

APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SENSORES REMOTOS AL MANEJO DE PESQUERÍAS MARINAS Y DESAFÍOS PARA SU DESARROLLO EN COLOMBIA

John J. Selvaraj¹, Maya Rajasekharan² y Ángela I. Guzmán-Alvis¹

1 Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, Departamento de Ingeniería, Carrera 32 vía a Candelaria, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. jjselvaraj@palmira.unal.edu.co (J.J.S.); aiguzmana@palmira.unal.edu.co (A.I.G.)

2 Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. maya.janamma@gmail.com

RESUMEN

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de los Sensores Remotos (SR) se ha incrementado en el manejo de pesquerías marinas en los últimos años. Sin embargo, su aplicación ha sido muy poca en Colombia. Este artículo revisa brevemente el uso de herramientas espaciales en el manejo de las pesquerías marinas, retrospectiva y predictivamente. Se discuten casos de estudio de SR y SIG en la investigación pesquera y los retos a futuro de su potencial aplicación en las medidas de manejo de las pesquerías en Colombia. Recomendamos que, para progresar, la prioridad podría estar en el entrenamiento de los científicos pesqueros en SR y SIG, el incremento de la colaboración entre las instituciones, la colecta de datos estandarizados y el desarrollo de una plataforma común para compartir los datos.

PALABRAS CLAVE: Sistemas de Información Geográfica, Sensores Remotos, Pesquerías marinas.

ABSTRACT

Applications of Geographic Information System and Remote Sensing in marine fisheries management and challenges for its development in Colombia. Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques have been used increasingly for marine fisheries development and management over the last years. However, its applications continue to be scarce in Colombia. This paper briefly reviews use of spatial tools in marine fisheries management, both retrospectively and predictively. Case studies of RS and GIS in fisheries research in Colombia and challenges for future use for management measures are discussed. In order to harness the potential of GIS and RS tools in marine fisheries research and management, priority should be given for training fisheries scientists in RS and GIS, increasing collaboration among institutions, departments, standardize data collection, and development of a common platform for data sharing.

KEY WORDS: Geographic Information System, Remote Sensing, Marine fisheries.



Con costas tanto en el mar Caribe como en el océano Pacífico, las pesquerías marinas en Colombia juegan un importante papel socio-económico suministrando seguridad alimentaria y sustento para los sectores pobres de la comunidad (FAO, 2003, 2005; Espinal *et al.*, 2005; Rico-Mejía y Rueda, 2007; Zapata *et al.*, 2007). Además son fuente de ingresos y generan empleo debido a su influencia sobre el crecimiento de industrias subsidiarias (Béné *et al.*, 2007). Los recursos pesqueros en Colombia se caracterizan por una alta diversidad y poblaciones de especies pequeñas (FAO, 2003). Especies de importancia pesquera en Colombia incluyen al atún, los camarones, las langostas, los pargos y los caracoles (FAO, 2003, 2005; Espinal *et al.*, 2005), debido al alto valor comercial y demanda en el mercado internacional (FAO, 2005; Kapetsky y Aguilar-Manjarrez, 2007).

Entre las décadas de los años cincuentas y los ochentas del siglo pasado, la industria estuvo basada principalmente en el camarón de aguas someras (FAO, 2003). En el Pacífico colombiano la producción de camarón de aguas someras fue máxima entre 1960 y 1980, con desembarcos entre 700 y 1000 toneladas; no obstante desde 1986 hasta 2007 las capturas descendieron sostenidamente a niveles entre 100 y 400 toneladas/año como resultado combinado de un alto esfuerzo en las décadas de los años setentas y ochentas, además de la aparición de una flota artesanal sin control (Rueda *et al.*, 2006). Hoy en día, la pesca de atún, es la actividad comercial más importante y también está entrando en crisis por la reducción en las capturas; lo que hace preguntarse sobre la sostenibilidad de este recurso (Espinal *et al.*, 2005). No obstante, si se asegura la sostenibilidad de la pesca blanca y otros recursos promisorios como el pargo, el calamar gigante y otras especies de profundidad, las perspectivas de desarrollo pesquero en el país serían buenas (FAO, 2003, 2005).

El manejo sostenible requiere un planeamiento adecuado, basado en la regulación y la motivación para evitar desastres ecológicos y las subsecuentes tragedias sociales en las regiones costeras, donde la pesca es el primer ingreso económico y proveedor de alimento (Béné *et al.*, 2007). Un planeamiento ambiental efectivo depende de la precisión y comprensión científica de los datos sobre los que se basan las decisiones de las políticas. También se necesita revisar y afinar las políticas e intervenciones, debido a la alta dinámica natural de las pesquerías marinas (Meaden y Chi, 1996).

Por esto, es esencial una base de datos confiable, en tiempo real, sobre varios aspectos de las pesquerías marinas (variaciones espacio-temporales de los recursos potenciales existentes y de las variables biofísicas). Estas consideraciones deberían tenerse en cuenta para conocer el estrés sobre el ambiente en términos de explotación, la vulnerabilidad humana a los cambios ambientales, la pérdida de los recursos pesqueros, la capacidad social e institucional para superar tales pérdidas

y la capacidad para responder a las demandas globales con esfuerzos colectivos basados en el conocimiento de la agenda de la utilización del recurso.

Un análisis causal revela que los elementos comunes de las prácticas del manejo de las pesquerías marinas son: las variaciones espacio-temporales de las poblaciones pesqueras, el reclutamiento, la imposición de zonas de regulación y la destrucción de los ecosistemas marinos (Valavanis, 2002). Ha sido demostrado en otros tipos de uso de recursos (Burrough, 1992; Goodchild *et al.*, 1992; Store y Kangas, 2001; Malczewski, 2004), donde la variación espacial juega un papel importante, que los Sistemas de Información Geográfica (SIG), combinados con otras herramientas estadísticas y modelos, pueden mejorar el manejo de los recursos. Por lo anterior, se necesita un monitoreo pesquero proactivo para mejorar la colecta, la compilación, el análisis y la síntesis de las series complejas de datos, proporcionado oportunamente y mejorando la utilidad de la información para el manejo ambiental y pesquero. Las tecnologías en Sensores Remotos (SR) y SIG son reconocidas como herramientas poderosas para alcanzar el propósito de sustentar un sistema de decisión sobre el manejo. Este artículo describe las aplicaciones que tienen los SR y SIG en la investigación pesquera y los retos a futuro de su potencial aplicación en las medidas de manejo de las pesquerías en Colombia.

Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos

Los SIG son herramientas informáticas que se usan para la cartografía, el análisis de datos georreferenciados y que contribuyen en la toma de decisiones de manejo. Los SIG integran operaciones comunes de bases de datos, como consultas y análisis estadísticos, con las visualizaciones y análisis geográficos de los beneficios ofrecidos por los mapas. Esto da información sobre la estructura espacio-temporal y las relaciones de las variables, que de otro modo no han sido evidentes en la fuente de datos. Los SIG ayudan a convertir los datos crudos en información significativa para apoyar las decisiones de gestión (Chang, 2007). Por otra parte, los SR obtienen información en pequeña o gran escala de un objeto por el uso de sensores, en tiempo real, que no están en contacto físico con el objeto (Jensen, 2007). Los SR a menudo se usan en combinación con los SIG para integrar y analizar los datos obtenidos de múltiples sensores.

El uso de SIG y SR para la toma de decisiones y para el desarrollo de políticas está creciendo rápidamente en el manejo de los recursos naturales. Sin embargo, el uso de SIG y de las herramientas espaciales ha sido limitado en las pesquerías marinas (Isaak y Hubert, 1997; Fisher y Toepfer, 1998). La lenta aplicación de SIG y SR en las pesquerías marinas se debe parcialmente a las características únicas e inherentes de los recursos pesqueros que hacen difícil su representación y análisis (Meaden y



Chi, 1996). Además están las restricciones socio-económicas e institucionales que ponen barreras y retrasan el empleo de herramientas espaciales en el manejo de las pesquerías marinas (Meaden, 1999). En esta sección, se discute el uso común de los SIG y los SR en el manejo de las pesquerías y se presentan casos de estudio.

Los Sistemas de Información Geográfica y su aplicación en pesquerías

Los SIG aplicados al monitoreo y manejo de poblaciones marinas se han convertido en una herramienta generalizada y su uso se ha incrementado en los últimos años (Wang *et al.*, 2003; Babcock *et al.*, 2005; Morris y Ball, 2006; Riolo, 2006; Carrick y Ostendorf, 2007; Selvaraj *et al.*, 2007). En las pesquerías marinas, los SIG y los SR se han utilizado inicialmente para incrementar la eficiencia de las pesquerías comerciales, mediante el uso de datos satelitales de temperatura y del color del océano para ubicar los cardúmenes de peces pelágicos (Riolo, 2006). El uso explícito de SIG y de las herramientas espaciales asociadas al manejo de pesquerías ha tenido un lento desarrollo, debido a que el manejo se ha basado en una sola especie (Butler *et al.*, 1986; Fisher y Rahel, 2004), sin considerar la variación en espacio y tiempo de la pesca disponible. Hoy en día, sin embargo, la mayoría de los problemas en recursos pesqueros están en el dominio espacial debido a la sobreexplotación de las áreas de pesca y a la pérdida de hábitat. Por consiguiente, la heterogeneidad de los ambientes marinos y los procesos en escalas múltiples que influyen en las poblaciones pesqueras, son factores importantes para la toma de decisiones (Kapetsky y Aguilar-Manjarrez, 2007).

Recientemente, el componente espacial para el manejo de las pesquerías se vuelve prioritario con el “paradigma de cambio” hacia la comunidad y el ecosistema (Babcock *et al.*, 2005). Las investigaciones recientes, las políticas y las legislaciones están enfocándose sobre la comunidad y el ecosistema como un mandato de las ciencias pesqueras y del manejo. En este contexto, existe un incremento en la literatura que da una alta prioridad a los aspectos espaciales de las pesquerías (Booth, 2000). Los ecosistemas y las comunidades muestran un ambiente marino heterogéneo con múltiples escalas. La extensión espacial de una comunidad puede variar ampliamente de una comunidad a otra. Igualmente, la extensión del ecosistema también se considera importante y definida. Además, un ecosistema tiene múltiples procesos e interacciones (entre especies y entre especies y hábitat). En este contexto, los SIG han sido ampliamente aceptados por su fortaleza y capacidad para visualizar y analizar los procesos heterogéneos a través de diversos paisajes pesqueros (Fisher y Rahel, 2004). Los SIG también permiten la integración de diferentes capas de la información, tales como la batimetría, la temperatura superficial del mar (TSM), la captura total y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), lo que es imposible

hacer cuando se usan métodos convencionales. Además, combinando datos de tipos disimilares, tales como límites socio-políticos, tipos de fondo, distribución de peces y manejo de recursos, pueden usarse los SIG para tomar decisiones de manejo (Kapetsky y Aguilar-Manjarrez, 2007).

En el marco de trabajo de los SIG los problemas comunes son: la cartografía de la variación espacio-temporal en la distribución de las poblaciones pesqueras, del hábitat y el modelamiento y determinación de los hábitats esenciales de los peces (Fisher y Toepfer, 1998). Las variaciones espacio temporales en la distribución de las poblaciones, han sido incorporadas por varios investigadores a varias especies marinas como la sardina y la anchoveta (Lluch-Belda *et al.*, 1991), el atún (Lee *et al.*, 1999), el pez sol (Eastwood *et al.*, 2001), los calamares (Sakurai *et al.*, 2000) y las sepias (Valavanis *et al.*, 2002). Además, la distribución óptima del hábitat ha sido modelada por medio de SIG para el camarón tigre de agua dulce (Loneragan *et al.* 1998), la sardina y la anchoveta (Yáñez *et al.*, 1996). Riolo (2006), en la Samoa Americana, usó un análisis espacial de la densidad para identificar esquemas espaciales y temporales de la disponibilidad de las poblaciones (especies de importancia económica y especies amenazadas), el esfuerzo pesquero y su desempeño.

Las herramientas espaciales también ayudan a identificar el Hábitat Esencial de Peces (HEP) (Allee *et al.*, 2000; Rosenberg *et al.*, 2000). Rosenberg *et al.* (2000) crearon un modelo basado en SIG del hábitat esencial de peces, integrando información satelital de la TSM y la clorofila, que contemplaba el monitoreo de la producción pesquera y los datos de la actividad de la flota y batimetría. El modelo desarrollado se aplicó a la dinámica de la población del calamar de aleta corta *Illex coindetti* Verany (Cephalopoda, Omnastrephidae), en el mar Mediterráneo oriental durante la época de pesca de 1997 y 1998 y mostró una distribución espacio-temporal del HEP mensual. En el Mediterráneo oriental, Georgakarakos *et al.* (2002) desarrollaron un modelo para predecir la población efectiva de los calamares, basado en análisis univariados y multivariados de series de tiempo de descriptores ambientales y del hábitat. Comúnmente dentro de los SIG se usan los datos del hábitat bentónico e índices apropiados de abundancia relativa a lo largo de gradientes ambientales para desarrollar los modelos del Índice Apropiado del Hábitat (IAH) (Rubec *et al.*, 1998a, b; Brown *et al.*, 2000).

Los SIG y otros tipos de análisis espaciales han sido usados en conjunto con los modelos de la dinámica de poblaciones, como una herramienta que sustenta las decisiones para el manejo. Valavanis *et al.* (2002, 2004) desarrollaron y aplicaron modelos SIG para el hábitat esencial de cefalópodos en el Mediterraneo oriental. Éstos incluyeron datos oceanográficos y de hábitat, al igual que datos geo-referenciados



de pesquerías. Maury y Gascuel (1999) desarrollaron un modelo de simulación SIG para estudiar el impacto de un Área Marina Protegida (AMP), teniendo en cuenta la migración estacional de los peces. Ault *et al.* (1999) hicieron un modelo espacial multi-stock de la dinámica de poblaciones de peces y camarones que incluía un modelo de circulación hidrodinámica, al igual que información del hábitat. La modelación espacial también ha sido utilizada para examinar preguntas económicas y sociales sobre las pesquerías. Scholz (2003) desarrolló un SIG de localidades pesqueras cruzando las referencias con el puerto de origen para determinar el impacto económico sobre las comunidades pesqueras costeras aledañas cuando se sugiere cerrar un área de pesca.

Más recientemente, el incremento de evidencia sugiere que el conocimiento de los pescadores es fundamental para el manejo de las pesquerías marinas (Maurstad, 2002). Sin embargo, la integración de conocimiento local y científico es, en principio, difícil debido a la diferencia del tipo de datos. En este caso, el SIG es una herramienta poderosa para integrar y visualizar las distribuciones espaciales de los datos científicos y los datos cualitativos del conocimiento local. Por ejemplo, Close y Hall (2006) describieron una metodología para la colección e incorporación del conocimiento local en la planificación y manejo de las pesquerías usando el marco de trabajo del SIG. Esta metodología ha sido aplicada a pesquerías de langostas y caracol pala en las islas Turks y Caicos (Hall y Close, 2007).

Los Sensores Remotos y su aplicación a las pesquerías

La cartografía del océano usando sensores remotos muestra señales nuevas de sus características en grandes y pequeñas escalas. Los sensores remotos se han usado para ubicar las áreas marinas productivas (Solanki *et al.*, 2003), las características del hábitat (Wang *et al.*, 2007), los patrones de migración (Kiyofuji y Saitoh, 2004) y las áreas de actividad pesquera (Rodhouse *et al.*, 2001).

Los datos de Sensores Remotos son usados frecuentemente para predecir las zonas de agregación de peces, midiendo los parámetros que influyen en su población (Butler, *et al.*, 1988). La TSM y el color del océano (clorofila α) obtenidos de los satélites han sido los principales parámetros oceanográficos de tales aplicaciones. Las zonas de agregación de peces, son áreas productivas donde la concentración de clorofila α es alta y la TSM es baja, resultado de procesos oceanográficos como surgencias, giros ciclónicos, frentes y eddies (Agostini y Bakun, 2002). La primera aplicación de teledetección en operaciones pesqueras fue en 1971 en los Estados Unidos (Laurs y Fiedler, 1984). Estas investigaciones tuvieron un gran impacto sobre la eficiencia de las flotas atuneras americanas, reduciendo el tiempo de búsqueda entre un 25 % y 40 %. Desde entonces muchos estudios usan técnicas de

sensores remotos para modelar regiones de incremento de la productividad marina, incluyendo modelamiento de surgencias (Demarcq y Faure, 2000), frentes de TSM (Waluda *et al.*, 2001) y formación de giros ciclónicos (Valavanis *et al.*, 2002).

Como se mencionó anteriormente, con frecuencia se usan los sensores remotos combinados con los SIG para integrar y analizar datos que provienen de sensores múltiples para modelos espacio-temporales de cartografía de zonas productivas de pesca. Santos *et al.* (2001) calcularon un índice mensual de surgencia a lo largo de la costa oeste de Portugal utilizando imágenes de satélite. Mokrin *et al.* (1999) estudiaron la distribución espacial del calamar en el noroeste del mar de Japón. Chávez *et al.* (2003) relacionaron el colapso y la reaparición de las pesquerías de la sardina y la anchoveta en el océano Pacífico con los cambios en las anomalías ambientales inducidas naturalmente por las variaciones de El Niño y la Oscilación del Sur. Finalmente, Valavanis *et al.* (2002) estudiaron un área espacio-temporal de TSM y clorofila α en el este del Mediterráneo para el período 1993-1997 y encontraron que los recursos locales de cefalópodos estaban conectados con una variación ambiental que persistía en los procesos de surgencia y frentes oceánicos. Además, la información de la temperatura también se usa para estudiar las áreas de desove de las especies marinas (Valavanis *et al.*, 2002).

El manejo de las pesquerías marinas no sólo cuenta con la determinación de las zonas productivas y potenciales de pesca, sino también con los datos confiables de las tasas de capturas, el esfuerzo de pesca y con las áreas de actividad pesquera. Sin embargo, tales datos no son confiables en países donde las regulaciones del manejo no se aplican estrictamente. En tales casos para estimar el impacto de la actividad pesquera, una alternativa puede ser medir la extensión del área de actividad pesquera (área pesquera formada por la ubicación y época del año). El uso de imágenes de satélite de la “Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)/Operational Linear System (OLS)” ofrecen una herramienta poderosa e innovadora para determinar la distribución espacial de la flota pesquera detectando las luces de los barcos pesqueros a través del océano del mundo (Cho *et al.*, 1999; Rodhouse *et al.*, 2001; Waluda *et al.*, 2002). Usando imágenes DMSP/OLS, se determinó la ubicación pesquera del saury del Pacífico y del calamar común japonés (Kiyofuji y Saitoh, 2004) y el gran calamar (Waluda *et al.*, 2004; Waluda y Rodhouse, 2005). Esta información permitió hacer un análisis comprensivo del impacto total de la pesca sobre la población.

Aplicación de herramientas espaciales para el estudio de recursos oceánicos en Colombia

En Colombia son escasas las investigaciones sobre la aplicación de SR y SIG para el estudio de recursos oceánicos. Sin embargo, se tienen importantes aplicaciones de metodologías de modelación espacial usando enfoques de análisis geostadístico para la determinación de patrones de distribución de la abundancia de especies, la estimación del tamaño poblacional efectivo, la relación entre la abundancia de especies y descriptores del hábitat y la estimación de áreas rentables de pesca (Rueda, 2001; Páramo y Roa, 2002; Páramo *et al.*, 2003; Rueda y Defeo, 2003a, b). Entre las pocas aplicaciones de sensores remotos se tiene que Caicedo y Gómez (2004) evaluaron el color del océano en el Caribe colombiano usando imágenes de sensores remotos del SeaWiFS y SeaDAS para calcular la productividad primaria, limitando su estudio sólo a identificar los lugares con alta abundancia de fitoplancton. Andrade y Barton (2000), Melo (2002), Orejarena *et al.* (2004), Malikov y Villegas (2005) y Bastidas-Salamanca *et al.* (2006) analizaron la variación espacio temporal en procesos físicos y biológicos en las áreas marinas de Colombia usando sensores remotos. Los estudios anteriores no usan estas herramientas para analizar la pesquería.

Desafíos para el desarrollo futuro en Colombia

Las aplicaciones de las decisiones espaciales sustentadas en pesquerías marinas siguen siendo muy pocas en Colombia, debido a las siguientes razones: a) un entendimiento limitado de los principios y metodologías asociadas a los SIG aplicados a ciencias marinas, b) hace falta una toma de datos en forma estandarizada, c) falta de entrenamiento, d) falta de colaboración entre las diferentes organizaciones/institutos y e) no hay un compromiso adecuado entre las diferentes organizaciones y el gobierno para asegurar la continuidad de estas decisiones espaciales sustentadas por herramientas. La falta de información sobre recursos marinos, en términos de su ubicación y áreas de apareamiento, ha dado como resultado un conflicto de objetivos de conservación y logro económico. Por lo tanto, se requiere de una aproximación integrada para el manejo sustentable que tenga en cuenta las potenciales aplicaciones de tecnologías de SIG y SR.

En Colombia se pueden usar los SIG, los sensores y sus mapas aplicados en muchos problemas relacionados con el desarrollo y manejo pesquero. Esto es una ventaja para mejorar la sostenibilidad de las pesquerías marinas, particularmente en la identificación de nuevas zonas de pesca. Los mapas de zonas potenciales de pesca pueden usarse tanto para la explotación como para la conservación. La cartografía de hábitats esenciales de pesca es importante para las prioridades en conservación.

La identificación y monitoreo de puntos geográficos productivos usando SIG y SR en aguas oceánicas pueden incrementar el potencial pesquero y permitir la expansión controlada de nuevas oportunidades de pesca. Para alcanzar plenamente estos objetivos en Colombia se necesita mejorar los sistemas para compartir datos, mejorar la colaboración entre las diferentes instituciones involucradas y capacitarlas en las aplicaciones marinas de los SIG y SR.

Un ejemplo de identificación de áreas productivas en el Pacífico colombiano se presenta en la Figura 1. Las imágenes son del sensor MODIS por sus siglas en inglés “Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer”, los datos de TSM y clorofila de las imágenes se analizaron utilizando el software SeaDAS (Sistema de Análisis de Datos SeaWiFS), mientras que el promedio anual se obtuvo de las imágenes compuestas de los 12 meses del año 2007. La concentración de clorofila da información sobre la distribución del fitoplancton y su dinámica espacio-temporal (Figura 1A). La figura 1B muestra gradientes en la TSM que permiten identificar frentes de temperatura, los que son áreas potenciales para agregación de peces pelágicos.

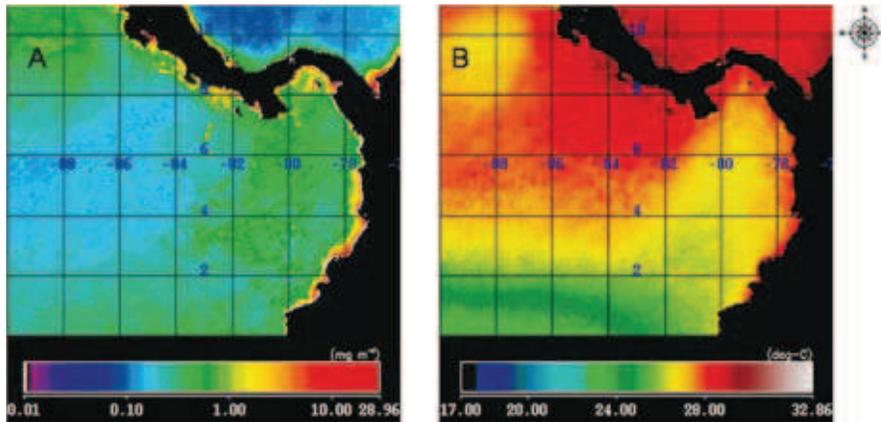


Figura 1. (A) Promedio de clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y (B) Temperatura Superficial del Mar ($^{\circ}\text{C}$) para el año 2007 en el Pacífico colombiano (Datos proyecto MADR-036-2007T-6605-353-07).

Datos compartidos y colaboración

Las bases de datos fidedignas son necesarias en varios aspectos de las pesquerías marinas para un análisis SIG versátil y poderoso. Los datos requeridos para análisis SIG de las pesquerías comprenden: los datos de captura por especies o grupos de especies, la composición de tamaños, el esfuerzo pesquero por áreas y época del año, la captura por unidad de esfuerzo, las características biofísicas del

fondo y del agua para los datos geográficos y climáticos. Los costos asociados con la adquisición de tales datos son exorbitantes e incluyen varias horas de pesca y días hombre cuando se colectan de manera directa. La colecta de esta variedad de datos en el espacio y tiempo por parte de una sola agencia o instituto para un país como Colombia, es muy difícil. En el presente, el manejo pesquero es responsabilidad del Estado a través de la Subgerencia de Pesca y Acuicultura del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), adscrito al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. El Estado formula y ejecuta medidas de regulación pesquera (Ley 30 de 1990 – Estatuto General de la Pesca). Estas medidas regulatorias incluyen el control de las flotas pesqueras (número, tamaño, tipo de botes y vinculación de compañías nacionales). La baja prioridad en la coordinación de actividades individuales entre los entes encargados de la pesca del gobierno y las universidades e institutos de investigación, conlleva a la falta de actualización en aplicaciones de tecnología de los SIG. Es prioritario incrementar la colaboración entre instituciones y desarrollar una plataforma común para compartir datos.

Para el manejo de las capturas marinas, también es imperativo usar el conocimiento de los pescadores, quienes han pasado sus vidas en el mar y están muy familiarizados con los tipos de fondo, temperatura y la abundancia relativa de las especies. Además, la información sobre las áreas pesqueras para cada especie es actualizada diariamente con las actividades pesqueras. Sin embargo, en los métodos corrientes de colecta de datos para sustentar la evaluación pesquera y las decisiones de manejo en Colombia, falta aún el conocimiento tradicional de las comunidades pesqueras. Para la evaluación efectiva de las poblaciones pesqueras, las instituciones y proyectos necesitan actualizar los métodos y herramientas de investigación, dando cabida a las tecnologías de SIG y SR. En efecto, los SIG pueden ser una herramienta potente para integrar el conocimiento científico y tradicional (Isaak y Hubert, 1997).

Como se discutió anteriormente, los SR son una fuente importante de recursos de datos para los SIG. Los tipos de datos que proveen los SR para la investigación pesquera y el manejo incluyen la variación espacio-temporal en las características biofísicas del color del océano y la distribución del esfuerzo pesquero. Sin embargo, en Colombia no se tienen datos oceanográficos relacionados con las pesquerías.

Uno de los retos de cualquier proyecto diseñado para influir en las políticas, es cómo hacer llegar el mensaje para quienes necesitan oírlo. Internet se ha convertido en un medio común para presentar los resultados de investigación en SIG a una amplia audiencia. Los esfuerzos podrían direccionarse hacia el desarrollo de una página en red y un atlas interactivo de datos ambientales. Esto podría ayudar a educar al público sobre los problemas ecológicos de la región, actuar como un recurso para investigadores y otras personas quienes desean diseñar y ejecutar proyectos marinos

relacionados. Un atlas electrónico de datos también representa una solución potencial para reducir la pérdida de información concerniente al manejo de pesquerías.

Capacidad de carga

La capacidad de carga es la clave para el futuro del manejo sostenible de las pesquerías. En Colombia, la disponibilidad de mano de obra entrenada en herramientas espaciales, es uno de los principales problemas con relación al manejo de las pesquerías. Para resolver este problema, las universidades con programas educativos en ciencias marinas y otras instituciones involucradas en la investigación pesquera, deben introducir cursos de SIG y sensores remotos como parte de la formación de los estudiantes de pre y postgrado. En el presente, varios institutos ofrecen entrenamiento pesquero en Colombia, lo que está apuntando al aprendizaje de tecnología pesquera, procesamiento, tecnología de equipos y capacitación de personal. Varias universidades públicas y privadas también ofrecen cursos en ecología y biología marinas. Sin embargo, estos cursos no cubren totalmente las necesidades de los científicos pesqueros para obtener un entrenamiento en las herramientas espaciales.

CONCLUSIÓN

Con el espíritu del manejo y desarrollo sostenible, se necesita mucho esfuerzo para realizar un foro nacional para estandarizar protocolos de muestreo y desarrollo de mecanismos para compartir datos en un contexto espacial. También existe la necesidad de una aproximación más comprensiva para el manejo de las pesquerías, usando la tecnología de SR y análisis en ambientes SIG, para integrar los datos colectados. También es vital coleccionar e integrar datos de diferentes disciplinas. Para progresar, se requiere mayor comunicación y colaboración entre las instituciones nacionales e internacionales para facilitar la integración de datos y la cartografía necesaria, y así sustentar las expectativas científicas y de manejo, junto con el entrenamiento en herramientas espaciales de científicos en pesquerías y manejo de recursos.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, por la financiación de la contrapartida del proyecto “Identificación y evaluación



de nuevas áreas de pesca para grandes pelágicos en el Pacífico colombiano”; al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación del proyecto 036-2007T-6605-353-07 y a los evaluadores del artículo por sus acertadas sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Agostini, V. N. y A. Bakun. 2002. Ocean triads in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). *Fish. Oceanogr.*, 11: 129–142.
- Allee, R. J., M. Dethier, D. Brown, L. Deegan, R. G. Ford, T. F. Hourigan, J. Maragos, C. Schoch, K. Sealey, R. Twilley, M. P. Weinstein y M. Yoklavich. 2000. Marine and estuarine ecosystem and habitat classification. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-43, Silver Spring, EE.UU. 43 p.
- Andrade, C. A. y E. D. Barton. 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.*, 105: 26191-26201.
- Ault, J. S., J. Luo, S. G. Smith, J. E. Serafy, J. D. Wang, R. Humston y G. A. Díaz. 1999. A spatial dynamic multistock production model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 4-25.
- Babcock, E. A., E. K. Pikitch, M. K. McAllister, P. Apostolaki y C. A. Santora. 2005. Perspective on the use of spatialized indicators for ecosystem-based fishery management through spatial zoning. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 469-76.
- Bastidas-Salamanca, M., E. Rodríguez-Rubio y J. Ortiz. 2006. Obtención y validación de clorofila en la cuenca pacífica colombiana a partir de imágenes satelitales. *Bol. Cient. CCCP*, 13: 33-40.
- Béné, C., G. Macfaden y E. H. Allison. 2007. Increasing the contribution of small-scale fisheries to poverty alleviation and food security. *FAO Fisheries Technical Paper*, No 481, Roma. 125 p.
- Booth, A. J. 2000. Incorporating the spatial component of fishery data into stock assessment models. *ICES J. Mar. Sci.*, 57: 858-865.
- Brown, S. K., K. R. Buja, S. H. Jury, M. E. Monaco y A. Banner. 2000. Habitat suitability index models for eight fish and invertebrate species in Casco and Sheepscot Bays, Maine. *North Am. J. Fish. Manage.*, 20: 408–435.
- Burrough, P. A. 1992. Development of intelligent geographic information system. *Int. J. Geograph. Inf. System*, 6 (1): 1-11.
- Butler, M. J. A., C. LeBlanc, J. A. Belbin y J. J. MacNeill. 1986. Marine resource mapping: an introductory manual. *FAO Fisheries Technical Paper*, No. 274, Roma. 256 p.
- Butler, M. J. A., M. C. Mouchot, V. Barale y C. LeBlanc. 1988. Application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual. *FAO Fisheries Technical Paper*, No. 295, Roma. 182p.
- Caicedo, V. O. y A. P. Gómez. 2004. Multispectral tracking of phytoplankton in the Colombian Caribbean. *Gayana*, 68: 450-455.
- Carrick, N. A. y B. Ostendorf. 2007. Development of a spatial Decision Support System (DSS) for the Spencer Gulf penaeid prawn fishery, South Australia. *Environmental Modeling Software*, 22: 137-148.

- Chang, K. 2007 Introduction to Geographic Information Systems. Cuarta Edición. McGraw-Hill, Nueva York. 400 p.
- Chávez, F. P., J. Ryan, S. E. Lluch-Cota y C. M. Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299: 217–221.
- Cho, K., R. Ito, H. Shimoda y T. Sakata. 1999. Fishing fleet lights and surface temperature distribution observed by DMSP/OLS sensor. *Int. J. Remote Sens.*, 20: 3–9.
- Close, C. H. y G. B. Hall. 2006. A GIS-based protocol for the collection and use of local knowledge in fisheries management planning. *J. Environ. Manag.*, 78: 341–352
- Demarcq, H. y V. Faure. 2000. Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST- Application to *Octopus vulgaris* recruitment. *Oceanol. Acta*, 23: 391–408.
- Eastwood, P. D., G. J. Meaden y A. Grioche. 2001. Modelling spatial variations in spawning habitat suitability for the sole *Solea solea* using regression quantiles and GIS procedures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 224: 251–266.
- Espinal, C. F., H. J. Martínez y F. A. González. 2005. La cadena del atún en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991–2005. <http://www.agrocadenas.gov.co>. 20/02/09.
- FAO. 2003. Fishery country profile: the Republic of Colombia. <http://www.fao.org/fi/fcp/en/COL/profile.htm>. 20/02/09.
- FAO. 2005. Examen de la situación de los recursos pesqueros marinos mundiales. FAO Doc. Técn. Pesca, No. 457, Roma. 16 p.
- Fisher, W. L. y F. J. Rahel. 2004. Geographic Information Systems in fisheries. American Fisheries Society, Bethesda, EE. UU. 275 p.
- Fisher, W. L. y C. S. Toepfer. 1998. Recent trends in Geographic Information Systems in education and fisheries research applications at U.S. universities. *Fisheries*, 23: 10–13.
- Georgakarakos, S., J. Haralabus, V. D. Valavanis, C. Arvanitidis y D. Koutsoubas. 2002. Prediction of fishery exploitation stocks of loliginid and ommastrephid squids in Greek waters (Eastern Mediterranean) using uni- and multivariate time series analysis techniques. *Bull. Mar. Sci.*, 71: 269–288.
- Goodchild, M., R. Haining y S. Wise. 1992. Integrating GIS and spatial data analysis: Problems and possibilities. *Int. J. Geogr. Inf. Science*, 6 (5): 407–423.
- Hall, G. B. y C. H. Close. 2007. Local knowledge assessment for a small-scale fishery using Geographic Information Systems. *Fish. Res.*, 83: 11–22.
- Isaak, D. J. y W. A. Hubert. 1997. Integrating new technologies into fisheries science: the application of Geographic Information Systems. *Fisheries*, 22: 6–10.
- Jensen, J. R. 2007, Remote sensing of the environment: An earth resource perspective. Segunda edición. Prentice-Hall, Upper Saddle River, EE. UU. 592 p.
- Kapetsky, J. M. y J. Aguilar-Manjarrez. 2007. Geographic Information Systems, remote sensing and mapping for the development and management of marine aquaculture. FAO Fish. Tech. Paper, No. 458, Roma. 125 p.
- Kiyofuji, H. y S. I. Saitoh. 2004. Use of nighttime visible images to detect Japanese common squid *Todarodes pacific* and pacific saury fishing areas and potential migration routes in the Sea of Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 276: 173–186.



- Laurs, R. M. y P. C. Fiedler. 1984. Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. *Deep Sea Res.*, 31: 1085–1099.
- Lee, P. F., I. C. Chen y W. N. Tseng. 1999. Distribution patterns of three dominant tuna species in the Indian Ocean. *Proc. of the Environmental Systems Research Institute International User's Conference, San Diego, EE. UU.* 564 p.
- Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C. Salinas-Zavala y R. A. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. *CalCOFI Rep.*, 32: 105–111.
- Loneragan, N. R., R. A. Kenyon, D. J. Staples, I. R. Poiner y C. A. Conacher. 1998. The influence of seagrass type on the distribution and abundance of postlarval and juvenile tiger prawns (*Penaeus esculentus* and *P. semisulcatus*) in the western Gulf of Carpentaria, Australia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 228: 175–195.
- Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62 (1): 3-65.
- Malikov, I. y N. Villegas. 2005. Construcción de series de tiempo de temperatura superficial del mar de las zonas homogéneas del océano Pacífico colombiano. *Bol. Cient. CCCP*, 12: 79-93.
- Maurstad, A. 2002. Fishing in murky waters—ethics and politics of research on fisher knowledge. *Mar. Policy*, 26: 159–166.
- Maury, O. y D. S. Gascuel. 1999. “Simulateur halieutique de dynamiques spatiales”, a GIS based numerical model of fisheries. Example application: the study of a marine protected area. *Aquat. Living Resour.*, 12: 77-88.
- Meaden, G. J. 1999. GIS in fisheries science: Foundations for a new millennium. 3-29. En: Nishida, T., P. Kailola y C. E. Hollingsworth (Eds.). *Proc. First International Symposium on GIS in Fishery Science, Seattle, EE. UU.* 486 p.
- Meaden, G. J. y T. Do Chi. 1996. Geographical information systems: applications to marine fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper, No. 356, Roma.* 335 p.
- Melo, F. J. 2002. Seguimiento y análisis de los procesos físicos y biológicos en las áreas marítimas colombianas con uso de sensores remotos localizados en satélites. *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.* 100 p.
- Mokrin, N. M., Y. V. Novikov y Y. I. Zuenko. 1999. Seasonal distribution of the squid (*Todarodes pacificus*) according to water structure in the Japan Sea. 76-83. En: Baxter, B., M. Dorn, S. Hills, G. Kruse y D. Witherell (Eds.). *Proc. 17th Lowell Wakefield Fisheries Symposium: Spatial Processes and Management of Fish Populations, Anchorage, EE.UU.* 730 p.
- Morris, L. y D. Ball. 2006. Habitat suitability modelling of economically important fish species with commercial fisheries data. *ICES. J. Mar. Sci.*, 63: 1590-1603.
- Orejarena, J., J. Domínguez, C. Ricaurte, G. Mayo, C. Andrade, H. Ospina y A. Gutiérrez. 2004. Variaciones de la concentración de la clorofila y su relación con los parámetros físicos medidos en los bancos de Salmedina durante 2003-2004 Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 22: 56-63.
- Páramo, J. y R. Roa. 2002. Acoustic-geostatistical assessment and habitat–abundance relations of small pelagic fish from the Colombian Caribbean. *Fish. Res.*, 1446: 1-11.

- Páramo, J., R. Quiñones, A. Ramírez y R. Wiff. 2003. Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information. *Aquat. Living Resour.*, 16: 239-245.
- Rico-Mejía, F. y M. Rueda. 2007. Evaluación experimental bioeconómica de cambios en la tecnología de captura de camarón con redes de arrastre en aguas someras del Pacífico colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 36: 79-110.
- Riolo, F. 2006. A geographic information system for fisheries management in American Samoa. *Environ. Model. Softw.*, 21: 1025-1041.
- Rodhouse, P. G., C. D. Elvidge y P. N. Trathan. 2001. Remote sensing of the global light-fishing fleet: an analysis of interactions with oceanography, other fisheries and predators. *Adv. Mar. Biol.*, 39: 261-303.
- Rosenberg, A., T. E. Bigford, S. Leathery, R. L. Hill y K. Bickers. 2000. Ecosystem approaches to fishery management through essential fish habitat. *Bull. Mar. Sci.*, 66: 535-543.
- Rubec, P. J., J. D. Christensen, W. S. Arnold, H. Norris, P. Steele y M. E. Monaco. 1998a. GIS and modelling: coupling habitats to Florida fisheries. *J. Shellfish Res.*, 17: 1451-1457.
- Rubec, P. J., M. S. Coyne, R. H. McMichael Jr y M. E. Monaco. 1998b. Spatial methods being developed in Florida to determine essential fish habitat. *Fisheries*, 23: 21-25.
- Rueda, M. 2001. Spatial distribution of fish species in a tropical estuarine lagoon: a geostatistical appraisal. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 222: 217-226.
- Rueda, M. y O. Defeo. 2003a. Spatial structure of fish assemblages in a tropical estuarine lagoon: combining multivariate and geostatistics techniques. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 296 (1): 93-112.
- Rueda, M. y O. Defeo. 2003b. A bioeconomic multispecific analysis of an estuarine small-scale fishery: spatial structure of biovalue. *ICES. J. Mar. Sci.*, 60 (4): 721-732.
- Rueda, M., J. A. Angulo, N. Madrid, F. Rico y A. Girón. 2006. La pesca industrial de arrastre de camarón en aguas someras del Pacífico colombiano: su evolución, problemática y perspectivas hacia una pesca responsable. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR. Santa Marta. 60 p.
- Sakurai, Y., H. Kiyofuji, S. Saitoh, T. Goto y Y. Hiyama. 2000. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J. Mar. Sci.*, 57: 24-30.
- Santos, A. M., M. F. Borges y S. Groom. 2001. Sardine and horse mackerel recruitment and upwelling off Portugal. *ICES J. Mar. Sci.*, 58: 589-596.
- Scholz, A. J. 2003. Groundfish fleet restructuring information and analysis project, Final report and technical documentation. Pacific Marine Conservation Council/Ecotrust, San Francisco. 63 p.
- Selvaraj, J. J., R. S. Biradar y V. S. Somavanshi. 2007. Spatial and temporal patterns of demersal fish distribution in the northwest coast of India: a study using Geographic Information System (GIS). *Indian J. Fish.*, 54 (3): 243-249.
- Solanki, H. U., R. M. Dwivedi, S. R. Nayak, V. S. Somvanshi, D. K. Gulati y S. K. Pattmayak. 2003. Fishery forecast using OCM chlorophyll concentration and AVHRR SST: validation results off Gujarat Coast, India. *Int. J. Remote Sens.*, 24: 3691-3699.
- Store, R. y J. Kangas. 2001. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning*, 55 (2): 79-93.



- Valavanis, V. D. 2002. Geographic Information Systems in oceanography and fisheries. Taylor & Francis, Londres, 240 p.
- Valavanis, V. D., S. Georgakarakos, D. Koutsoubas, C. Arvanitidis y J. Haralabu. 2002. Development of a marine information system for cephalopod fisheries in the Greek Seas (Eastern Mediterranean). Bull. Mar. Sci., 71:867–882.
- Valavanis, V. D., S. Georgakarakos, A. Kapantagakis, A. Palialexis y I. A. Katara. 2004. GIS environmental modelling approach to essential fish habitat designation. Ecol. Model., 178: 417–427.
- Waluda, C. M. y P. G. Rodhouse. 2005. *Dosidicus gigas* fishing grounds in the Eastern Pacific as revealed by satellite imagery of the light-fishing fleet. PMBC Res. Bull., 66: 321–328.
- Waluda, C. M., P. G. Rodhouse, G. P. Podesta, P. N. Trathan y G. J. Pierce. 2001. Surface oceanography of the inferred hatching grounds of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) and influences on recruitment variability. Mar. Biol., 139: 671–679.
- Waluda, C. M., P. N. Trathan, C. D. Elvidge, V. R. Hobson y P. G. Rodhouse. 2002. Throwing light on straddling stocks of *Illex argentinus*: assessing fishing intensity with satellite imagery. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 59: 592–596.
- Waluda, C. M., C. Yamashiro, C. D. Elvidge, V. R. Hobson y P. G. Rodhouse. 2004. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing. Remote. Sens. Environ., 91:129–133.
- Wang, J., G. J. Pierce, P. R. Boyle, V. Denis, J. P. Robin y J. M. Bellido. 2003. Spatial and temporal patterns of cuttlefish (*Sepia officinalis*) abundance and environmental influence - a case study using trawl fishery data in French Atlantic coastal, English Channel, and adjacent waters. ICES J. Mar. Sci., 60: 1149–1158.
- Wang, J., G. J. Pierce, M. Sacau, J. Portela, M. B. Santos, X. Cardoso y J. M. Bellido. 2007. Remotely sensed local oceanic thermal features and their influence on the distribution of hake (*Merluccius hubbsi*) at the Patagonian shelf edge in the SW Atlantic. Fish. Res., 83: 133-144.
- Yáñez, R. E., V. Catasti, B. M. Barbieri y G. S. Bohm. 1996. Relationships between the small pelagic resources distribution and the sea surface temperatures recorded by NOAA satellites from Chile central zone. Invest. Mar., 24: 107–122.
- Zapata, L. A., E. J. Peña y E. A. Rubio. 2007. La pesquería de pequeños pelágicos en el Pacífico de Colombia. 391- 421. En: Agüero, M. (Ed.). Capacidad de pesca y manejo pesquero en América Latina y el Caribe. FAO Doc. Téc. Pesca, No. 461, Roma. 423 p.

FECHA DE RECEPCIÓN: 28/04/08

FECHADEACEPTACIÓN:25/03/09