarlos (<http://poet.jpl.nasa.gov/>).

5.2 DATOS NACIONALES

Un SIG que busque el potencial acuícola cercano a la costa requerirá datos de mayor resolución que los provistos por los conjuntos de datos con cobertura global. Los conjuntos de datos regionales, nacionales y locales serán útiles. El estudio de reconocimiento (Sección 4) fue realizado para ilustrar un SIG que estime el potencial de acuicultura marina utilizando una combinación de conjuntos de datos disponibles global y localmente.

El Directorio Maestro de Cambio Global (Global Change Master Directory, <http://gcmd.nasa.gov/index.html>), es un directorio de datos de ciencias terrestres y servicios que permite localizar datos relacionados con el océano para otros países. Se puede recurrir al sitio para identificar portales de datos espaciales nacionales, como por ejemplo, para la India. Otro enfoque es a través de las búsquedas en Internet de compilaciones de centros nacionales marinos y oceanográficos (por ejemplo, por medio del Proyecto Directorio Abierto (Open Directory Project), http://dmoz.org/Science/Earth_Sciences/Oceanography/Data_and_Information_Resources/) o para países específicos.

Los Estados Unidos de América y Canadá son líderes mundiales en proveer datos espaciales útiles para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina, aunque estos datos no están disponibles específicamente para este uso. Algunos de los datos estadounidenses pueden adaptarse a un determinado alcance geográfico utilizando la tecnología del Servidor de Mapas de Internet (SMI) y luego descargarse bajo algunos formatos opcionales. Un ejemplo de datos de SMI útiles es el SMI de Ecosistema y Hábitat del Atlántico Sur (http://ocean.floridamarine.org/efh_coral/ims/viewer.htm). GISFish incluye vínculos a fuentes de datos espaciales útiles y descargables para la acuicultura y la pesca.

6. Herramientas de toma de decisiones y modelado en SIG

6.1 INTRODUCCIÓN

Fisher (en imprenta) ha estudiado la evolución de los SIG en las aplicaciones pesqueras distintas a la acuicultura. A pesar de una creciente sofisticación en el uso de los SIG para la pesca, y como se muestra aquí, también en la acuicultura marina, se tiene la impresión de que no se toma ventaja de las herramientas de modelado y toma de decisiones disponibles. Cada uno de los paquetes de SIG comerciales incluye cierto grado de modelado y toma de decisiones.

Para fines de este reporte, los términos “herramienta de apoyo a las decisiones” (HAD, o DST por sus siglas en inglés) y “modelo” se definen como sigue: Una “HAD” se refiere a un sistema computacional interactivo que manipula y presenta datos espaciales para apoyar la toma de decisiones informadas, objetivas y, en algunos casos, participativas. Un “modelo” es una representación simplificada de la realidad utilizado para simular un proceso, entender una situación, predecir un resultado o analizar un problema. Un modelo puede ser considerado como una aproximación selectiva, la cual, eliminando los detalles incidentales, permite que aparezca o se prueben algunos aspectos fundamentales del mundo real (FAO, 2006b).

El objetivo de esta sección es proveer una visión general de los enfoques y herramientas de modelado de la toma de decisiones que se utilizan en determinadas aplicaciones de SIG para la acuicultura marina. Primero, se presentan los puntos básicos de la clasificación de datos y evaluación de criterios múltiples. Después se provee una descripción de los modelos basados en SIG utilizados para la toma de decisiones; posteriormente se presentará una visión general de las herramientas de apoyo a las decisiones basadas en SIG utilizadas para las Áreas Marinas Protegidas junto con un resumen tabulado que enlista los temas de la acuicultura que deberán tratarse utilizando estas herramientas. Para resumir esta sección, se presenta una visión general de las HAD utilizadas en determinadas aplicaciones de SIG para la acuicultura marina.

6.2 CLASIFICACIÓN

La clasificación es una parte esencial de cualquier proceso de reducción de datos, por medio del cual se entienden los conjuntos complejos de observaciones. Casi siempre sucede que los datos fuente, ya sean en formato real o integral, deben ser clasificados antes de utilizarse. A pesar de que cualquier proceso de clasificación implica cierta pérdida de información, un buen esquema no sólo busca minimizar esta pérdida sino que, al identificar los grupos naturales que tienen propiedades comunes, provee una manera conveniente de manejar y transferir la información (Burrough, 1986). Además, en cualquier proceso de clasificación, se debe tener cuidado de preservar el nivel apropiado de detalles necesarios para una toma de decisiones sensatas en una etapa posterior (Burrough, 1986; Aguilar-Manjarrez, 1996; Ross, 1998).

Aguilar-Manjarrez (1996) provee una reseña exhaustiva de cinco métodos que se han explorado para clasificar datos sobre tipos de tierra para varios usos que son igualmente relevantes para clasificar los datos de acuicultura marina:

1. La metodología de evaluación de tierras de la FAO, la cual evalúa la apropiabilidad de las tierras en términos de un conjunto de atributos correspondientes

a diferentes actividades.

2. El método de limitación, en el cual se evalúan las características de cada terreno contra una escala relativa de limitantes.

3. El método paramétrico, en el cual se califican los niveles de limitación para cada característica en una escala de 0 a 1, y a partir de esto se calcula un índice de tierra (%) como el producto de calificaciones individuales de todas las características.

4. El método booleano que asume que todas las preguntas relacionadas con la apropiabilidad del uso de la tierra pueden ser respondidas de manera binaria y que todos los cambios importantes ocurren dentro de un límite de clase definido.

5. El método de conjunto difuso, en el cual se utiliza un peso explícito para evaluar el impacto de cada característica terrestre. Las técnicas difusas después se usan para combinar la evaluación de cada característica terrestre en un índice final de apropiabilidad. Aparte de una clase de apropiabilidad dominante, el método de conjunto difuso también provee información sobre el grado al que ciertas unidades terrestres pertenecen a cada una de las clases discernidas.

Para las aplicaciones de SIG, se puede usar cualquiera de los métodos mencionados para clasificar los datos fuente en una escala de cuatro o cinco puntos de apropiabilidad (1 sería lo menos apropiado). Sin embargo, la elección de método depende del tipo de datos y los usos pretendidos de la información resultante. La clasificación permite la normalización de todas las capas de datos, un prerequisite esencial para nuevos modelados.

Se aplicó la lógica difusa a un inventario de apropiabilidad acuícola en las Islas Tiwi (Australia) (Field, 2001). Las circunstancias eran que una parte sustancial de la línea costera son tierras aborígenes y las comunidades exigen participar en las decisiones de desarrollo. Sin embargo, era necesario trabajar en términos lingüísticos y no matemáticos. También se reconoció que un SIG convencional basado en límites bien definidos no reflejaba adecuadamente la situación real de las transiciones graduales entre áreas de apropiabilidades distintas. Se creó un Sistema de Información Geográfica con Enfoque de Equipo con cuatro características (1) el uso de términos lingüísticos en la evaluación de criterios y no en términos matemáticos para definir la apropiabilidad, (2) comparaciones por pares semiautomáticas para estimar los pesos de criterios en Microsoft Excel, (3) aplicación de un entorno de modelado visual en ModelBuilder (extensión de ESRI Spatial Analyst 2.0), y (4) el SIG final que corre en Arc/View.

El enfoque general fue definir los umbrales de criterios, evaluar los umbrales en términos numéricos y lingüísticos (por ejemplo, a un rango con pendiente de 4-5 grados se le asigna una evaluación de uno con una descripción lingüística equivalente de “muy bajo” para la apropiabilidad). La serie correspondiente de números difusos en cuatro conjuntos es 0.0, 0.0, 0.1, 0.2. Los dos valores 0.0 en dos categorías distintas demuestran que no hay límites fijos entre las pendientes de diferentes apropiabilidades. Este enfoque, cuando se consideran todos los criterios en los cuatro conjuntos de números difusos, resulta en cuatro mapas que van del más estricto al menos estricto. Es decir, cuatro interpretaciones diferentes de los mismos criterios resultan en cuatro mapas de apropiabilidad.

6.3 EVALUACIÓN DE CRITERIOS MÚLTIPLES

Las complejidades en la planeación y gestión del desarrollo para la acuicultura marina pueden resultar difíciles si no se cuenta con apoyos para la toma de decisión tales como la toma de decisión de criterios múltiples. Sin embargo, su uso en la acuicultura marina es limitado. Muchos de los temas de desarrollo y gestión de la acuicultura marina tienen contextos geográficos o espaciales, por lo que hay un potencial considerable para utilizar SIG.

Los SIG tienen un potencial considerable tanto para las decisiones sobre políticas como para la asignación de recursos. Las decisiones de políticas buscan influir en el

comportamiento de quienes toman las decisiones, mientras que las de asignación de recursos involucran decisiones que afectan directamente la utilización de los mismos.

Los SIG para decisiones de políticas también tienen el potencial (casi sin realizarse) de ser una herramienta para el modelado de proceso, mediante la cual se pueden simular los efectos espaciales del comportamiento predicho de decisiones. Los modelos de simulación, especialmente los que incluyen temas socioeconómicos, aún son incipientes. Sin embargo, se espera que en un futuro, los SIG jueguen un papel importante en esta área.

Las decisiones de asignación de recursos también son candidatas clave para los análisis con SIG. La evaluación y asignación de tierras es una de las actividades fundamentales del desarrollo de recursos. Sin embargo, sin procedimientos y herramientas para el desarrollo de reglas de decisión y el modelado predictivo de resultados esperados, esta oportunidad se perderá.

La Evaluación de Criterios Múltiples (ECM) basada en SIG incluye el uso de datos geográficos, las preferencias de quien toma la decisión y la combinación de los datos y preferencias de acuerdo con reglas de decisión especificadas. Durante la última década, se han implementado varios métodos de criterios múltiples en el entorno SIG, incluyendo: combinación lineal ponderada (CLS), métodos de puntos ideales, análisis de concordancia, Proceso de Jerarquía Analítica (PJA), Proceso de Red Analítica (PRA) y Promedio Ponderado de Orden (PPO). Entre estos procesos, se considera que la CLS y la operación booleana sobrepuesta son los más directos y han dominado tradicionalmente el uso de SIG como herramientas de apoyo a las decisiones (Malczewski, 1999; Malczewski, 2006).

En la CLS se estandarizan los criterios a un rango numérico común y luego se les combina por medio de un promedio ponderado. El resultado de una CLS es un mapa de apropiabilidad al que pueden sobreponerse una o más restricciones y finalmente umbrales para obtener una decisión final. En el procedimiento booleano, se reducen todos los criterios a declaraciones lógicas de apropiabilidad y luego se les combina por medio de uno o más operadores lógicos, tales como intersección (Y) y unión (O).

El módulo de Promedio Ponderado de Orden (PSO) provee una alternativa interesante al enfoque de combinación lineal ponderada más común de agregación de criterios múltiples. Variando la importancia de los factores en posiciones de orden particular, uno puede ajustar los niveles de negociación entre factores y aversión de riesgos en la solución incorporada al modelo final. Malczewski (2006) presenta una implementación interesante del enfoque del PSO como una plataforma para integrar el análisis de decisión de criterios múltiples y el SIG a un problema de gestión ambiental del mundo real que involucró estrategias de gestión del desarrollo en las cuencas de agua de Cedar Creek en Ontario (Canadá).

6.4 MODELADO

Modelos de toma de decisión de evaluaciones de criterios múltiples

Malczewski (1999) elaboró una reseña completa sobre “SIG y Análisis de Decisión de Criterios Múltiples”. El enfoque de la reseña de Malczewski es sobre el modelado basado en SIG de problemas espaciales con criterios múltiples, con una primera meta de “introducir a los lectores a los principios del análisis de criterios múltiples espaciales y al uso de técnicas de decisión de criterios múltiples en entornos de SIG”. El texto de esta reseña se organiza como sigue: Capítulo 1: Datos geográficos, información y toma de decisiones; Capítulo 2: Introducción a los SIG; Capítulo 3: Introducción a análisis de decisiones con criterios múltiples; Capítulo 4: Criterios de evaluación; Capítulo 5: Alternativas y restricciones de decisiones; Capítulo 6: Ponderación de criterios; Capítulo 7: Reglas de decisiones; Capítulo 8: Análisis de sensibilidad; Capítulo 9: Sistemas de apoyo a las decisiones espaciales; y Capítulo 10: Estudios de caso de sistemas de apoyo

a las decisiones espaciales y de criterios múltiples. La estructura del texto y su orden son lógicos. El público meta son los analistas de SIG y de decisiones, y estudiantes tanto de licenciatura como de posgrado en SIG aplicados, análisis cuantitativo y cursos de sistemas de apoyo a las decisiones espaciales. Malczewski resalta que el texto asume que el lector tiene antecedentes matemáticos limitados. Más que derivar fórmulas y formalizar técnicas de solución, el texto identifica paquetes de software relacionado que resulta indicado utilizar.

Nath *et al.* (2000), en el marco de las aplicaciones de SIG para el apoyo a decisiones espaciales en la acuicultura, identifican restricciones a la implementación de SIG y proponen un marco de siete etapas para que los usuarios desarrollen un SIG que incluya personal, actividades y procedimientos analíticos. La reseña de Nath sigue siendo importante como un texto introductorio sobre los elementos básicos de la evaluación de criterios múltiples (MCE) en la acuicultura.

Varias publicaciones producidas en el Instituto de Acuicultura (<http://www.aquaculture.stir.ac.uk/SIGAP/gis-group/>) se han enfocado en la construcción de “modelos jerárquicos” (Aguilar-Manjarrez, 1992; Aguilar-Manjarrez, 1996; Salam, 2000; Pérez, 2003; y Scott, 2004) para la planeación estratégica del desarrollo acuícola utilizando ECM. En este enfoque, las variables agrupadas naturalmente se consideran primero juntas para producir resultados de “submodelo” tales como requerimientos de agua, apropiabilidad del suelo, disponibilidad de insumos, ventas en granja y mercados. Suele suceder que una variable fuente o capa procesada se utilice en más de un submodelo y que la capa deba ser transformada dependiendo del propósito que se busca. A su vez, cada submodelo puede derivarse de otros modelos más bajos que preprocesan datos variables a factores útiles. Una vez que las variables (por ejemplo, funciones de producción y restricciones) se organizan en submodelos, se derivan pesos para cada submodelo y luego se les combina por orden de rango utilizando la técnica ECM.

Los modelos de toma de decisiones con criterios múltiples (MTDCM) pueden ser útiles para apoyar la toma de decisiones; sin embargo, no se utilizan mucho en la acuicultura. Aunque los MTDCM han sido ampliamente utilizados para la operación agrícola, así como para la planeación estratégica, sólo se encontraron algunas aplicaciones en acuicultura en la literatura: Sylvia y Anderson (1993) describen un modelo de política económica para el cultivo de salmón en jaulas de red; Martinez-Cordero y Leung (2004) presentan un MTDCM desarrollado para evaluar el desarrollo sustentable del cultivo de camarón en el nor-occidente de México, y El-Gayar y Leung (2006) desarrollaron un marco de MTDCM para la planeación del desarrollo acuícola regional.

Modelo de datos marinos

El Modelo de Datos Marinos ArcSIG representa un nuevo enfoque del modelado espacial por medio de la integración mejorada de varias características importantes del reino oceánico, tanto natural como artificial. La meta es proveer representaciones más fiables de carácter ubicacional y de extensión espacial, así como con un medio para realizar análisis espaciales más complejos de los datos marinos y costeros capturando el comportamiento de objetos del mundo real en una base de datos geográfica. El modelo también considera cómo podrían integrarse más eficientemente los datos marinos y costeros en espacio en 3-D y tiempo. A pesar de que actualmente está restringido a 2-D, el modelo incluye “separadores de lugar” que permiten representar la fluidez de los datos oceánicos y sus procesos (<http://dusk2.geo.orst.edu/djl/arccgis/about.html>).

Modelos comerciales para la acuicultura

AquaModel es un sistema de información para evaluar las operaciones e impactos de las granjas piscícolas tanto en la columna de agua como en el bentos, siendo el

primero en su género. AquaModel es un modelo de “enchufe” que reside dentro del Sistema de Información Geográfica EASy Marine, el cual se ha utilizado en numerosos estudios e investigaciones sobre temas pesqueros y oceanográficos. Toda la información ambiental, desde medidas de campo hasta imágenes satelitales, se encuentra fácilmente disponible para el desarrollo y uso de modelos. Se puede utilizar el AquaModel para examinar efectos de campo cercanos o lejanos de granjas individuales o en grupos en la plataforma costera, donde puede desarrollarse la acuicultura costera o en mar abierto. AquaModel está siendo adaptado para poder ser aplicado a múltiplesjaulas individuales, así como aa granjas múltiples. AquaModel está diseñado para: administradores, quienes establecen y aplican reglas y supervisan la extensión del impacto; piscicultores que deseen planear granjas y obtener permisos, e inversionistas que deseen evaluar riesgos y oportunidades (<http://netviewer.usc.edu/aquamodel/Overview.html>).

6.5 HERRAMIENTAS DE APOYO A LAS DECISIONES

Software para la toma de decisiones

Belton y Stweart (2002) establecen que el software es esencial para la efectividad de losanálisis de criterios múltiples. De esta manera, el facilitador, el analista y quien toma las decisiones están libres de los detalles técnicos de implementación y pueden concentrarse en el juicio y decisión de valores fundamentales. Concluyen que, aunque es posible crear macros en una hoja de cálculo para lograrlo, es más conveniente utilizar un software específicamente diseñado para esto.

La Tabla 6.1 muestra una lista de herramientas de software compilada por Janssen y van Herwijnen (2006) para apoyar un análisis de criterios múltiples que puedan contribuir a las actividades de acuicultura marina (localización, zonificación, monitoreo, etc.). La lista se desactualiza rápidamente. Por lo tanto, se pueden encontrar otros listados de software de MCE en Belton y Stewart (2002) y en <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/das/das-html>.

TABLA 6.1
Software para apoyar el análisis de criterios múltiples (actualizado a partir de Janssen y van Herwijnen, 2006)

Paquetería	Breve descripción
Estructuración de problemas para problemas de decisión discreta	
Decision Explorer 3.2	Análisis de datos cualitativos, vinculando conceptos a través de mapas cognitivos o causales (http://www.banxia.com)
Mind Manager 4.0	Estructura situaciones complejas a través de la organización de ideas y conceptos, visualización gráfica con íconos, gráficas, colores y multimedia (http://www.mind-map.com)
Problemas de decisión discreta	
Criterium Decision Plus 3.0	Funciones de valor de atributos múltiples incluyendo la opción de información de preferencia imprecisa, análisis de costo-beneficio, puntajes (http://www.definite-bosda.nl)
DEFINITE 3.1	
HIPRE	Funciones de valor de atributos múltiples con información de preferencia imprecisa (http://www.hipre.hut.fi)
Hiview	Funciones de valor de atributos múltiples (www.enterprise-lse.co.uk)
Logical Decisions 5.1	Funciones de valor de atributos múltiples y el proceso de jerarquía analítica (AHP) (http://www.logicaldecisions.com)
VISA	Interacción gráfica y presentación de las funciones de valor de atributos múltiples (http://www.simu18.com/visa.htm)
Problemas de decisión de grupos discretos	
Team Expert Choice	AHP, comparaciones por pares (http://www.expertchoice.com)
VISA Groupware	PRA, proceso de redes analíticas (http://www.superdecisions.com/index_tables.php3) Funciones de valores de atributos múltiples (http://www.simu18.com/visa.htm)
Web-HIPRE	Funiones de valores de atributos multiples y AHP (http://www.hipre.hut.fi)
Problemas de elección especial discreta	

Paquetería	Breve descripción
Idrisi 32	Un SIG que incluye los siguientes procedimientos de apoyo a las decisiones: WEIGHT (AHP), MCE (combinación booleana, combinación lineal sopesada o promedio sopesado ordenado), RANK (orden de las celdas), MOLA (píxeles asignados a objetivos múltiples), y OWA (provee promedios sopesados de factores para ajustar el nivel de intercambio entre factores y aversión de riesgo) (http://www.clarklabs.org/).
EMDS	Apoyo a decisiones de gestión ambiental; combina ArcSIGTM, NetWeaver y Criterium DecisionPlus (http://www.fsl.orst.edu/emds)

El centro Clark Labs, con sede en la Escuela de Posgrado en Geografía de la Universidad de Clark, es famoso por sus avances pioneros en el apoyo a las decisiones. Clark Labs es mejor conocido por su producto, el software IDRISI SIG y Procesamiento de Imagen. Durante los últimos años, el equipo de investigación de Clark Labs se ha preocupado específicamente por el uso de los SIG como una extensión directa del proceso humano de toma de decisiones, específicamente en el contexto de las decisiones de asignación de recursos. En 1993, IDRISI introdujo la primera instancia de las herramientas de toma de decisión de Criterios Múltiples y de Objetivos Múltiples en un SIG. A la fecha, IDRISI es el líder en la industria para el desarrollo de software de apoyo a las decisiones.

Otro software digno de mención es DEFINITE. El software es novedoso por dos razones. La primera es que no está diseñado alrededor de una técnica de criterios múltiples como la mayoría de la paquetería de software, al contrario, es una caja de herramientas, y la segunda es porque es visual e interactivo, lo que facilita la comunicación sobre el problema y la evaluación de los resultados. Janssen y van Herwijnen (2006) describen las características de esta herramienta.

El software Super Decisions se utiliza para la toma de decisiones e implementa el Proceso de Red Analítica (PRA) desarrollado por Saaty (2006). El programa fue elaborado por el equipo del PRA trabajando para la Fundación Creative Decisions. El PRA es una herramienta esencial para articular nuestra comprensión de un problema de decisiones. Es un proceso que le permite a uno incluir todos los factores y criterios, tangibles e intangibles, que son de relevación para la toma de la mejor decisión.

El PRA provee una manera de incorporar juicios y medidas para derivar prioridades en escalas de proporción para la distribución de influencias entre los factores y grupos de factores en la decisión. Ya que el proceso se basa en la derivación de medidas de escalas de proporción, puede utilizarse para asignar recursos de acuerdo con sus prioridades de escala-proporción. La conocida teoría de decisiones, el Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) (Saaty, 1980) es un caso especial del PRA. Tanto el PJA como el PRA derivan prioridades de escala de proporción para los elementos y grupos de elementos haciendo comparaciones de pares de elementos sobre propiedades o criterios comunes. A pesar de que muchos problemas de decisiones se estudian mejor con el PRA, uno querría comparar los resultados obtenidos con él con los obtenidos utilizando el PJA o cualquier otro enfoque de decisiones respecto al tiempo que le tomó obtener los resultados, el esfuerzo invertido en realizar los juicios, y la importancia y veracidad de los resultados.

El PRA ha sido aplicado a una amplia variedad de decisiones: mercadeo, médicas, políticas, sociales, de previsión y predicción, y muchas otras. Su confiabilidad de predicción es impresionante en aplicaciones que se han hecho para tendencias económicas, deportes y otros eventos cuyo resultado se conoció después. En el manual de software del PRA y en el libro “El Proceso de Red Analítica: Toma de Decisiones con Dependencia y Retroalimentación”, de Saaty (2006) se incluyen estudios de casos detallados de las aplicaciones.

Herramientas de apoyo a las decisiones para Áreas Marinas Protegidas (AMP)

Para tratar los complejos temas que afectan a las AMP, los gestores se apoyan en la tecnología para comprender y analizar los recursos y ambientes de sus AMP. Los

gestores de AMP y los científicos utilizan cada vez más los SIG y los sensores remotos para mapear y analizar los recursos bajo su jurisdicción.

En un esfuerzo por documentar las herramientas de apoyo a las decisiones de SIG existentes que apoyan a los gestores de AMP, el Centro de AMP y el Centro de Servicios Costeros del NOAA compiló un “Inventario de Herramientas de Apoyo a las Decisiones Basadas en SIG para las AMP” (Pattison, dos Reis y Hamilton, 2004). La meta de este inventario es crear conciencia entre la comunidad de AMP de las herramientas de apoyo a las decisiones basadas en SIG que existen y que les pueden apoyar en diversas actividades relacionadas con la AMP (localización, zonificación monitoreo, etc.). Las herramientas señaladas en este inventario proveen funcionalidad, desde la visualización e integración de datos oceanográficos hasta el modelado de apropiabilidad de sitios y la incorporación de insumos de las personas involucradas. Las herramientas basadas en SIG hechas a medida incluyen extensiones de ArcView 3x, y otras herramientas / software son CI-SSAT, EwE, GiDSS, HSM, OCEAN, MARXAN, e-Site, Sites v1.0 y CARIS SIG y CARIS LOTS (Tabla 6.2). Algunas de estas herramientas fueron diseñadas con algoritmos específicos para producir mapas de hábitats apropiados, seleccionar el sitio de reserva de las unidades de planeación, o establecer redes de reservas marinas. Muchas herramientas pueden adaptarse a cualquier ubicación si se cuenta con las capas de datos específicos del sitio y la mayoría están disponibles para su descarga gratuita. Resulta interesante la incorporación de datos socioeconómicos en muchas de las herramientas y que dos de éstas (el Programa de Áreas Representativas del Parque Marino Gran Arrecife, RAP, y el Uso de EcoTrust de OceanMap) han sido utilizadas en la práctica para actividades de zonificación y monitoreo.

Algunas herramientas demuestran un proceso para incorporar el conocimiento local en la toma de decisiones, lo cual agrega un componente importante de participación para los involucrados por proveer información de relevancia. Los sitios de mapas interactivos incluyen “GiDSS”, donde los usuarios podrán especificar su problema particular, y la herramienta, utilizando un árbol de decisiones tipo esqueleto, sugerirá capas de datos relacionadas con el tema. El “e-Site” es un sistema de información geográfica en línea que propicia la participación de los involucrados en procesos públicos de participación en temas de selección de sitios en el ambiente marino.

Cabe señalar que la única herramienta de apoyo a las decisiones que incluyó la acuicultura fue el estudio de O'Donnell, Cronin y Cummins sobre “Hábitats costeros sustentables: herramientas de SIG para un apoyo efectivo a las decisiones”. A pesar de esto, tenemos la impresión de que estas herramientas para las AMP también podrían utilizarse en la acuicultura marina para tratar temas de acuicultura, como se ilustra en la Tabla 6.2.

Cada resumen de herramienta incluye una descripción de lo que hace la herramienta, los datos y software requeridos para correrla, e información de contacto. Las referencias y descripciones específicas del proyecto en este inventario proveen antecedentes técnicos adicionales e ilustran cómo estas herramientas espaciales pueden utilizarse en conjunto con otros mecanismos para facilitar las decisiones de gestión relacionadas con las AMP.

Debido a que necesariamente se desarrollarán y mejorarán nuevas herramientas y técnicas, el personal de un AMP deberá mantener este inventario como un documento vivo. Así, el inventario será actualizado regularmente para reflejar estos cambios y estará disponible en copia física o en línea en <http://www.mpa.gov>. Se invita a la comunidad de AMP a alertar al personal sobre cualquier herramienta, proyecto o documento que sería adecuado incluir en el futuro.

Aplicaciones selectas de SIG para la acuicultura marina

El enfoque general utilizado en las reseñas de aplicaciones de SIG presentadas en la

Sección 3 incluyó una fase de clasificación para definir los umbrales de cada factor para agruparlos en clases de apropiabilidad para su ulterior uso en modelos.

El apoyo a las decisiones entre las reseñas de aplicaciones para la acuicultura marina en jaulas incluyó principalmente la integración de opiniones expertas utilizando técnicas de ECM, lo cual en ocasiones incluía la verificación del campo y/o estimaciones de la capacidad de sostenimiento o la productividad. Entre las diversas aplicaciones para jaulas, solamente fueron creadas dos herramientas especializada: (a) el documento sobre distribución de desechos particulados del salmón del Atlántico, y (b) el diseño de una herramienta basad en SIG para el personal de gestión de zonas costeras que cuentan con conocimientos básicos de SIG.

Las reseñas relativas a los moluscos incluyeron ECM, modelos de producción, Sistemas de Clasificación Acústica (SCA) para clasificar tipos de hábitat; sonares de subfondo y de escáner lateral; y estimaciones de la capacidad de sostenimiento para el cultivo de mejillón y escalopa. Una reseña trató del desarrollo de un SIG basado en un sistema de información de gestión del ostión.

Cabe señalar que pocas reseñas de acuicultura marina en jaulas o de moluscos incluyeron datos socioeconómicos o verificación de campo en sus análisis. En toda la literatura consultada, sólo se encontró una revisión aplicada a algas marinas; sin embargo es un buen ejemplo, ya que ilustra cómo se pueden construir modelos sencillos para integrar datos ambientales y sociales para la toma de decisiones.

En términos de software, la mayoría de las aplicaciones de SIG en el presente documento se apoyaron en: ArcView, Idrisi y MapInfo y en las herramientas de apoyo a las decisiones que estos tres softwares proveen.

En el contexto de ECM, las aplicaciones muestran algunos avances en la asignación de pesos y cómo estos se combinan en una ECM por medio de técnicas de puntaje. Sin embargo, ya que la asignación y combinación de pesos constituyen la esencia del proceso de toma de decisiones, creemos que es necesario desarrollar más estas técnicas de ponderación.

TABLA 6.2
Herramientas de apoyo a las decisiones basadas en SIG para AMPs

Autor	Título	Software	Tópicos acuícolas a tratar
NOAA Coastal Services Center. http://www.csc.noaa.gov/communities/agreement.html	Channel Islands - Spatial Support and Analysis Tool	CI-SSAT	Apropiabilidad del Sitio y de la Zonificación
University of British Columbia's Fishery Centre http://www.ecopath.org	Ecopath with Ecosim, Ecopath.	Ewe	Anticipación de las consecuencias de la acuicultura
NOAA Coastal Services Center. http://www.csc.noaa.gov/mpa/stellwagen.pdf	Evaluating Vessel Speed Restrictions to Mitigate Impacts to Marine Mammals in the Stellwagen Bank National Marine Sanctuary.	ArcIS8x tool	Anticipación de las consecuencias de la acuicultura
National Center for Caribbean Coral Reef Research	Geographic Information and Decision Support Tool	GiDSS	Sistema de Información de Acuicultura basado en la Red de Internet
NOAA's Biogeography Program. National Centres for Coastal Ocean Science.a http://biogeo.nos.noaa.gov/products/apps/hsm/	Habitat Suitability Modelling	HSM (HSM fue diseñado para computadoras NT Windows con ArcView 3.2 y requiere la extensión Análisis Espacial	Anticipación de las consecuencias de la acuicultura

Autor	Título	Software	Tópicos acuícolas a tratar
Rikk Kvitek, Pat Iampietro y Erica Summers-Morris. http://seafloor.csUMB.edu/publications/Kvitek_NA17OC2586_RPT.pdf	NOAA Technical Report: Integrated Spatial Data Model Tools for Auto-Classification and Delineation of Species-Specific Habitat Maps from High-Resolution, Digital Hydrographic Data.	OCEAN	Restauración de Hábitats de Acuicultura
EcoTrust http://www.ecotrust.org/gis/ocean.html	Ocean Communities 3E Analysis Network, EcoTrust.	OCEAN	Planificación de la Acuicultura entre otros usos de la tierra y el agua
USGS, Alaska Biological Science Center http://www.absc.usgs.gov/giba/gistools/index.htm#OCEANOGRAPHIC	The Oceanographic Analyst Extension	Extensión ArcView 3x y Analista Espacial	Apropiabilidad del sitio y de la zonificación
The Nature Conservancy. http://www.biogeog.ucsb.edu/projects/tnc/overview.html	Sites	Sites (Extensión ArcView 3x).	Apropiabilidad del sitio y de la zonificación
Dos procesos que utilizan herramientas de apoyo a las decisiones			
Great Barrier Reef Marine Park Authority	Great Barrier Reef Marine Park's Representative Areas Program (RAP)	MARXAN (Extensiones Basic de un programa FORTRAN 77 / SIMAN)	Apropiabilidad del sitio y de la zonificación
California Department of Fish and Game (CDFG)	EcoTrust's Use of OceanMap	Colección de scripts en un archivo de un proyecto en ArcView	Planificación estratégica para el desarrollo
Bibliografía anotada			
Department of Civil and Environmental Engineering. http://dogfish.mit.edu/eSite/thesis/AdamsCS_Text.pdf	An interactive, online geographic information system (SIG) for stakeholder participation in environmental site selection.	e-Site	Sistema de Información de Acuicultura basado en la Web
Ardron, Jeff. http://www.livingoceans.org/files/complexity_draft8.pdf	A SIG recipe for determining benthic complexity: An indicator of species richness.	Se propone una metodología	Restauración de Hábitats de Acuicultura
Ardron, J., J. Lash, and D. Haggarty. Living Oceans Society. British Columbia, Canada. http://www.livingoceans.org/documents/LOS_MPA_model_v31_web.pdf	Modelling a network of marine protected areas for the central coast of British Columbia.	MARXAN (v.1.2)	Apropiabilidad del sitio y de la zonificación
Beck, M.W., M.Odaya, J.J. Bachant, J. Bergan, B. Keller, R. Martin, R. Matthews, C. Porter, and G. Ramseur. http://www.epa.gov/gmpo/habitat/NGoM_Final_allfigs.PDF	Identification of priority sites for conservation in the northern Gulf of Mexico: An ecoregional plan. The Nature Conservancy, Arlington, VA.	Sites v1.0	Apropiabilidad del sitio y de la zonificación
Grober-Dunsmor, Rikki, Jason Hale, Jim Beets, Tom Frazer, Nick Funicelli, and Paul Zwick. http://cars.er.usgs.gov/posters/Coral_and_Marine/Mngmt_of_Marine_Reserves/mngmt_of_marine_reserves.html	Applying landscape ecology principles to the design and management of marine reserves.	No especificada	Restauración de Hábitats de la Acuicultura
Leslie, H., M. Ruckelshaus, I.R. Ball, S. Andelman, and H.P. Possingham. http://www.sam.sdu.dk/fame/menu/pdfnov/leslie.pdf	Using siting algorithms in the design of marine reserve networks. Ecological Applications.	Simulated annealing	Apropiabilidad del sitio y de la zonificación

Autor	Título	Software	Tópicos acuícolas a tratar
O'Donnell, V., Cronin, M. & Cummins, V. Coastal & Marine Resources Centre, Environmental Research Institute, University College Cork, Ireland. http://www.gisig.it/coastgis/papers/o%27donnell.pdf	Sustainable coastal habitats: SIG tools for effective decision support.	Eventually a SIG via el Internet o una extensión de ArcView	Impactos ambientales de la acuicultura
Sala, E., O. Aburto-Oropeza, G. Paredes, I. Parra, J. C. Barrera, and P. K. Dayton. http://www.cciforum.org/pdfs/Sala_Marine_Reserves.pdf	A general model for designing networks of marine reserves.	No especificada	Planeación estratégica para el desarrollo
Sutherland, Michael, Sam Machari Ng'ang'a, and Sue Nichols. http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/272.pdf	In search of New Brunswick's marine administrative boundaries.	CARIS SIG y CARIS LOTS	Apropiabilidad del sitio y de la zonificación

7. Resumen, discusión y conclusiones

7.1 RESUMEN

El objetivo de esta reseña es dar a conocer las aplicaciones de SIG, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y gestión de la acuicultura marina como medio de mejorar la sustentabilidad con un enfoque hacia los países en desarrollo.

Acuicultura marina

La acuicultura marina está adquiriendo cada vez mayor importancia dentro del sector pesquero, tanto en producción como en valor. La maricultura es la segunda fuente más importante de producción en el sector pesquero y representó casi el 20% de la producción total del sector en 2004.

Considerando el peso de la producción de grupos amplios de especies, en 2004 la producción de la maricultura estuvo dominada por plantas acuáticas (46%) y moluscos (43%), mientras que los peces diádromos (salmónidos) representaron 5% y los peces marinos 4%. Los crustáceos representaron el 2% restante.

De los 186 países costeros, sólo 86 tuvieron producción de maricultura en 2004. De estos, 15 países representaron 97% de la producción mundial. Por lo tanto, parecieran existir grandes oportunidades para la expansión de la acuicultura marina entre los países que aún no producen, o cuya producción es relativamente limitada.

Los países tienen jurisdicción sobre el desarrollo y gestión de todo tipo dentro de sus Zonas Económicas Exclusivas y la mayoría de los países poseen amplias ZEE asociadas con sus territorios metropolitanos y de ultramar. Por tanto, la falta de espacio no parece ser un impedimento a la expansión de la acuicultura marina.

Puede considerarse que la acuicultura marina ocupa dos entornos, un próximo a la costa y el otro en mar abierto. El desarrollo de la maricultura cerca a la costa parece estar impedida por una serie de aspectos relacionados con la competencia de usos y el medio ambiente. La acuicultura en mar abierto comparte algunos de los mismos temas aunque en menor grado y actualmente está impedida por falta de tecnologías de mar abierto y un marco propicio para su desarrollo.

Sistemas de Información Geográfica, sensores remotos y mapeo en el ambiente marino y en el sector pesquero

Los SIG, sensores remotos y mapas en la acuicultura usan los datos y técnicas aplicados para otros fines, tales como para el ordenamiento de zonas costeras y pesca, innovando técnicamente y creando nuevas aplicaciones en estas áreas de interés fundamental. La literatura sobre el uso de estas herramientas en el ambiente marino es básicamente de carácter promocional y cubre los temas conceptuales, técnicos e institucionales así como una variedad de aplicaciones. Varios hitos son las síntesis de experiencia en formato de reseñas y manuales. La extensión de la experiencia está disponible y fácilmente asequible en las memorias de simposia, talleres y en sitios de Internet.

Sin embargo, se ha encontrado que, en términos cuantitativos, las aplicaciones de SIG, sensores remotos y mapeo en la acuicultura están sesgadas en términos de ambientes, especies cultivadas, temas tratados y países representados. Por lo tanto, urge disponer de información completa sobre las herramientas de SIG, sensores

remotos y mapeo aplicadas a la acuicultura que pueda ser divulgada ampliamente y a bajo costo. En la FAO fue creado el GISFish, un portal de Internet sobre SIG, sensores y mapeo, para atender este problema

Utilizando ejemplos selectos de la literatura, hemos mostrado que los SIG, sensores remotos y mapeo juegan un papel importante en diversos aspectos geográficos y espaciales del desarrollo y gestión de la acuicultura marina.

Aplicaciones de Mapeo en la acuicultura marina

El mapeo es la forma más directa y sencilla de visualizar las relaciones espaciales involucradas en el desarrollo y gestión de la acuicultura y una de las maneras más sencillas de comunicar los requerimientos bi-dimensionales de la acuicultura por espacio entre los especialistas técnicos y el público en general.

Las aplicaciones del mapeo se muestran relacionando la localización y la zonificación de la acuicultura como componentes clave en un sistema de información de la acuicultura basado en Internet orientado a un amplio auditorio de usuarios gubernamentales, comerciales y privados, en formatos interactivos y que permiten la descarga de datos de mapas SIG útiles para la acuicultura, mismos que se encuentran disponibles en Servidores de Mapas de Internet (Internet Map Servers - IMS)

Aplicaciones de sensores remotos en la acuicultura marina

Los sensores remotos que utilizan sensores satelitales, aéreos, terrestres y submarinos son generalmente considerados como una herramienta ampliamente utilizada para la captura de datos para su eventual incorporación a los SIG para la acuicultura marina. En tal sentido se presenta un sensor remoto hidroacústico en la sección de aplicaciones de SIG para el cultivo de moluscos más que como una aplicación aislada. De igual forma, se presentan los sensores remotos satelitales como fuente de datos físicos del océano en el capítulo sobre datos. No pretendemos que este enfoque desdeñe la importancia de los sensores remotos en relación con otras herramientas. Al contrario, los sensores remotos “dinámicos” para el monitoreo en tiempo real, o en tiempo casi- real, de las condiciones ambientales serán cada vez más importantes para la gestión operativa de las instalaciones acuícolas. La detección temprana de florecimientos nocivos de algas es una aplicación importante de este tipo que se menciona en varios ejemplos. Los sensores remotos dinámicos también son útiles para el monitoreo cotidiano del estado del mar, temperatura y velocidad de corriente para la acuicultura en mar abierto.

Desde los primeros días del desarrollo hasta el presente, los datos digitales de sensores satelitales han sido útiles como mapas base para la acuicultura costera así como para proveer de información esencial sobre uso de la tierra, cubierta de tierra y algunas características acuáticas. De igual forma, el monitoreo y mapeo del desarrollo de la acuicultura es otro uso de los datos satelitales en las zonas donde se regula la acuicultura.

Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en la acuicultura marina

Las aplicaciones SIG a la acuicultura costera y a la acuicultura en mar abierto se dividen en dos categorías: cultivo de peces de aleta en jaulas y cultivo costero de moluscos.

Sistemas de Información Geográfica y cultivo de peces en jaulas

En cuanto al cultivo en jaulas, la selección de sitio y “pre-zonificación” son las aplicaciones más comunes y desarrolladas. La mayoría de los ejemplos pertenecen a estudios de pre-selección de sitio que cubren áreas relativamente grandes, cuyos resultados indican las ubicaciones con potencial para investigaciones de campo más detalladas entre las áreas o zonas específicas identificadas en el SIG. Los datos más

detallados o de mayor resolución podrán incorporarse al SIG existente para utilizarse en la selección de sitios individuales.

Existe una evolución clara a partir de la selección de sitios en que sólo la apropiabilidad del sistema de cultivo y de los organismos cultivados se toma en cuenta en estudios más amplios, en los que el objetivo es acomodar a la acuicultura marina entre la competencia de usos. En este proceso hay una mayor sofisticación en la toma de decisiones, que incluye el uso de expertos y procedimientos formales para identificar y cuantificar las funciones de producción en los modelos. Ello da como resultado una base de información más completa y confiable para las decisiones.

Investigaciones más especializadas del cultivo en jaulas utilizan SIG para tratar el clima, el oleaje y los desechos de las jaulas.

Sistemas de Información Geográfica y cultivo de moluscos

Las aplicaciones de SIG al cultivo de moluscos son más numerosas que para el cultivo de peces en jaulas por varias razones relacionadas con la mayor producción de los primeros. Sobre los temas relacionados con el desarrollo, las reseñas cubren aplicaciones para localización de sitios, estimación de potencial, anticipación de competencia de usos y evitar conflictos. Sobre los temas relacionados con la práctica y gestión acuícola, las reseñas tratan sobre la contaminación y enfermedades en operaciones ostrícolas, evaluación de hábitat utilizando sensores remotos hidroacústicos, recursos, capacidad de sostenimiento y mortalidad estacional.

La mayoría de las aplicaciones se dirigen al ostión, aunque se incluyen también almejas, mejillones y escalopas. La mayor parte del cultivo se lleva a cabo sobre el fondo, aunque también se tratan las balsas y líneas flotantes.

Entre los problemas que continúan limitando estas aplicaciones está la falta de datos de alcance o resolución suficiente. Esto puede relacionarse con una escasez de estudios en los que se formaliza la toma de decisiones de manera objetiva.

Entre las carencias se incluyen aplicaciones que identifican instalaciones costeras de apoyo así como sitios o zonas para el cultivo. Subrogados a estas aplicaciones hay estudios de selección de sitio para el cultivo de camarón en estanques que tienen varias capas de datos en común.

Economía y Sistemas de Información Geográfica

Puesto que todos los aspectos espaciales de la acuicultura marina tienen un componente económico, vale la pena resaltar que hay una escasez de aplicaciones SIG a los aspectos económicos del desarrollo y gestión de la maricultura. Ello no obstante que algunos estudios económicos y modelos claramente resaltan variables de costo relacionadas con la geografía.

Se ha sugerido que los SIG podrían ser aplicados a diversos elementos de estos estudios económicos para mejorar las opciones de compromiso, principalmente al sobreponer variables ambientales.

Disponibilidad de datos

Una de las consideraciones más importantes para la implementación de SIG son los datos de resolución temporal y espacial adecuada, así como la cobertura geográfica para el uso en cuestión. Las primeras investigaciones tenían en cuenta los factores espaciales y sus restricciones asociadas con la acuicultura marina. Su principal dificultad radicaba en encontrar o generar datos apropiados para la tarea. Hasta cierto punto, este problema continúa y se manifiesta en la falta de algunos tipos de datos compilados, entre los que sobresalen las corrientes. Los huecos espaciales en los datos, y los datos de baja resolución, siguen siendo problemas.

Generalmente existe una correlación cercana entre la resolución de los datos y su cobertura geográfica. Así, en las investigaciones espaciales para la acuicultura marina,

se pueden categorizar convenientemente los conjuntos de datos como globales, nacionales, subnacionales y locales de acuerdo con el área espacial de interés. Las características temporales de los conjuntos de datos también son importantes. Para datos “estáticos”, tales como acceso a líneas costeras, se requieren las actualizaciones más recientes. Para datos dinámicos, tales como TSM, las necesidades temporales pueden variar desde las climatologías basadas en años de observación hasta datos en tiempo real, los últimos para la gestión operativa de las instalaciones acuícolas y los primeros para la planeación del desarrollo comercial o gubernamental.

Los datos de atributos se usan para establecer los umbrales de los factores de producción. Identificar, compilar y sintetizar los datos de atributos puede llevar un largo tiempo debido a la necesidad realizar búsquedas exhaustivas en la literatura y en Internet, así como por la correspondencia con los expertos.

Con el fin de señalar la manera en que pueden utilizarse los datos para una primera aproximación al potencial acuícola en mar abierto, hemos enfatizado la descripción de los datos que tienen cobertura global y que se encuentran disponibles en Internet para descargarlos gratuitamente. Los conjuntos de datos más básicos incluyen líneas costeras, límites de ZEE, batimetría, TSM y clorofila.

Los datos en tiempo real, y especialmente las predicciones que se puedan realizar con base en ellos, son vitales para la gestión operativa de las instalaciones acuícolas marinas. Señalamos las fuentes de datos en tiempo real que incluyen TSM, clorofila, altura de olas y velocidad de corrientes.

Los conjuntos de datos en resoluciones nacionales y subnacionales parecen variar mucho en cuanto a su disponibilidad entre los diversos países. Obviamente existe una correlación entre la disponibilidad de datos y el número de aplicaciones en la acuicultura marina. El conteo actual de aplicaciones por país en GISFish ilustra este problema.

7.2 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Acuicultura marina

- En general, la acuicultura marina crece rápidamente y la acuicultura en mar abierto adquiere cada vez más importancia conforme se adquiere experiencia. Desde un punto de vista espacial, parece haber un gran potencial para expandir la acuicultura marina en mar abierto en los países cuya producción actual es reducida, o incluso nula.
- El crecimiento sustentable de la acuicultura marina requerirá un ambiente propicio que incluya planes concretos para el desarrollo y gestión sostenidos. Estos planes se generarán únicamente tratando y resolviendo exitosamente los principales problemas. De acuerdo con Muir (2004), las principales premisas a tratar en la acuicultura en mar abierto son:
 - ¿se puede definir y desarrollar sistemas completos en mar abierto?
 - ¿se les puede desarrollar y operar de manera efectiva y eficiente?
 - ¿cuáles son las implicaciones económicas?
 - ¿serán apropiadas bjo condiciones regionales?
 - ¿habrá un entorno de políticas apropiado?
 - ¿habrán condiciones de mercado y de inversión adecuadas para estimular su implementación?
- Coincidiendo con estos postulados, Cicin-Sain *et al.* (2005) han enfatizado que el desarrollo y operación de una granja en mar abierto requiere una inversión de millones de dólares y hacen notar que las decisiones de selección de sitios con base en información insuficiente o errónea podría crear costosos retrasos, degradación ambiental, conflictos con otros usuarios, producción reducida,

problemas de concesión, licencias y otros requisitos regulatorios, o finalmente, el fracaso del proyecto.

Aplicaciones de SIG, sensores remotos y mapeo

- Se han reunido aplicaciones de SIG, sensores remotos y mapeo para ilustrar las capacidades de estas herramientas para solucionar varios problemas que enfrenta el desarrollo y gestión de la acuicultura marina. Hemos enmarcado las aplicaciones en un conjunto amplio de temas fundamentales de la acuicultura. Obviamente el énfasis en algunos temas puede variar en cada situación y pueden surgir nuevos temas. En cualquier caso, consideramos esencial que el despliegue de herramientas espaciales se base en una evaluación previa y cuidadosa de los temas. A pesar de que se pueden profundizar para alcanzar mayores refinamientos así como para expandir las aplicaciones de manera que resuelvan los problemas de manera más amplia y completa, se puede decir que estas herramientas pueden implementarse convenientemente para mejorar la sustentabilidad de la acuicultura marina, especialmente para la identificación y cuantificación de la competencia y conflicto de usos y en conflicto, así como para la preselección de sitios. Dicho de otra forma, el uso de SIG, sensores remotos y mapeo ha llegado al punto de ser una parte esencial para proveer el entorno que permita el desarrollo de la acuicultura marina.
- Una falla notoria es que los SIG no han sido aplicados por completo al cultivo de plantas marinas, que constituyen el principal producto de la acuicultura marina; sólo se encontró un ejemplo en la literatura.
- Una pregunta legítima es que, a pesar de la variedad de aplicaciones presentadas aquí, ¿por qué el uso de SIG, sensores remotos y mapeo en la acuicultura no es tan común como en el caso de otras disciplinas, tales como recursos hídricos? Creemos que parte de la respuesta reside en la falta de información sobre las capacidades de estas herramientas entre los administradores y gestores, así como una falta de acceso a la experiencia entre los operadores, especialmente en los países en desarrollo. Este documento técnico representa una solución mientras que GISFish representa otra. Sin embargo, vale la pena considerar otras posibles restricciones. Una es que hay pocas oportunidades de educación formal en SIG que pudieran incluirse en los estudios de grado y posgrado en todos los campos de investigación y gestión de los recursos naturales. Otra es la falta de acceso a equipo computacional, software y banda ancha que permitan operar en Internet de manera efectiva, especialmente en cuanto la comunicación y adquisición de datos, particularmente en países en desarrollo. Queda claro que es necesario examinar los impedimentos al uso efectivo y común de las herramientas espaciales en la acuicultura. Las posibilidades para los siguientes pasos en esta dirección incluyen la formación de un grupo de trabajo patrocinado por la FAO para tratar temas específicos que podrían incluir (1) una revisión de las necesidades presentes y futuras del sector acuícola en materia de análisis espaciales, (2) un análisis crítico de por qué no han despegado los SIG, y (3) el papel de los SIG, sensores remotos y mapeo en la gestión y desarrollo de la acuicultura y en la toma de decisiones estratégicas y operativas. El foro de discusión que ofrece GISFish puede ser el punto de reunión inicial para el grupo de trabajo. Para ampliar las perspectivas del grupo de trabajo, podría participar en alguna una conferencia internacional tal como el Simposio Internacional sobre SIG y Análisis Espacial en las Ciencias Acuáticas y Pesqueras. Otra manera de ampliar la perspectiva del grupo de trabajo sería crear un panel con miembros de disciplinas distintas a la pesca y la acuicultura, en las cuales el uso de SIG se haya popularizado y sea efectivo (por ejemplo, ordenación de áreas costeras). No sería suficiente contar con

un reporte final del grupo de trabajo. Éste deberá reunirse no sólo con el fin de identificar problemas sino con el mandato de diseñar soluciones prácticas y de identificar a las organizaciones que tengan la capacidad de financiar e implementar las soluciones.

Economía, socioeconomía y SIG

- Existe una carencia de aplicaciones de SIG en los temas económicos de la acuicultura. Es irónico que, al contrario que en otros tipos de aplicaciones, los datos económicos parecen estar disponibles fácilmente para su análisis en SIG a partir de estudios económicos en los que no se han incorporado análisis espaciales. Se señalan abajo algunos ejemplos.
- El modelado bioeconómico espacial requiere estimar las diferencias espaciales en la producción de los cultivos. Kapetsky y Nath (1997) dieron un paso para relacionar el SIG con el modelado bioeconómico al integrar un SIG con un modelo bioenergético para evaluar el potencial de la acuicultura en aguas interiores en América Latina, y Aguilar-Manjarrez y Nath (1997) aplicaron un procedimiento similar en el caso de África.
- Parece que hay muchas otras oportunidades para integrar un SIG con modelos bioeconómicos de acuicultura marina que han sido ya desarrollados. Por ejemplo, Kite-Powell *et al.* (2003) desarrollaron un modelo bioeconómico para el cultivo de peces de aleta en mar abierto en la región de Nueva Inglaterra en los Estados Unidos de América, el cual han aplicado al salmón, bacalao y platija. El modelo optimiza los calendarios de siembra o estabulación y cosecha, los flujos financieros del proyecto y permite sitios de crecimiento alternativo. Entre los parámetros espaciales (de ubicación) que figuran en su modelo se encuentran la temperatura del agua relacionada con el crecimiento, la profundidad relacionada con el anclaje y los costos de instalación de jaulas, perfil de olas y distancia de la costa. Debido a que su modelo calcula el rendimiento financiero de la operación mensualmente durante un periodo de 15 años, hay una gran oportunidad para hacer el modelo más dinámico temporal y espacialmente ubicando su actuación en un SIG utilizando temperaturas superficiales del mar históricas mensuales y/o datos drifter.. Los autores consideraron que la distancia viajada y los costos de operación de navío y personal eran costos sustanciales para la operación general. Así, concluyen que tiene sentido económicamente ubicar sitios de crecimiento tan cercanos a la costa como sea posible, tomando en cuenta otras restricciones. Se podría aplicar un SIG también a este problema, no sólo al ubicar los sitios que serían más convenientes en cuanto a distancia, sino también estimando el riesgo en términos de variabilidad colocando condiciones de mar y climáticas que afecten la operación de los barcos y su actuación de manera similar a la variabilidad espacial en el crecimiento, como se menciona arriba.
- Se podrían aplicar los SIG de maneras similares a la economía del cultivo de moluscos, pero los análisis tienen requerimientos distintos. Langan y Forbes (2001) describen el diseño, operación y economía del cultivo de mejillón en líneas flotantes sumergidas en el mar abierto. Indican que la calidad y cantidad del alimento son los factores más importantes que afectan el tiempo de crecimiento. Por lo tanto las siguientes consideraciones resultarían importantes: identificar las áreas que tienen niveles consistentemente altos de clorofila-a, baja turbiedad y una concentración relativamente alta de oxígeno disuelto en relación a limitar el tiempo de viaje de los barcos. Kite-Powell, Oakland y Jin (2003) estudiaron la economía del crecimiento en mar abierto de escalopas marinas (*Plagopecten magellanicus*) y del mejillón azul. El crecimiento de la primera especie dependería de la confiabilidad de la captura

de juveniles, agregando así un criterio para la selección de sitio, el cuál consistiría en ubicar áreas con niveles adecuados de reclutamiento de juveniles de escalopa y con suficientes barcos y personal disponibles para atender la operación de cultivo. Hoagland, Kite-Powll y Lin (2003) desarrollaron un plan de negocios para el cultivo en mar abierto de mejillón en la zona de Nueva Inglaterra, los Estados Unidos de América. Estimaron que los costos de operación de navío, incluyendo personal, sería de \$1 000/día durante 90 días/ años en el mar. Una vez que la operación estuviera bien establecida, estos costos representarían entre 21 y 23% del costo total de la operación. Por lo tanto, la ubicación de un sitio que minimice el tiempo de “traslado” del navío, junto las demás necesidades mencionadas, es importante para el plan de negocios y la sustentabilidad de la operación.

Estimando el potencial de la acuicultura en mar abierto

- El estudio del potencial de la acuicultura en mar abierto en la ZEE de Estados Unidos (Sección 4) ilustra claramente que es posible crear un SIG sencillo para tener una primera aproximación al potencial acuícola en mar abierto en cualquier país que lo desee. La base para estos estudios es contar con datos espaciales suficientes y de cobertura global, disponibles gratuitamente para su descarga en Internet. Deberán identificarse, compilarse y sintetizarse los datos de atributo de acuerdo con los sistemas de cultivo y con las especies adecuadas a las aguas marinas del país.

Disponibilidad de datos

- Existen dos problemas de datos que limitan el uso de SIG en la acuicultura marina, uno de los cuales es el acceso a los datos espaciales y el otro es la disponibilidad de datos de atributos. Respecto a los datos espaciales, existen aún varias lagunas de datos que pueden clasificarse en tres categorías: (1) lagunas en cobertura geográfica y tiempo, (2) resolución, y (3) lagunas en los tipos de datos. La mayor parte del tiempo invertido en un estudio de SIG para la acuicultura marina puede dedicarse a identificar, recolectar, organizar y compilar los datos de atributo que definen los requisitos ambientales para el cultivo de organismos y para los límites óptimos y funcionamiento de las estructuras de cultivo.

Modelos de datos y toma de decisiones en la acuicultura marina

- Las mejoras clave en las herramientas de apoyo a las decisiones (HAD) en la acuicultura marina incluyen: un mayor uso de datos socioeconómicos y el desarrollo de herramientas a medida y/o el uso de HAD utilizadas/creadas en otros sectores para tratar mejor los problemas específicos de decisiones en la acuicultura marina. Dados los contrastes entre las herramientas de HADT utilizadas en las aplicaciones de SIG descritas en el presente documento y las utilizadas en los análisis de AMP, se cree que una mejor comunicación entre expertos de diversos sectores mejorarían las HAD para la acuicultura marina. También se tiene la impresión de que se requieren más expertos en acuicultura marina con más experiencia en ECM para beneficiarse de las herramientas existentes y/o para crear nuevas herramientas.

Consideración final y recomendaciones

- El potencial de las herramientas espaciales puede lograrse a través de enfoques cooperativos y inter-disciplinarios que enfatizan la resolución de temas comunes y creando equipos con experiencia en cada una de las ramificaciones de los temas.
- Desde el punto de vista de la organización e implementación de los SIG, queda

claro que la pesca marina y la acuicultura marina comparten necesidades comunes en cuanto a los datos ambientales y económicos, y que muchas de las especies se cultivan y se pescan. Además, los procedimientos analíticos espaciales son los mismos o similares en la acuicultura y pesca marina. Así, parecería que hay mucho por ganar en la cooperación entre, o la integración de, actividades de SIG en la acuicultura y pesca a nivel de gobierno nacional y entre instituciones académicas.

- Desde el punto de vista de datos de atributo para crear umbrales, existe una necesidad para (1) sintetizar información sobre los requisitos biofísicos de las especies actualmente cultivadas o con potencial para la acuicultura marina, (2) requisitos ambientales físicos de estructuras de cultivo y (3) modelos bioeconómicos.

8. Glosario

Sistemas de Información Geográfica Sistema computacional para capturar, almacenar, revisar, integrar, manipular, analizar y mostrar datos relacionados con las posiciones en la superficie de la Tierra. Típicamente, un Sistema de Información Geográfica (o Sistema de Información Espacial) se utiliza para manejar mapas de uno u otro tipo. Estos pueden estar representados por diversas capas que contienen datos sobre una característica específica. Cada característica se relaciona con una posición en la imagen geográfica de un mapa. En la acuicultura, se ha utilizado para evaluar la apropiabilidad de los sectores geográficos y también para investigar la apropiabilidad de una especie en un área.

ENVISAT (Environment Satellite, Satélite Ambiental). El satélite ENVISAT es un satélite de observación de la Tierra construido por la Agencia Espacial Europea. Se lanzó el 1° de marzo de 2002 a bordo de un Ariane 5 a una órbita polar sincronizada con el sol a una altura de 790 km (+/- 10 km). Orbita la Tierra en cerca de 101 minutos con ciclo de repetición de 35 días.

Clasificación difusa (fuzzy) Cualquier método de clasificación de datos que permita que los atributos se apliquen a objetos por valores de pertenencia, de manera que se pueda considerar un objeto como miembro parcial de una clase. Generalmente se define la pertenencia de clase en una escala continua de cero a uno, donde cero es la no pertenencia y uno es la pertenencia completa. También puede aplicarse esta clasificación a los objetos geográficos en sí mismos, de manera que el límite de un objeto sea un área graduada y no una línea exacta. En un SIG, se ha utilizado la clasificación fuzzy en el análisis del suelo, vegetación y otros fenómenos que tienden a cambiar gradualmente en su composición física y cuyos atributos suelen ser parcialmente de naturaleza cualitativa.

Base de datos geográfica Una colección de conjuntos de datos geográficos utilizados por ArcSIG. Hay varios tipos de conjuntos de datos geográficos, incluyendo clases de características, tablas de atributos, conjuntos de datos raster, conjuntos de datos de red, topologías y varios otros.

Lenguaje de Markup Keyhole Gramática y formato de archivo XML para el modelado y almacenaje de características geográficas tales como puntos, líneas, imágenes, polígonos y modelos para mostrar en Google Earth. Google Earth procesa un archivo en KML de manera similar a la que utilizan los buscadores de Internet para procesar archivos en HTML y XML. Como HTML, KML tiene una estructura basada en etiquetas con nombres y atributos para fines específicos de presentación. Así, Google Earth funciona como buscador de archivos KML.

Landsat Los satélites estadounidenses Landsat son la primera serie de satélites de Observación de la Tierra que proveen una cobertura global y repetitiva de la superficie del planeta. Los sensores a bordo de estos satélites operan en el espectro visible hasta longitudes de onda infrarrojas medias, y en las infrarrojas térmicas. El primer satélite de la misión, el ERTS-1 (posteriormente nombrado Landsat-1) fue lanzado en 1972. Actualmente, la misión Landsat-7 contiene un sensor de Mapeo Temático Mejorado; de sus nueve canales, siete obtienen datos en el espectro visible hasta el infrarrojo medio, en una resolución de 30 m. Se puede obtener más información sobre la misión

Landsat-7 en las páginas Web del USGS (<http://landsat7.usgs.gov/index.php>) y en las páginas Web de la NASA (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>).

Mapas Representaciones gráficas de las características físicas (naturales, artificiales o ambas) de una parte o la totalidad de la superficie terrestre, por medio de signos y símbolos o imágenes fotográficas, en una escala establecida, sobre una proyección especificada y con los medios de orientación indicada.

Acuicultura marina Cultivo, gestión y cosecha de organismos marinos en su hábitat natural o en unidades de crianza especialmente construidas, por ejemplo, estanques, jaulas, corrales, encierros o tanques. Para fines de las estadísticas de la FAO, la maricultura se refiere al cultivo del producto final en agua de mar, aun cuando las primeras etapas del ciclo de vida de los organismos acuáticos en cuestión puedan cultivarse en agua dulce o salobre.

MCE es una herramienta de apoyo a las decisiones para la Evaluación de Criterios Múltiples (Multi-Criteria Evaluation). Una decisión es una elección entre alternativas (tales como acciones, asignaciones de tierra, etc.). La base de una decisión se conoce como criterio. En una Evaluación de Criterios Múltiples, se hace un intento por combinar un conjunto de criterios para lograr una base compuesta y única para la decisión, de acuerdo con un objetivo específico. Por ejemplo, podría necesitarse una decisión sobre las áreas más adecuadas para el desarrollo industrial. Los criterios podrían incluir la proximidad a las vías de comunicación, pendiente del terreno, exclusión de tierras reservadas, y así sucesivamente. A través de una Evaluación de Criterios Múltiples, estas imágenes de criterios que representan la apropiabilidad pueden combinarse para formar un solo mapa con base en el cual se tomará la decisión final.

MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer - Espectrómetro de Imágenes de Resolución Media). MERIS es un espectrómetro programable de resolución espectral media que opera en el rango espectral de reflexión solar. Se pueden seleccionar quince bandas espectrales por comandos desde tierra, cada una de las cuales tiene un ancho programable y una ubicación programable en el rango espectral de 390 nm a los 1 040 nm. El instrumento escanea la superficie del planeta mediante el llamado método de “barrido por empuje” (push-broom). Matrices lineales CCD proveen una muestra espacial en dirección transversal a la trayectoria, mientras que el movimiento del satélite provee el escaneo a lo largo de la trayectoria. El MERIS está diseñado para poder acopiar datos sobre la Tierra cuando las condiciones de iluminación lo permitan. El ángulo de vista del instrumento es de 68.5° en derredor de nadir, cubriendo un barrido de 1 150km. Esta vista de campo ancho es compartida por cinco módulos ópticos idénticos dispuesto en forma de abanico.

Metadatos Información que describe el contenido, cualidad, condición, origen y otras características de los datos u otras trozos de información. Los meta datos para datos espaciales pueden describir y documentar su tópico; cómo, cuándo, dónde y quién recolectó los datos; información de disponibilidad y distribución; su proyección, escala, resolución y precisión; y su confiabilidad en relación a algún estándar. Los meta datos consisten en propiedades y documentación. Las propiedades se derivan de las fuentes de los datos (por ejemplo, el sistema y proyección de coordenadas de los datos), mientras que una persona debe ingresar la documentación (por ejemplo, palabras clave utilizadas para describir los datos).

Píxeles (Elementos de imagen) Celdas de una matriz de imagen. La superficie terrestre que corresponde al pixel se determina por el campo instantáneo de visión

(IFOV, por sus siglas en inglés) del sistema sensor, por ejemplo, el ángulo fijo que se forma desde el detector al área en la superficie que mide en cualquier instante. Los valores digitales de los píxeles son las medidas del flujo radiante de energía electromagnética emitida o reflejada por la imagen de la superficie terrestre en cada canal del sensor.

Proyección Método por el cual la superficie curva de la Tierra se muestra sobre una superficie plana. Esto generalmente requiere una transformación matemática sistemática de la retícula terrestre de líneas de longitud y latitud sobre un plano. Algunas proyecciones pueden ser visualizadas como un globo transparente con un foco en el centro (aunque no todas las proyecciones emanan del centro del globo) que ilumina las líneas de latitud y longitud en una hoja de papel. En general, el papel es plano y se coloca tangencialmente al globo (una proyección plana o azimutal) o se coloca en un cono o cilindro sobre el globo (proyecciones cónicas o cilíndricas). Cada proyección de un mapa distorsiona la distancia, área, forma, dirección o alguna de sus combinaciones.

Sensores remotos La recolección y análisis de los datos del área u organismo de estudio que se encuentran físicamente alejados del equipo sensor, por ejemplo, instrumentos, aeronave o satélite para la detección subsuperficial del agua.

SAR (Synthetic Aperture Radar, Radar de Apertura Sintética) Un radar de imagen es un instrumento activo que transmite pulsaciones de microondas hacia la superficie de la Tierra y mide la magnitud de la señal que le regresa. Se combinan las señales de regreso desde diferentes partes de la superficie terrestre para formar una imagen. Un Radar de Apertura Sintética es un tipo especial de radar de imagen. Es un sistema complejo que mide tanto la amplitud como la fase de las señales de regreso; sus análisis explotan el efecto Doppler creado por el movimiento de la nave espacial respecto a la superficie fotografiada para obtener una alta resolución. Puesto que la fuente de la radiación electromagnética utilizada para sentir la superficie terrestre es el mismo sistema, puede operar durante el día o la noche. La transmitancia atmosférica en el intervalo de microondas utilizado por los sistemas de sensores remotos SAR (de 2 a 30 GHz) es superior al 90%, también en presencia de hielo y gotas de agua (excepto durante las tormentas tropicales); así, el SAR puede adquirir datos bajo todas las condiciones atmosféricas.

Escala La proporción entre una distancia o área sobre un mapa y la distancia o área correspondiente en el terreno.

Resolución El área de la superficie terrestre correspondiente a un píxel en una imagen satelital.

Glosario compilado de las siguientes fuentes:

Anonymous. 1998. AQUALEX. Multilingual glossary of aquaculture terms/ Glossaire multilingue relatif aux termes utilisés en aquaculture. CD ROM, John Wiley & Sons Ltd. & Praxis Publ., UK.

Association for Geographic Information (AGI) SIG Dictionary (http://www.geog.ed.ac.uk/agidict/wel_come.HTML)

Barnabé, G. (ed.) 1990 Aquaculture. Chichester, UK, Ellis Horwood. Vol.1, 528p. Vol.2, 284p. Transl. by L.M. Laird.

Center for Spacially Integrated Social Science (CSISS):

<http://www.csiss.org/cookbook/glossary.php>

Choudury, K. and Jansen, L.J.M. (UNESCO/WMO) 1999. Terminology for integrate resources planning and Management. Rome, FAO. 69p.

Chrisman, N. Glossary for Exploring SIG, by: <http://www.wiley.com/college/chrisman/glossary.html>

Earth Sciences Sector of Natural Resources Canada. Canada Center for Remote Sensing (CCRS). Glossary of remote sensing terms (http://ccrs.nrcan.gc.ca/glossary/index_e.php).

ESRI. 2001. The ESRI Press dictionary of SIG terminology. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, California, USA (available at: http://www.esri.com/library/glossary/a_d.html).

FAO 2006. Glossary of Aquaculture. <http://www.fao.org/fi/glossary/aquaculture/>

Hoehn, P. and Lynette, M. 2003 World Fisheries and Aquaculture Atlas. CD-ROM. Rome, FAO, 2nd ed.

Perry-Castañeda Library Map Collection. Glossary of Cartographic Terms online at <http://www.lib.utexas.edu/maps/glossary/html>. The University of Texas.

Voser, S.A. Glossary of glossaries (available at http://www.geocities.com/CapeCanaveral/1224/terms/terms_txt.html)

Referencias

- Aguilar-Manjarrez, J.** 1992. Construction of a GIS for Tabasco State Mexico. Establishment of technical and social decision models for aquaculture development. Institute of Aquaculture. University of Stirling, UK. 125 pp. (M.Sc.Thesis).
- Aguilar-Manjarrez, J.** 1996. Development and evaluation of GIS-based models for planning and management of coastal aquaculture: a case study in Sinaloa, Mexico. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK. 373 pp. (Ph. D.Thesis).
- Aguilar-Manjarrez, J. & Nath, S.S.** 1998. *A strategic reassessment of fish farming potential in Africa*. CIFA Technical Paper. No. 32. FAO, Rome. 170 pp. (also available at <http://www.fao.org/docrep/W8522e/8522E00.htm>).
- AquaGIS.** 2006. Newfoundland and Labrador Aquaculture Geographic Information System. Department of Fisheries and Aquaculture, Newfoundland and Labrador (available at www.aquagis.com).
- Arnold, W.S., Norris, H.A. & Berrigan, M.E.** 1996. Lease site considerations for hard clam aquaculture in Florida. *Journal of Shellfish Research* 15:478-318.
- Arnold, W.S. & Norris, H.A.** 1998. Integrated resource management using SIG: Shellfish aquaculture in Florida. *Journal of Shellfish Research* 17:318.
- Arnold, W.S., Kaiser, J.B. & Holt, G.J.** 2002. Spawning of Cobia (*Rachycentron canadum*) in captivity. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33(2):205-208.
- Arnold, W.S., White, M.W., Norris, H.A. & Berrigan, M.E.** 2000. Hard clam (*Mercenaria spp.*) aquaculture in Florida, USA: geographic information system applications to lease site selection. *Aquacultural Engineering*. 23(1-3):203-231.
- Auckland Regional Council.** 2002. Mapping constraints to future marine farming in the Auckland and Waikato Regions – Stage One. 96 pp.
- Auckland Regional Council.** (no year). Mapping Potential Aquaculture Management Areas in the Auckland Region – Stage 2. (available at http://www.arc.govt.nz/arc/library/b86166_2.pdf).
- Bacher, C., Grant, J., Hawkins, A.S.J., Fang, J., Zhu, M. & Besnard, M.** 2003. Modelling the effect of food depletion on scallop growth in Sungo Bay (China). *Aquatic Living Resources*, 16(1): 10-24.
- Basurco, B. & Sarologia, M.** 2002. Seafarming today and tomorrow. European Aquaculture Society. Special Publication. No. 32. 562 pp.
- Belton, V. & Stewart, T.J.** 2002. Multi Criteria Decision Analysis and Integrative Approaches, Kluwer Academic Publishers, New York.
- Beveridge, M.** 2004. *Cage Aquaculture*. Third Edition. Blackwell Publishing. London. 376 pp.

- Booth, A.J.** 2004. Spatial statistics and aquatic Geographic Information Systems. In Nishida, T., Kailola, P. and Hollingworth, C. eds. SIG/Spatial analyses in fishery and aquatic sciences (Vol 2.) Proceedings of the Second International Symposium on SIG/Spatial analyses in fishery and aquatic sciences. Pp. 344. Fishery-Aquatic SIG Research Group. Kawagoe, Saitama, Japan. 733 pp.
- Booth, A.J. & Wood, B.** 2004. Geographic Information Systems application in offshore marine fisheries. In Fisher, W.L. and Rahel, F.J. eds. Geographic information systems in fisheries. Pp. 209-236. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA. 275 pp.
- Breman, J.** ed. 2002. Marine geography. SIG for the oceans and seas. ESRI Press. Redlands, California, USA. 204 pp.
- Bremen, J., Wright, D. & Halpin, P.N.** 2002. The inception of the ArcSIG marine data model. In Breman, J. ed. Marine geography. SIG for the oceans and seas. Pp 3-10. ESRI Press. Redlands, California, USA. 204 pp.
- Bridger, C.J. & Costa-Pierce, B.A.** eds. 2003. Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. 351 pp.
- Bridger, C.J., Costa-Pierce, B.A., Goudey, C.A., Strickney, R.R. & Allen, J.D.** 2003. Offshore aquaculture development in the Gulf of Mexico: Site selection, candidate species, and logistic alleviation. In pages 273-283 C.J. Bridger and Costa-Pierce, B.A., eds. Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.
- Buitrago, J., Rada, M., Hernández, H. & Buitrago, E.** 2005. A Single-Use Site Selection Technique, Using SIG, for Aquaculture Planning: Choosing Locations for Mangrove Oyster Raft Culture in Margarita Island, Venezuela. *Environmental Management* 35(5): 544-556.
- Burrough, P.A.** 1986. Principles of Geographic Information Systems, 1st ed. Oxford University Press, New York. 336 pp.
- Butler, M.J.A., LeBlanc, C., Belbin, J.A. & MacNeill, J.L.** 1987. *Marine resource mapping: an introductory manual*. FAO Fisheries Technical Paper No. 274. Rome, FAO. 256 pp.
- Butler, M.J.A., Mouchot, M.-C., Barale, V. & LeBlanc, C.** 1988. *The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual*. FAO Fisheries Technical Paper No. 295. Rome, FAO.
- Carswell, B., Cheesman, S. & Anderson, J.** 2006. The use of spatial analysis for environmental assessment of shellfish aquaculture in Baynes Sound, Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Aquaculture*, 253(1-4): 408-414.
- Center for Coastal Resources Management.** 1999. Shallow water resource use conflicts: Clam aquaculture and submerged aquatic vegetation. Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point, Virginia. 30 pp.
- Chang, B., Page, F.H. & Hill, W.H.** 2005. Preliminary analysis of coastal marine resources use and the development of open ocean aquaculture in the Bay of Fundy. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2585. 36 pp.

- Cicin-Sain, B., Knecht, R.W., Rehault, R., Bunsick, S.M., DeVoe, R., Eichenberg, T., Ewart, J. & Halvorson, H. 2001. Development of a Policy Framework for Offshore Marine Aquaculture in the 3-200 Mile U.S. Ocean Zone. Center for Marine Policy, University of Delaware. 167 pp.
- CINEMAR. 2005. News Release. New Hampshire Fishermen Are Mussel Bound. (available at http://ooa.unh.edu/news/1_2005/newsMussels.htm).
- Cordell, E.V. & Nolte, D.A. 1998. Feasibility of using remote sensing to identify the aquaculture potential of coastal waters. Recon Technologies, Inc. Bend, Oregon, USA.
- Corner, R.A., Brooker, A.J., Telfer, T.C. & Ross, L.G. 2006. A fully integrated SIG-based model of particulate waste distribution from marine fish-cage sites. *Aquaculture* 258: 299-311. (also available at http://www.aqua.stir.ac.uk/SIGAP/pdfs/Corner_waste.pdf).
- De Graaf, G., Marttin, F., Aguilar-Manjarrez, J. & Jenness, J. 2003. *Geographic information systems in fisheries management and planning. Technical manual*. FAO Fisheries Technical Paper No. 449. FAO, Rome. 162pp. (also available at <http://www.fao.org/docrep/006/y4816e/y4816e00.htm#Contents>).
- DeMers, M.N. 2003. Fundamentals of Geographic Information Systems. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY, USA. 636 pp.
- Dolmer, P. & Geitner, K. 2004. Integrated Coastal Zone Management of cultures and fishery of mussels in Limfjorden, Denmark. ICES C.M. 2004/V:07. 9 pp.
- Dooley J.F. 2005. An Inventory and Comparison of Globally Consistent Geospatial Databases and Libraries. *Environment and Natural Resources Series* No.19 - FAO, Rome. 200 pp. (also available at <http://www.fao.org/docrep/008/a0118e/a0118e00.htm#Contents>).
- Durand, H., Guillaumont, B., Loarer, R., Loubersac, L., Prou, J. & Heral, M. 1994a. An example of SIG potentiality for coastal zone management: preselection of submerged oyster culture areas near Marennes Oléron (France). EARSEL Workshop on Remote Sensing and SIG for Coastal Zone Management. Delft, The Netherlands.
- Durand, H., Guillaumont, B. & Labbe, S. 1994b. Maquette d'un SIG littoral en vue de la recherche de sites ostréicoles en eau profonde. Gutlar/IFREMER Groupe Sillage. Brest, France. (pages not numbered).
- El Gayar, O.F. & Leung, P.S. 2006. A multiple-criteria decision making framework for regional aquaculture development. *European Journal of Operational Research* Vol. 133, pp 462-482.
- Environment Bay of Plenty. 2006. Aquaculture Managment Area Project. (available at <http://www.ebop.govt.nz/Coast/AMA-project.asp>).
- Fabbri, K.P. 2006. A strategic decision support framework for integrated coastal zone management. *Int. J. Environmental Technology and Management*, Vol. 6, Nos. 1/2, pp 206-217.
- FAO. 1995. Code of conduct of responsible fisheries. FAO, Rome. (available at <http://www.fao.org/DOCREP/005/v9878e/v9878e00.htm#PRE>).
- FAO. 1997. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. Aquaculture Development No. 5. Rome, FAO. 40 pp.

- FAO. 2006a. FISHSTAT PLUS [online]. Universal software for fishery statistical time series [Version 2.3]. Release date: March 2006.
(available at <http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp>).
- FAO. 2006b. Glossary of Aquaculture. Rome, FAO.
(available at <http://www.fao.org/fi/glossary/aquaculture/>).
- Field, D. 2001. Practical aquaculture SIG. INFOFISH International 5: 27-30.
- Fisher, W.L. (in press). Recent trends in fisheries geographic information systems. In Nishida, T., Kailola, P. and Holliingworth, C. eds. Proceedings of the Third International Symposium on SIG/Spatial analyses in fishery and aquatic sciences. Fishery-Aquatic SIG Research Group. Kawagoe, Saitama, Japan.
- Fisher, W.L. & Rahel, F.J. eds. (2004). Geographic information systems in fisheries. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA. 275 pp.
- Freddi, A. & Aguilar-Manjarrez, J. 2005. TCP/BRA/0065. Small-scale seaweed farming in North East Brazil. FAO Aquaculture Newsletter December 2005 - No. 34. FAO, Rome, pp 34-35
(also available at <http://www.fao.org/docrep/009/a0435e/a0435e00.htm>).
- Geitner, K. 2004. Use of SIG for placement of rainbow trout culture in Denmark. In Nishida, T., Kailola, P. and Holliingworth, C. eds. SIG/Spatial analyses in fishery and aquatic sciences (Vol 2.) Proceedings of the Second International Symposium on SIG/Spatial analyses in fishery and aquatic sciences. pp. 543-558. Fishery-Aquatic SIG Research Group. Kawagoe, Saitama, Japan. 733 pp.
- GEODAS. 2006. Grid Translator. National Geophysical Data Center. NOAA Satellite and Information Service.
(available at http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html).
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environment Protection (GESAMP). 2001. Planning and management for sustainable coastal aquaculture development. GESAMP Reports and Studies. 68. 45 pp.
(also available at <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y1818e/y1818e00.pdf>).
- Goudey, C. 1998. Model Tests and Operational Optimization of a Self-propelled Open-ocean Fish Farm. In Biran, A. Ed. Proceedings Offshore Technologies for Aquaculture. Haifa, Israel, 13-16 Oct. 1998.
- Goulletquer, P., Soletchnik, P., Le Moine, O., Razet, D., Geairon, P., Faury, N. & Taillade, S. 1998. Summer mortality of the Pacific cupped oyster *Crassostrea gigas* in the Bay of Marennes-Oleron (France). International Council for the Exploration of the Sea Copenhagen (Denmark) Theme Session on Population Biology. ICES, Copenhagen, Denmark. 20 pp.
- Goulletquer, P. & Le Moine, O. 2002. Shellfish farming and Coastal Zone Management (CZM) development in the Marennes-Oléron Bay and Charentais Sounds (Charente Maritime, France): A review of recent developments. *Aquaculture International*, 10(6): 507-525.
- Guneroglu, A., Kose, E., Erüz, C., Basar, E., Erkebay, S. & Karsli, F. 2005. Use Of Geographic Information System (SIG) To Select Fish Cage Farming Sites In Surmene Bay, Black Sea. *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh* 57(2), 2005, 81-89.
- Handisyde, N.L., Ross, L.G., Badjeck, M.-C. & Allison, E.H. 2006. The effects of climate change on world aquaculture. A global perspective. DFID, UK. (available at http://www.aquaculture.stir.ac.uk/SIGAP/pdfs/Climate_full.pdf).

- Hoagland, P., Kite-Powell, H. L. & Lin, D. 2003. Business Planning Handbook For The Ocean Aquaculture Of Blue Mussels. Marine Policy Center Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, USA. 31 pp.
- Hughes Clark, J.E., Wildish, D. & Duxfield, A. 2002. Acoustic imaging of salmonid mariculture sites. CHC 2002 Proceedings. 17 pp.
- Inglis, G.J., Hayden, B.J. & Ross, A.H. 2000. An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture. NIWA Client Report: CHC00/69 Project No. MFE00505. National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd Christchurch New Zealand. 31 pp.
- Island Institute. 1999. The Maine Guide to Mussel Raft Culture. Island Institute, Rockland, Maine, USA. 32 pp.
- Jacquet, J.-M. 1987. Remote sensing evaluation of water quality in the Gulf of Nicoya (Costa Rica). Annex 1. in Kapetsky, J.M. McGregor, L. and Nanne E., H. (1987). *A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development: a FAO-UNDP/GRID cooperative study in Costa Rica*. FAO Fisheries Technical Paper No. 287. Rome, FAO.
- Janssen, R. & van Herwijnen, M. 2006. A toolbox for multiple criteria decision-making. *Int. J. Environmental Technology and Management*, 6 (1/2): 20-39.
- Jefferson, W.H., Michener, W.K., Karinshak, D.A., Anderson, W., & Porter, D.E. 1991. Developing data layers for estuarine resource management. Proceedings of SIG/ LIS '91. Inforum, Atlanta, Georgia. 1: 331-342.
- Johannessen, J.A., Johannessen, O.M. & Haugan, P.M. 1988. Remote sensing and model simulation studies of the Norwegian coastal current during the algal bloom in May 1988. The Nansen Remote Sensing Center. Technical Bulletin No. 16.
- Jordan, S.J., Greenhawk, K.N. & Smith, G. F. 1995. Maryland oyster geographical information system: Management and scientific applications. *Journal of Shellfish Research* 14: 269.
- Jordana, R. 2004. SIG-Pesca. Sistema de Información Geográfica de la Dirección General de Pesca i Afers Marítims. Lecture delivered at the CIHEAM Advanced Course on Offshore Mariculture, Zaragoza (Spain), 17-22 May 2004 (available at <http://www.easonline.org/agenda/en/description.asp?id=264>).
- Kapetsky, J.M. 1989. A geographical information system for aquaculture development in Johor State. FAO Technical Cooperation Programme Project. Land and Water Use Planning for Aquaculture Development. TCP/MAL/6754. Field Document. FAO, Rome.
- Kapetsky, J.M. 2004. Geographic information systems applications in aquaculture. In Fisher, W. L. and Rahel, F.J. eds. *Geographic Information Systems in fisheries*. pp. 13-48. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA. 275 pp.
- Kapetsky, J.M. & Aguilar-Manjarrez, J. 2004. Geographical Information Systems in aquaculture development and management from 1985 to 2002: an assessment. In Nishida, T., Kailola, P. and Hollingworth, C. eds. *SIG/Spatial analyses in fishery and aquatic sciences (Vol 2.) Proceedings of the Second International Symposium on SIG/Spatial analyses in fishery and aquatic sciences*. pp. 393-404. Fishery-Aquatic SIG Research Group. Kawagoe, Saitama, Japan. 733 pp.

- Kapetsky, J.M. & Caddy, J.F.** 1985. Applications of remote sensing to fisheries and aquaculture. FAO Report of the 11th Session of the Advisory Committee on Marine Resources Research, Supplement. FAO, Rome. FAO Fisheries Report, (338) Suppl.:37-48.
- Kapetsky, J.M. McGregor, L. & Nanne E, H.** 1987. *A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development: a FAO-UNDP/ GRID cooperative study in Costa Rica*. FAO Fisheries Technical Paper No. 287. Rome, FAO. 51 pp.
- Kapetsky, J.M. & Nath, S.S.** 1997. A strategic assessment of the potential for freshwater fish farming in Latin America. *COPESCAL Technical Paper*. No. 10. Rome, FAO. 128 pp. (also available at <http://www.fao.org/DOCREP/005/W5268E/W5268E00.HTM>).
- Kite-Powell, H., Hoagland, P., Jin, D. & Murray, K.** 2003. Open ocean grow-out of finfish in New England: A bioeconomic model. In Pages 319-324. C.J. Bridger and Costa-Pierce B.A, (eds.). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*. The World Aquaculture Society. Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Kona Blue Water Farms** 2003. Final Environmental Assessment For An Offshore Open Ocean Fish Farm Project Off Unualoha Point, Kona, Hawaii. Prepared for Land Division, Land and Natural Resources, Hawaii. 110 pp.
- Langan, R. & Horton, F.** 2003. Design, operation and economics of submerged longline mussel culture in the open ocean. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*. 103-3: 11-20.
- Legault, J.A.** 1992. Using a geographic information system to evaluate the effects of shellfish closures on shellfish leases, aquaculture and habitat availability. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 1882E:1-10.
- Leung, P.S.** 2006. Multiple-criteria decision-making (MCDM) applications in fishery management. *Int. J. Environmental Technology and Management*, 6 (1/2): 96110.
- Loubersac, L., Prou, J. , Kerdreux, M. & Le Moine, O.** 1997. Geomatics for the management of oyster culture leases and production. CoastSIG'97. In: D. Green, and G.Massie editors. *Proceedings of the Second International Symposium on SIG and Computer Mapping for Coastal Zone Management*. University of Aberdeen, Scotland. Aug. 29-31, 1997.
- Macias-Rivero, J.C., Castillo y Rey, F. & Zurita, C.A.** 2003. Zonas idóneas para el desarrollo de la acuicultura en el litoral andaluz. Dirección General de Pesca y Acuicultura, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 43 p. y mapas.
- Malczewski, J.** 1999. *SIG and Multicriteria Decision Analysis*, Wiley, New York.
- Malczewski, J.** 2006. Integrating multiple-criteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach. *Int. J. Environmental Technology and Management*, 6 (1/2): 7-19.
- Marine Aquaculture Task Force.** 2007. Sustainable marine aquaculture: Fulfilling the promise; managing the risk. Marine Aquaculture Task Force, Takoma Park, MD, USA. 128 pp. (available at http://www.pewtrusts.com/pdf/Sustainable_Marine_Aquaculture_final_1_07.pdf)

- Marine Policy Center, Woods Hole Oceanographic Institute.** 2003. Improving the Regulatory Framework for Marine Aquaculture Regional Planning and Economic Decision-making. NOAA National Marine Aquaculture Initiative Final Report (available at <http://www.lib.noaa.gov/docaqu/nmaimages2001/finrepwho.htm>).
- Martinez-Cordero, F. & Leung, P.S.** 2004. Multicriteria decision making (MCDM) model for regional sustainable shrimp farming development in northwest Mexico. *Aquaculture Economics and Management*. 8 (3/4): 179-192.
- National Office for Harmful Algal Blooms, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, USA.** 2006. (available at <http://www.whoi.edu/redtide/index.html>).
- Meaden, G. J.** 2004. Challenges of using geographic information systems in aquatic environments. In Fisher, W. L. and Rahel, F.J. eds. *Geographic information systems in fisheries*. pp. 13-48. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA. 275 pp.
- Meaden, G.J. & Do Chi, T.** 1996. *Geographical information systems: applications to marine fisheries*, FAO Fisheries Technical Paper No. 356. Rome, FAO. 335 pp. (also available at <http://www.fao.org/docrep/003/W0615E/W0615E00.HTM>).
- Meaden, G.J. & Kapetsky, J.M.** 1991. *Geographical information systems and remote sensing in inland fisheries and aquaculture*. FAO Fisheries Technical Paper No. 318. Rome, FAO. 262 pp. (also available at <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0446E/T0446E00.HTM>).
- Mooneyhan, W.** 1985. Determining aquaculture development potential via remote sensing and spatial modelling. Applications of remote sensing to aquaculture and inland fisheries. Report of the ninth UN/FAO international training course in cooperation with the Government of Italy. FAO Rome RSC Series 27:217-247.
- Muir, J.,** 2004, Offshore Mariculture System Options. Lecture delivered at the CIHEAM Advanced Course on Offshore Mariculture, Zaragoza (Spain), 1722 May 2004 (available at <http://www.easonline.org/agenda/en/description.asp?id=264>).
- National Geophysical Data Center.** 2006. NOAA Satellite and Information Service (available at <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>).
- National Oceanographic Data Center, NOAA.** 2005. Pathfinder Version 5.0. Sea Surface Temperature Climatologies (available at ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.0_Climatologies/README.txt).
- National Oceanographic Data Center, NOAA.** 2004. Climatologies for the Coral Atlas Project (available at ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/CoralAtlas/Information_on_Climatologies.txt).
- Nath, S. S., Bolte, J. P., Ross, L. G. & Aguilar-Manjarrez, J.** 2000. Applications of Geographical Information Systems (SIG) for spatial decision support in aquaculture. *Aquaculture Engineering* 23:233-278.
- Newell, C.R.** 2001. Sustainable mussel culture: A millennial perspective. Bulletin of the Aquaculture Association of Canada. 101-2:15-21.
- Newell, C.R.** 2003. Shellfish aquaculture and carrying capacity. Report of a Task Force Meeting. Maine Department of Marine Resources. 5pp. (available at <http://www.maine.gov/dmr/aquaculture/aqtaskforce/aqtfwalpole.htm>).

- Nishida, T., Kailola, P. & Holliingworth, C. eds. 2001. Proceedings of the First International Symposium on SIG in Fishery Science. Fishery-Aquatic SIG Research Group. Kawagoe, Saitama, Japan. 486 pp.
- Nishida, T., Kailola, P. & Holliingworth, C. eds. 2004. SIG/Spatial analyses in fishery and aquatic sciences (Vol 2.) Proceedings of the Second International Symposium on SIG/Spatial Analyses in Fishery and Aquatic Sciences. Fishery-Aquatic SIG Research Group. Kawagoe, Saitama, Japan. 733 pp.
- Nishida, T., Kailola, P. & Holliingworth, C. eds. (in press). Proceedings of the Third International Symposium on SIG in Fishery Science. Fishery-Aquatic SIG Research Group. Kawagoe, Saitama, Japan.
- Office of Coast Survey. 2006. Exclusive Economic Zone. NOAA (available at <http://nauticalcharts.noaa.gov/csdl/EEZ.HTM>).
- Pattison, D., dos Reis, D. & Hamilton, S. 2004. An inventory of SIG-Based Decision Support Tools for MPAs. Prepared by the National Marine Protected Areas Center in cooperation with the National Oceanic and Atmospheric Administration Coastal Services Center. 14 pp (available at <http://www.mpa.gov>).
- Pavasovic, S. 2004. SIG-tool for site suitability analysis: Example of marine aquaculture. ECO-IMAGINE Virtual Permanent Conference (European Conferences and forum for Integrated Coastal Management and Geo-Information Research) / GI and SIG for ICM, Seville (Spain). (available at <http://www.gisig.it/eco-imagine/VirtualPConference/siviglia-proceedings/presentations.htm>).
- Pérez, O.M. 2003. SIG-based models for optimisation of marine cage aquaculture in Tenerife, Canary Islands. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK. (Ph.D. Thesis).
- Pérez, O.M., Muir, J.M. & Ross, L.G. 2000. Spatial modelling of aquaculture related development, poverty and needs issues (preliminary study). University Of Stirling. 42 pp. (available at <http://www.aquaculture.stir.ac.uk/SIGAP/gis-group/dfid.php>).
- Pérez, O.M., Ross, L.G., Telfer, T.C. & Beveridge, M.C. 2002. Geographical information systems (SIG) as a simple tool for modelling waste distribution under marine fish cages. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 54:761-768.
- Pérez, O.M., Telfer, T.C. & Ross, L.G. 2003a. On the calculation of wave climate for offshore cage culture site selection: a case study in Tenerife (Canary Islands). *Aquacultural Engineering*, 29: 1-21.
- Pérez, O.M., Telfer, T.C. & Ross, L.G. 2003b. Use of SIG-Based Models for Integrating and Developing Marine Fish Cages within the Tourism Industry in Tenerife (Canary Islands). *Coastal Management*, 31:355-366.
- Pérez, O.M., Telfer, T.C. & Ross, L.G. 2005. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research* 36(10), 946-961.
- Populus, J., Loubersac, L., Prou, J, Kerdreux, M. & Le Moine, O. 1997. Geomatics for the management of oyster culture leases and production. CoastSIG'97. In: D. Green, and Massie, G. eds. Proceedings of the Second International Symposium on SIG and Computer Mapping for Coastal Zone Management. University of Aberdeen, Scotland. Aug. 29-31, 1997.

- Rodriguez-Benito, C., Haag, C. & Alvial, A. 2004. Implementation of new technologies to monitor phytoplankton blooms in the south of Chile. Proceedings of the MERIS User Workshop, Frascati, Italy, 10 – 13 November 2003 (ESA SP549, May 2004).
- Ross, L.G., 1998. The use of Geographical Information Systems in Aquaculture: A Review. Paper presented at I Congreso Nacional de Limnología, Michoacán, México. November 1998.
- Ross, L.G., Mendoza, E.A.Q. & Beveridge, M.C. 1993. The application of geographical information systems to site selection for coastal aquaculture: an example based on salmonid cage culture. *Aquaculture* 112:165-178.
- Ryan, J. 2004. Farming the deep blue. Bord Iasscaigh Mhara and Irish Marine Institute. Ireland. 67 pp.
- Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L. 2006. Fundamentals of the analytic network process — Dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. Publisher Systems Engineering Society of China, co-published with Springer-Verlag GmbH. 13 (2): 129-157.
- Salam, A. Md. 2000. SIG modelling of coastal aquaculture development in Khulna district, Sunderbans, Bangladesh. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK. p400. (Ph.D. Thesis).
- Saxby, S.A. 2002. A review of food availability, sea water characteristics and bivalve growth performance at coastal culture sites in temperate and warm temperate regions of the world. Department of Fisheries, Government of Western Australia. Fisheries Research Report 132. 43 pp.
- Scott, P.C. 2004. Aquaculture development interactions in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. A SIG study. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK. (Ph. D. Thesis).
- Scott, P.C. & Ross, L.G. 1998. O potencial da mitilicultura na Baía de Sepetiba. *Panorama da Aquicultura* 8(49):13-19.
- Scott, P.C., Vianna, L.F. & de C. Mathias, M.A., 2002. Diagnostico da cadeia aquícola para o desenvolvimento da atividade no Estado do Rio de Janeiro. *Panorama da Aquicultura* 12(71):15-25.
- Scottish Executive 2000. Final Report of the Joint Government/Industry Working Group on Infectious Salmon Anaemia (ISA) in Scotland. Scottish Executive, Aberdeen, Scotland. 142 pp.
- Scottish Salmon Producers' Organization. 2005. Code of Good Practice for Scottish Finfish Aquaculture (available at <http://www.scottishsalmon.co.uk/aboutus/codes.asp>).
- Servicio de Pesca y Acuicultura. 2000. Acuicultura marina en la región de Murcia: Identificación de zonas aptas para el cultivo. Dirección General de Ganadería y Pesca, Consejería de Agricultura, Acuicultura y Medio Ambiente, Región de Murcia. Cartagena, España. 35p. + mapas.
- Sylvia, G. & Anderson, J.L. 1993. An economic policy model for net-pen salmon farming. In: Hatch, U., Kinnucn, H. (Eds.) *Aquaculture: Models and Economics*, Westview Press, Boulder, pp. 17-38.

- Simpson, J.J. 1994. Remote sensing in fisheries: A tool for better management in the utilization of a renewable resource. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 743-771.
- Smith, G.F., Bruce, E.B. & Roach, D.G. 2001. Remote acoustic habitat assessment techniques used to characterize the quality and extent of oyster bottom in the Chesapeake Bay. *Marine Geodesy*, 24(3): 171-189.
- Smith, G.F. & Greenhawk, K.N. 1996. Morphological differentiation of the fringing and patch oyster reef types in Chesapeake Bay: A comparative evaluation. *Journal of Shellfish Research* 15: 522.
- Smith, G.F., Greenhawk, K.N. & Homer, M.L. 1997. Chesapeake Bay oyster reef -An examination of resource loss due to sedimentation. *Journal of Shellfish Research* 16:275.
- Smith, G.F., Greenhawk, K.N., Bruce, E.B., Roach, D.G. & Jordan, S.J. 2001. A digital presentation of the Maryland oyster habitat and associated bottom types in the Chesapeake Bay (1974-1983). *Journal of Shellfish Research*, 20(1): 197-206.
- Smith, G.F. & Jordan, S.J. 1993. Utilization of a geographical information system (SIG) for the timely monitoring of oyster population and disease parameters in Maryland's Chesapeake Bay. *Journal of Shellfish Research* 12: 130.
- Smith, G.F., Jordan, S.J. & Greenhawk, K.N. 1994. An oyster management information system: Integrating biological, physical, and geographical dimensions. *Journal of Shellfish Research* 13:284.
- Smith, G.F., Roach, D.G. & Bruce, E.B. 2002. The location, composition, and origin of oyster bars in mesohaline Chesapeake Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56: 391-409.
- Soletchnik, P., Le Moine, O., Faury, N., Razet, D., Geaïron, P., & Goulletquer, P. 1999. Summer mortality of the oyster in the Bay of Marennes-Oleron: Spatial variability of environment and biology using a geographical information system (SIG). *Aquatic Living Resources Ressources Vivantes Aquatique* 12:131-143.
- Soares de Souza, E.F. 2003. FAO Technical Cooperation Programme Project. Small-scale seaweed farming in Northeast Brazil. TCP/BRA/0065. Field Document. FAO, Rome.
- Stickney, R.R., Costa-Pierce, B., Baltz, D.M., Drawbridge, M., Grimes, C., Phillips, S. & Swann, D.L. 2006. Toward sustainable open ocean aquaculture in the United States of America. *Fisheries* 31(12): 607-610.
- Subasinghe, R.P., Bueno, P., Phillips, M.J., Hough, C., McGladdery, S.E. & Arthur, J.E. (eds.) 2000. Aquaculture in the Third Millennium - Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand. 20-25 February 2000. NACA, Bangkok and FAO, Rome. 471pp. (also available at http://www.fao.org/fi/meetings/aq2000/tech_proc/third_mill.asp).
- Taconet, M. & Bensch, A. 2000. Towards the use of Geographic Information Systems as a decision support tool for the management of Mediterranean fisheries. COPEMED. GCP/REM/057/SPA. Informes y Estudios No. 4. (pages not numbered).
- Tiensongrussmee, B., Pontjoprawiro, S. & Mintarjo, K. 1988. Seafarming resources map. Seafarming Development Project, INS/81/008/Manual/7. FAO, Jakarta, Indonesia. 109 pp.

- Travaglia, C. & Appelkamp, C. 1985. Applications of Remote Sensing to Aquaculture and Inland Fisheries. Ninth UN/FAO International Training Course in Cooperation with the Government of Italy. Rome, Italy, 10-28 September 1984. RSC SER., No. 27. Rome, FAO. 301 pp.
- Travaglia, C., Profeti, G., Aguilar-Manjarrez, J. & Lopez, N. A. 2004. *Mapping Coastal Aquaculture and Fisheries Structures by Satellite Imaging Radar: Case Study of the Lingayen Gulf, the Philippines*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 459. Rome, FAO. 45 pp. (also available at <http://www.fao.org/docrep/007/y5319e/y5319e00.htm>).
- Valvanis, V.D. 2002. Geographic Information Systems in Oceanography and Fisheries. Taylor and Francis, London.
- van der Woerd, H.J., Blauw, A., Pasterkamp, R., Tatman, S., Laanem, S. & Peperzak, L. 2005. Integrated spatial and spectral characterization of harmful algal blooms in Dutch coastal waters. Report 05/09. Institute for Environmental Studies, Amsterdam, The Netherlands. 59 pp.
- Vincenzi S., Caramori, G., Rossi, R. & De Leo, G.A. 2006. A SIG-based habitat suitability model for commercial yield estimation of *Tapes philippinarum* in a Mediterranean coastal lagoon (Sacca di Goro, Italy). *Ecological Modelling* 193 (2006) 90–104.
- Vincenzi S., Caramori, G., Rossi, R. & De Leo, G.A. (in press). Estimating clam yield potential in the Sacca di Goro lagoon (Italy) by using a two-part conditional model. *Aquaculture*.
- Vincenzi S., Caramori, G., Rossi, R. & De Leo, G.A. (in prep). Implications of three habitat suitability models for commercial yield estimation of *Tapes philippinarum* in a North Adriatic coastal lagoon (Sacca di Goro, Italy).
- Ueng, Ping-Sheng, Yu, Shyi-Liang, Tzeng, Jiann-Jang, & Ou, Ching-Hsiewn. 2001. The effect of water temperature on growth rate of cobia *Rachycentron canadum* in Penghu, Taiwan. 6th Asian Fisheries Forum Book of Abstracts. 252 pp.
- Wright, D.J., ed. 2002. Undersea with SIG. ESRI Press, Redlands, California, USA. 253 pp.
- Wright, D.J. & Bartlett, D.J., Eds. 2000, Marine and Coastal Geographical Information Systems, Research Monographs in Geographical Information Science, Taylor and Francis, London. 320 pp.
- Young, L., Helsley, C. , Ummoto, K., Merrifield, M., Tasaka, C., Kaiokamale, L., Takahashi, K., Pichaya, V. & Shen, C. 2003. Aquaculture site identification in Hawaii using SIG. *INFOFISH International* (6): 13-16.

El objetivo de este documento es ilustrar las maneras en que los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los sensores remotos y el mapeo pueden impactar en el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina. La perspectiva es global. El enfoque es utilizar ejemplos de aplicaciones que buscan resolver varios de los tópicos importantes de la acuicultura marina.

El fin último es estimular el interés de individuos en los sectores público, industrial y educativo de la acuicultura marina para utilizar estas herramientas de manera más efectiva. Una breve introducción de las herramientas espaciales y su uso en el sector de la pesca marina antecede las aplicaciones ejemplo. Se han seleccionado las aplicaciones más recientes por ser indicadores de los avances tecnológicos, lo que permite que los lectores hagan su propia evaluación de los beneficios y limitaciones de las herramientas en sus propios campos.

Las aplicaciones están organizadas por temas a lo largo de los principales tópicos de la acuicultura marina: cultivo de peces en jaulas, cultivo de moluscos y cultivo de plantas marinas. Se incluye un estudio de caso que ilustra cómo se pueden utilizar los datos disponibles gratuitamente para estimar el potencial de la acuicultura marina. Debido a que el fin último de los SIG es apoyar en la toma de decisiones, se incluye una sección sobre las herramientas de apoyo a las decisiones.

