

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA (SIG) AUTOMATIZADO DE LA PESQUERÍA
INDUSTRIAL ATUNERA CON PALANGRE ASENTADA
EN LA CIUDAD DE CUMANÁ - VENEZUELA**

JOSÉ LUIS SILVA ARISTEGUETA

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Máster en Ciencia de Información Geográfica

Quito, Octubre de 2012

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Postgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG)
automatizado de la pesquería industrial atunera con palangre
asentada en la ciudad de Cumaná - Venezuela**

José Luis Silva Aristeguetta

Richard Resl, MSc.,
Director de la Tesis y
Director del programa de Maestría en
Sistemas de Información Geográfica

Pablo Cabrera, MSc.,
Miembro del comité de Tesis

Stella de La Torre, PhD.,
Decana del Colegio de
Ciencias Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri, PhD.,
Decano del Colegio de Postgrados

Quito, Octubre de 2012

© Derechos de autor

José Luis Silva Aristeguieta

2012

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis, diseño y desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) automatizado para la evaluación de la pesquería industrial atunera con palangre asentada en la ciudad de Cumaná - Venezuela, el cual utiliza una base de datos que contiene la información colectada por observadores a bordo de los barcos pesqueros como parte de un proyecto de monitoreo conjunto del Departamento de Biología Pesquera del Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV) y de la *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas* (ICCAT). Este SIG automatizado permite integrar todos los datos colectados en un único sistema y generar la estimación mensual de la distribución espacio-temporal de las capturas (en kilogramos y en número de ejemplares), esfuerzos (en número de lances y en número de anzuelos) y Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) por cuadrantes geográficos, presentando los resultados en forma de mapas y de tablas. El sistema permite al usuario actualizar una capa de puntos de los lances de pesca desde la base de datos y filtrar estos lances para su visualización en el mapa o para su utilización en los análisis espaciales, en base a: mes, trimestre, año, profundidad mínima, profundidad máxima, especie y / o sexo. También permite efectuar tareas propias de los SIG, tales como: exportar mapas y tablas, hacer “zoom”, arrastrar, ver / ocultar capas e identificar elementos. El sistema fue programado principalmente en los lenguajes *Microsoft® Visual Basic 6* y *ESRI® ArcObjects*, pero parte de las dos funcionalidades principales del sistema (actualización de la capa de lances de pesca y cálculo de captura, esfuerzo y CPUE por cuadrantes) fueron implantadas en *scripts* escritos en el lenguaje *Python* que ejecutan automáticamente módulos específicos del software *ESRI® ArcGis 9.1*.

ABSTRACT

This paper presents the analysis, design and development of a Geographic Information System (GIS) for automated assessment of the tuna longline industrial fishing fleet based in the city of Cumana - Venezuela, which uses a database containing the information collected by observers on board fishing vessels as part of a joint monitoring project of the Department of fisheries Biology of the Oceanographic Institute of Venezuela (IOV) and the International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). This automated GIS can integrate all the data collected in a single system and generate the monthly estimate of the spatiotemporal distribution of the catch (in kilograms and number of fish), effort (number of fishing sets and number of hooks) and Catch Per Unit Effort (CPUE) by geographic quadrants, presenting the results as maps and tables. The system allows the user to update a point layer of the fishing sets from the database and filtering these sets for display on the map or for use in spatial analyzes, based on: month, quarter, year, depth minimum, maximum depth, species and / or sex. It also allows for GIS tasks such as: export maps and tables, to "zoom", drag, show / hide layers and identify elements. The system was programmed mainly in languages *Microsoft*® *Visual Basic* 6 and *ESRI*® *ArcObjects*, but part of the two main features of the system (Update point layer of the fishing sets and calculation of catch, effort and CPUE per quadrant) were implanted in *scripts* written in *Python* that automatically run specific modules of software *ESRI*® *ArcGis* 9.1.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Alcance y limitaciones	5
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Bases teóricas del área de estudio	6
2.2. Bases teóricas del área de investigación	10
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO	15
3.1. El sistema estudiado	15
3.2. Metodología aplicada	15
3.3. Zona de estudio	17

	Página
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	18
4.1. Análisis y diseño	18
4.1.1. Análisis de la base de datos existente	18
4.1.2. Identificación de requerimientos del sistema ...	19
4.1.3. Diseño de entradas	19
4.1.4. Diseño de salidas	21
4.1.5. Modelado de datos	23
4.1.5.1. Modelo conceptual de datos	23
4.1.5.2. Modelado de datos espaciales	23
4.1.6. Diseño de funciones de procesamiento	24
4.1.7. Diseño de los controles	25
4.2. Desarrollo	26
4.2.1. Selección de software	26
4.2.2. Programación del SIG automatizado	26
4.2.3. Prueba del SIG automatizado	30
4.2.4. Documentación del sistema	30
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
5.1 Alcance	31
5.2. Limitaciones	33
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representación de las entidades básicas en los dos modelos de datos SIG (Eastman, 1997)	9
Figura 2. Funciones de un SIG (Murai, 1999)	10
Figura 3. Palangre atunero (Arocha, 2007)	12
Figura 4: Objetivo básico de la evaluación de <i>stocks</i> de peces (Sparre & Venema, 1995)	13
Figura 5: Subsistemas de un sistema de pesquería (Seijo, Defeo & Salas, 1997)	15
Figura 6. Zona de estudio	17
Figura 7. Tablas de la base de datos actual que fueron evaluadas	18
Figura 8. Áreas que componen la ventana principal del SIG	20
Figura 9. Sistema de menús del SIG	20
Figura 10. CPUE en kilogramos por lance para hembras de la especie <i>Istiophorus albicans</i> (pez vela del Atlántico) en el segundo trimestre de todos los años de muestreo (1987 – 2010)	22
Figura 11. Modelo conceptual de datos del sistema	23
Figura 12. Proceso (simplificado) de actualizar la capa de lances desde la base de datos	28
Figura 13. Diagrama de flujo del proceso para calcular capturas, esfuerzos de pesca y Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) para cada cuadrante geográfico	29

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Simbología utilizada para representar los modelos cartográficos (Eastman, 1997)	7
Tabla 2. Etapas y actividades para implantar el sistema (Senn, 1996; Whitten, Bentley & Barlow, 2003; Meaden & Do Chi, 1996; Murai, 1999)	16
Tabla 3. Matriz de requerimientos de información	19
Tabla 4. Entidades espaciales del sistema	23
Tabla 5. Listado de entidades espaciales fundamentales y sus atributos	24
Tabla 6. Lista de productos generados en cada actividad del proyecto	32

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Hasta nuestros días, la historia de la explotación por el hombre de los recursos de la pesca es una lectura lóbrega. Los primeros documentos que existen sobre la pesca son casi exclusivamente los que se refieren a la disminución de una u otra pesquería. Examinadas las estadísticas de unas pocas pesquerías, se observó rápidamente que todas presentaban el mismo aspecto. Al aumentar con el tiempo el esfuerzo de pesca total, la captura total aumentó inicialmente, alcanzó un máximo y se estabilizó, aunque en algunas ocasiones lo hizo en una cantidad muy inferior a la lograda con menor esfuerzo de pesca. Al mismo tiempo, tanto la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) como el peso medio de lo pescado disminuían constantemente. Aunque es evidente que la razón fundamental de esto es muy sencilla (se pescaba demasiado) en cada pesquería es necesario efectuar un análisis detallado para determinar cuantos peces (y de que talla) deberían capturarse anualmente para determinar el futuro de la pesquería (Holden & Raitt, 1975).

Una pesquería opera dentro de ciertos contextos socioeconómicos y políticos e interactúa con otros sectores de la economía. Algunos aspectos del sistema pueden ser controlados por los individuos (por ejemplo, la decisión de un pescador respecto a si desea o no pescar). Otros aspectos del sistema (tales como el tamaño de la flota, el clima y las fluctuaciones naturales en la abundancia del recurso), están más allá del control de los individuos y algunas veces más allá del control del conjunto de los participantes. La acción colectiva es requerida cuando las acciones individuales no producen los resultados deseados (Stevenson, Pollnac & Logan, 1982).

El manejo de un recurso pesquero es un proceso complejo que requiere la interacción de su biología y ecología con los factores socio-económicos e institucionales que afectan al comportamiento de los usuarios (pescadores) y a los responsables de su administración. Aún cuando los planes de manejo han mejorado ostensiblemente a través del tiempo, gracias a la obtención de series de tiempo prolongadas que han aportado

información científica de primera categoría y a la elaboración de modelos sofisticados, muchos recursos pesqueros críticos han sido inevitablemente sobreexplotados, llegando incluso a niveles cercanos a su colapso (Seijo, Defeo & Salas, 1997).

Las administraciones pesqueras tienen la necesidad de conocer, de manera sistemática, los posibles impactos bioeconómicos resultantes de estrategias alternativas para el manejo sostenible de recursos pesqueros. Se requiere determinar cuales instrumentos de política pesquera deberían utilizarse para satisfacer criterios ecológicos y económicos. El manejo de pesquerías es significativamente más complicado por el hecho de que usualmente existe más de un criterio para evaluar el desempeño de una pesquería. El problema no solamente consiste en maximizar la renta económica neta generada por la pesquería (dadas ciertas preferencias ínter temporales en el uso del recurso), sino también sostener la biomasa de especies objetivo e incidentales por encima de cierto nivel, y quizá también maximizar la contribución a la producción alimentaria doméstica, generar divisas para aliviar deudas externas y generar empleos costeros. En este tipo de problemas los decisores tienen que sopesar los diferentes criterios, sacrificando empeoramiento en algún criterio con el afán de lograr mejoras sustantivas en algún otro que se considere crítico en el momento de tomar la decisión de manejo del recurso. Un enfoque que contribuye a la solución del problema antes mencionado consiste en la aplicación de ciencias de sistemas (Seijo *et al.*, 1997).

Para administrar satisfactoriamente una pesquería, así como para establecer su planificación, comercialización y otros aspectos del desarrollo pesquero, se necesita información de capturas de peces y sobre el esfuerzo inherente a la obtención de tales capturas (Bazigos, 1975). Estas evaluaciones pueden ser preliminares y envolver simplemente una estimación de las tendencias temporales en los datos de captura, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo (CPUE). A este nivel, se puede llegar a conclusiones muy útiles a partir de muchos años de datos. Las series temporales de datos sobre las estadísticas de captura y esfuerzo son analizadas para generar estimaciones del rendimiento máximo sostenible y la correspondiente cantidad de esfuerzo (Stevenson *et al.*, 1982).

Por otra parte, el aspecto informático debe ser elemento inseparable de todo sistema estadístico (COPACO, 1987). El uso de microcomputadoras que permiten el almacenamiento y procesamiento de grandes cantidades de datos en poco tiempo, incluso en los países más pobres, y la concientización creciente de la importancia de las pesquerías de pequeña escala en muchos países en desarrollo hacen más importante que nunca la adquisición de esta información y el uso de la misma para promover programas racionales de administración (Stevenson *et al.*, 1982).

En todo tipo de estudio o proyecto en el que el componente espacial o espacio-temporal sea importante, como es el caso del manejo de recursos naturales, el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) puede ser de mucha utilidad (Murai, 1999). Entre las potencialidades de los SIG puede destacarse su capacidad para integrar y analizar información de muy diversa índole (económica, social, ambiental, política, etc.) en un mismo sistema, a partir de fuentes muy diversas (imágenes de satélite, fotos aéreas, mapas en papel, planos digitales, bases de datos, GPS, tablas estadísticas, etc.), lo cual lo convierte en una herramienta sumamente útil para el desarrollo de proyectos multidisciplinarios y muy espacialmente en el caso particular de estudios en ambientes marino-costeros, caracterizados por ser muy dinámicos y por poseer fronteras difusas o inexistentes (Meaden & Do Chi, 1996).

1.2. Justificación

El Departamento de Biología Pesquera del Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV) conjuntamente con la *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas* (ICCAT) ejecutan desde el año 1987 un proyecto de monitoreo de la pesca industrial atunera con palangre asentada en la ciudad de Cumaná – Venezuela (principal puerto pesquero del mar Caribe). Dicho proyecto ha generado una gran base de datos relativa al esfuerzo aplicado por dicha flota palangrera con detalles de las operaciones de pesca, incluyendo las respectivas coordenadas geográficas, así como de las capturas obtenidas

por especie en estas faenas pesqueras (Arocha, 2007). Sin embargo, actualmente no se cuenta con una herramienta informática que permita procesar de manera automatizada a la mencionada base de datos de forma tal que pueda efectuar análisis espaciales y generar tanto mapas como tablas estadísticas de la producción pesquera de esta flota. Para evitar que los investigadores del IOV sigan dependiendo de un especialista en SIG que procese parte de los datos cada vez que se requiera, es necesario desarrollar un sistema automatizado que pueda ser utilizado por los investigadores pesqueros sin necesidad de que estos posean conocimientos en el área de los SIG.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) automatizado de la pesquería industrial atunera con palangre asentada en la ciudad de Cumaná - Venezuela.

1.3.2. Objetivos específicos

Desarrollar un SIG automatizado que permita a los investigadores pesqueros del Instituto Oceanográfico de Venezuela:

Objetivo 1) Crear y / o actualizar una capa de puntos de los lances de pesca de la flota industrial atunera y vincularla a la base de datos del proyecto.

Objetivo 2) Filtrar los lances de pesca para su visualización en el mapa o para su utilización en los análisis espaciales que ofrece el sistema en base a: mes, trimestre, año, profundidad mínima, profundidad máxima, especie y / o sexo.

Objetivo 3) Calcular por cuadrantes geográficos el esfuerzo de pesca (en número de lances o número de anzuelos), las capturas (en kilos o número de ejemplares) y la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), presentando los resultados en forma de mapas y tablas.

Objetivo 4) Efectuar tareas propias de los SIG, tales como: exportar mapas y tablas, hacer “*zoom*”, arrastrar, ver / ocultar capas, identificar, etc.

1.4. Alcance y limitaciones

Se pretende lograr el análisis, diseño y desarrollo completo del SIG automatizado propuesto incluyendo las primeras sesiones de prueba del sistema. Sin embargo, esta primera versión está centrada sólo en el análisis de datos de captura, esfuerzo y CPUE. Futuras ampliaciones del sistema pueden incluir análisis por frecuencias de tallas, temperatura, sexo y / o madurez sexual. También esta primera versión del sistema está limitada en cuanto al tiempo a un mes, trimestre o año en particular, mientras que una próxima versión puede incluir series de tiempo.

El SIG automatizado descrito en el presente trabajo, aunque será utilizado en primera instancia en una pesquería específica que abarca un ámbito regional (mar Caribe y zonas adyacentes del océano Atlántico), no presenta limitaciones en cuanto al ámbito geográfico al que puede aplicarse, por lo que en un futuro podría también ofrecerse para ser utilizado en otras regiones que posean pesquerías similares.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo se encuentra enmarcado en los campos de:

- a) Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), debido a que se incorporan herramientas y métodos propios de la ciencia de los SIG.
- b) La Informática, por cuanto se diseña y desarrolla un sistema de información computarizado.
- c) La Ciencia Pesquera, ya que el sistema una vez desarrollado e implantado servirá de valiosa herramienta a investigadores pesqueros para evaluar a la pesquería industrial atunera con palangre asentada en la ciudad de Cumaná - Venezuela.

Los dos primeros campos antes mencionados constituyen el área de estudio del presente proyecto, mientras que el tercero (La Ciencia Pesquera) representa el área de investigación en la que las ciencias de los SIG y la Informática fueron aplicadas. En las próximas dos secciones se presentan las bases teóricas y definiciones fundamentales del área de estudio y del área de investigación respectivamente.

2.1. Bases teóricas del área de estudio

Algoritmo: dada una clase de problemas y una máquina, se define algoritmo como la caracterización precisa de un método para la resolución de una clase de problemas, presentado en un lenguaje comprensible a la máquina que lo ha de resolver (Grech y Lameda, 1990).

Análisis espacial: son los procesos por los cuales se extraen o se crea nueva información de un grupo de elementos geográficos (González, 1994).

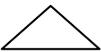
Base de datos: Una colección de datos interrelacionados entre sí y almacenados juntos con un control de la redundancia para servir a una o más aplicaciones. Los datos se almacenan independientemente de los programas que los utilizan. Se utiliza un método controlado y común para añadir nuevos datos, modificar y extraer los datos existentes en la base de datos (Reeve, 2001).

Consulta espacial: interrogación que incluye criterios espaciales de selección de elementos (González, 1994).

Diseño de la base de datos: es el proceso a través del cual convertimos el modelo conceptual de datos del sistema en un modelo operacional que podamos implantar (Cohen, 1987).

Modelado de datos geográficos: representa un conjunto de pautas para convertir a las entidades del mundo real en objetos espaciales representados digital y lógicamente, que consisten en atributos y geometría. Los atributos se manejan como una estructura temática mientras que la geometría se representa como una estructura geométrica – topológica (Murai, 1999).

Modelos cartográficos: permiten representar visualmente los datos y procedimientos analíticos involucrados en las operaciones realizadas por un SIG (González, 1994). Ver Tabla 1.

Símbolo	Nombre	Descripción
	Archivo Vectorial	Tipo de archivo manejado por el SIG
	Datos Tabulares	Tabla de datos
	Archivos Relacionados	Conjunto de datos relacionados entre sí
*Nombre→	Operación	Acción a realizar
	Módulo	Activación de un proceso
	Imagen	Mapa de la zona de estudio

* Los nombres de los archivos se escriben en letras mayúsculas, dentro del símbolo.

Tabla 1. Simbología utilizada para representar los modelos cartográficos (Eastman, 1997).

Modelo conceptual de datos: declaración lógica de las entidades, atributos y relaciones entre entidades que la base de datos debe contener (Reeve, 2001).

Modelo relacional: Modelo teórico de base de datos propuesto por Edgar F. Codd (científico de IBM) en 1970. Este modelo está basado en tres principios (Reeve, 2001):

- La base de datos debe ser vista por los usuarios como una colección de tablas (y nada más que tablas).
- La manipulación de la base de datos se efectúa utilizando el álgebra relacional (basada en la teoría de conjuntos). Los comandos de manipulación operan sobre toda la tabla en lugar de hacerlo registro a registro y los operadores relacionales fundamentales son: *Select*, *Project* y *Join*.
- Debe ofrecer dos tipos de integridad: 1) *Integridad de entidades*: cada fila de la tabla relacional tendrá una entrada válida y única para los atributos de la clave primaria, y 2) *Integridad referencial*: los valores de una clave externa deben existir como clave primaria en otra tabla.

Modelos de datos SIG: En un SIG los datos pueden almacenarse mediante dos modelos: el modelo raster y el modelo vectorial (Murai, 1999; Eastman, 1997):

- En el *modelo vectorial*, el límite o el contorno de un objeto se define por una serie de puntos que, cuando se unen mediante líneas rectas, forman la representación gráfica de ese objeto, mientras que los atributos de los objetos se almacenan con un programa tradicional de gestión de bases de datos.
- En el *modelo raster*, la representación gráfica de los objetos y de sus atributos temáticos se realiza en un mismo archivo de datos. De hecho, no se definen los objetos, sino que se subdivide el área de estudio en una malla de celdas, en las que se registra el atributo temático o característica de la superficie terrestre en ese punto.

Los tres tipos de entidades básicas en los SIG son: punto, línea y polígono (Figura 1). Por cuanto, al menos en dos dimensiones, todo fenómeno geográfico puede ser representado por alguno de estos tipos de entidades. Un punto es un objeto representado como un par de coordenadas X,Y, con área y longitud igual a cero. La línea es un objeto geométrico representado como una cadena de puntos. El polígono es un objeto espacial comprendido entre un conjunto de líneas (arcos) que definen su límite, con área y perímetro distintos de cero.

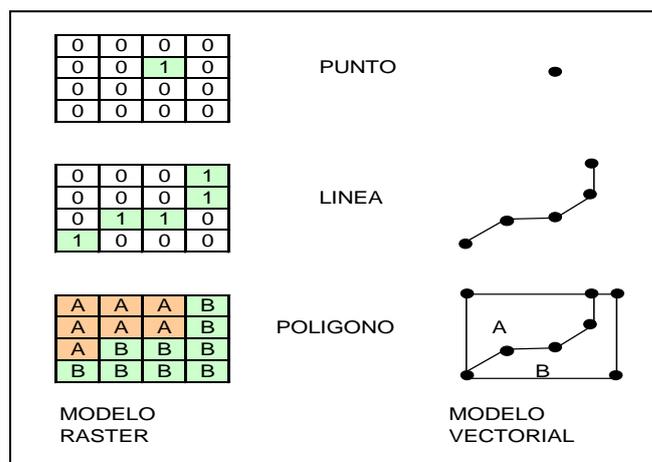


Figura 1. Representación de las entidades básicas en los dos modelos de datos SIG (Eastman, 1997).

Normalización: El proceso de organizar los datos en forma tabular y con las características apropiadas para que se ejecuten correctamente en una base de datos relacional (Reeve, 2001).

Script: en Informática, un *script* (cuya traducción literal es 'guión') es un archivo de órdenes o archivo de procesamiento por lotes, que contiene un programa usualmente simple, y que por lo regular se almacena en un archivo de texto plano (Wikipedia, 2011).

Sistema de gestión de base de datos SIG: tradicionalmente este término hace referencia a un tipo de software que se utiliza para la introducción, gestión y análisis de datos, en el caso de un SIG se incorpora una gama de utilidades para la gestión de los componentes temáticos y espaciales de los datos geográficos almacenados, donde una vez realizados los análisis de la base de datos los resultados pueden aplicarse inmediatamente a los datos espaciales, visualizando los resultados como un mapa (Eastman, 1997).

Sistema de Información Geográfica (SIG): es un Sistema Informático diseñado para la adquisición, almacenamiento, análisis y representación de datos espaciales. (Murai, 1999). En la Figura 2 se presenta un resumen de las funciones de un SIG.

SQL (Structured Query Language): Lenguaje de consulta estructura más utilizado por los Sistemas de Gestión de Bases de Datos Relacionales (SGBDR) para manipular a la base de datos aplicando el álgebra y el cálculo relacional (Reeve, 2001).

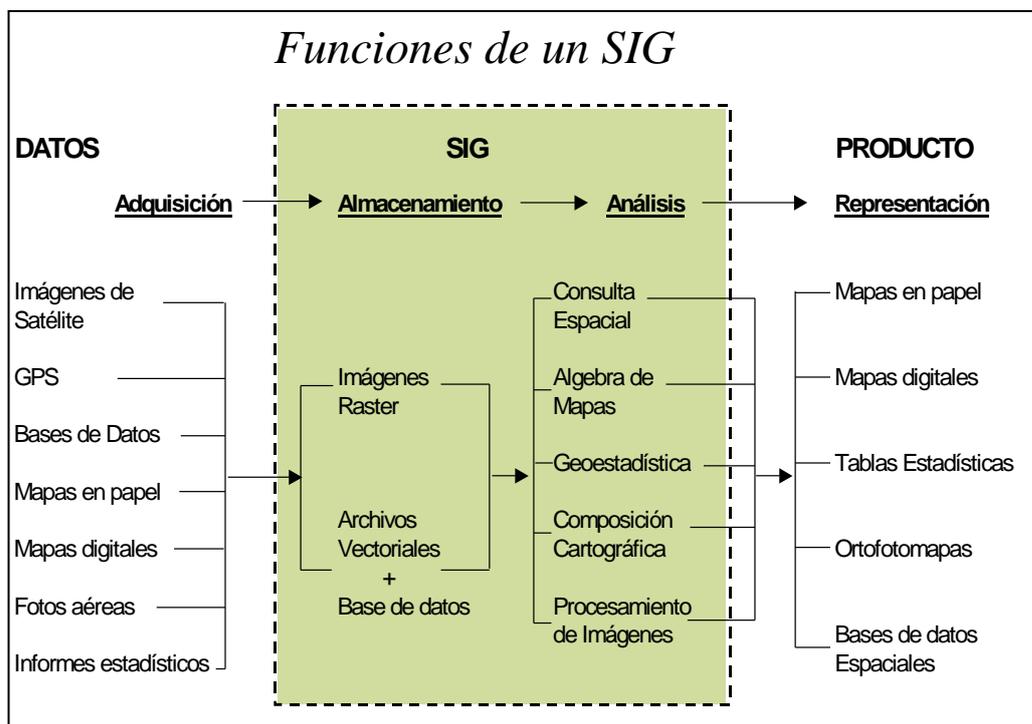


Figura 2. Funciones de un SIG (Murai, 1999).

2.2. Bases teóricas del área de investigación

Arte de pesca: Conjunto de redes de distintos tipos preparadas para la captura de peces y otros animales marinos y dulceacuícolas. En ocasiones reciben el nombre de arte otros instrumentos, también destinados a la pesca, compuestos por anzuelos u otros elementos diversos aplicados a fines muy concretos (Salvat, 1975)

Captura: Conjunto de peces, crustáceos, moluscos y otras especies que se obtienen del ejercicio de la pesca con cualquier tipo de arte o aparejo (Salvat, 1975).

Captura por unidad de esfuerzo (CPUE): Cuando los valores referentes a las capturas y al esfuerzo de pesca han sido recolectados de una manera apropiada, el cociente entre estos dos valores, es decir la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), nos proporciona un índice de densidad o abundancia relativa del recurso explotado. Este índice permite estudiar, tanto en el espacio como a través del tiempo, las variaciones de abundancia y los efectos de la explotación pesquera sobre los recursos explotados (Novoa, Mendoza, Marcano & Cárdenas, 1998).

Ciencia pesquera: se entiende como la disciplina que se ocupa del estudio, desarrollo y aplicación de las ciencias naturales y la tecnología para aumentar al máximo la captura y mejorar las operaciones pesqueras. Se trata, pues, de la investigación y desarrollo aplicado al servicio de finalidades prácticas, y la medida de su éxito o fracaso radica en el provecho y los beneficios obtenidos por la pesca comercial (Stevenson *et al.*, 1982).

Esfuerzo de pesca: esfuerzo desarrollado por cierta capacidad de pesca durante un tiempo determinado. Así pues, el esfuerzo de pesca lleva implícito el poder de pesca (Salvat, 1975).

Especie: Es la unidad básica de la clasificación biológica. Grupo (o población) natural de individuos que pueden cruzarse entre sí, pero que están aislados reproductivamente de otros grupos afines (Welch, Arnon, Cochran, Erk, Fishleder, Mayer, Pius, Shaver & Smith, 1984)..

Ejemplar: cada pescado individual capturado en la faena de pesca.

Flota: número total de unidades (barcos) de cualquier tipo de actividad pesquera que utilizan un recurso concreto (Stevenson *et al.*, 1982).

Lance: pesca que se saca de una vez. Acción de echar la red (o cualquier otro arte) para pescar (Salvat, 1975). Cada faena de pesca individual. En la pesquería con palangre se refiere a cada operación de colocar el arte de pesca en el agua, esperar un período de tiempo determinado y luego recogerlo para obtener la captura.

Ordenación pesquera: es la prosecución de ciertos objetivos mediante el control directo o indirecto del esfuerzo pesquero efectivo o algunos de sus componentes. Por ejemplo, un tamaño de malla mínimo puede ser instituido y aplicado coercitivamente para reglamentar el tamaño de captura de los peces e incrementar la productividad del recurso; un sistema de licencias puede ser introducido a fin de controlar el acceso a la pesca con objeto de potenciar al máximo los ingresos económicos derivados de la misma. Por otra parte, el desarrollo pesquero es la expansión del esfuerzo efectivo a través de un conjunto de programas de ayuda con la finalidad de lograr ciertos objetivos. Por ejemplo, el radio de acción de las canoas de pesca puede incrementarse mediante la motorización subvencionada con objeto de explotar recursos subutilizados y aumentar el suministro de pescado y los ingresos de los pescadores (Panayotou, 1983).

Palangre: es un arte de pesca pasivo que consta de una línea central o línea madre y de gran cantidad de líneas secundarias o rendales, separadas entre sí por segmentos de longitud constante, en cuyas extremidades se fijan los anzuelos. El palangre puede ser pelágico o de fondo (Novoa *et al.*, 1998).

Palangre atunero (pelágico): sistema de palangre que se usa en superficie o a media agua para la captura de especies pelágicas migratorias como el atún, las agujas y los tiburones (Ginés, 1972). Ver Figura 3.

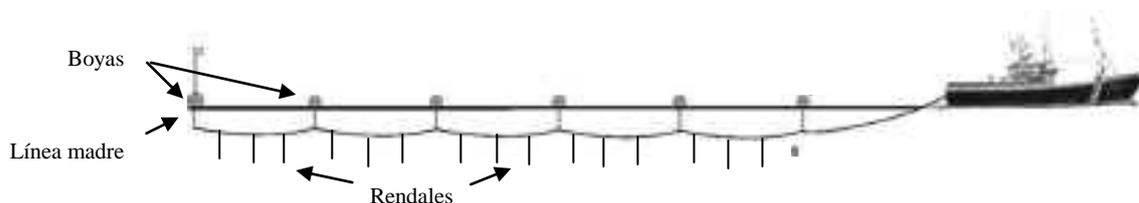


Figura 3. Palangre atunero (Arocha, 2007).

Pelágico: se aplica a organismos marinos como el plancton, las sardinas o los atunes, que se desplazan libremente en el agua, por oposición a los que viven en el fondo y que se califican de bentónicos (Salvat, 1975).

Pesca: es fundamentalmente una actividad de extracción de recursos vivos animales (peces, moluscos y crustáceos) y vegetales del medio acuático con fines económicos y sociales, destacándose dos componentes principales y dependientes: El recurso constituido por poblaciones (animales o vegetales) sometidas a explotación y los pescadores, quienes utilizan sistemas de pesca para extraer una cierta cantidad de individuos del medio (Giménez, Molinet & Salaya, 1993).

Pesquería: es el conjunto de barcos, hombres e instrumentos que operan en un régimen común para la explotación de algunos recursos pesqueros en un área más o menos determinada (Kesteven, 1973). La pesquería es un sistema o cadena de actividades interrelacionadas, las cuales incluyen la captura, procesamiento, mercadeo y demanda del consumidor por el pescado (Stevenson *et al.*, 1982).

Rendimiento máximo sostenible: La finalidad básica de la evaluación de poblaciones de *stocks* es asesorar sobre la explotación óptima de recursos acuáticos vivos tales como los peces y camarones. Los recursos vivos son limitados pero renovables y la evaluación de los *stocks* de peces se puede definir como la búsqueda del nivel de explotación que permita obtener, a largo plazo, el rendimiento máximo en peso de una pesquería. La Figura 4 ilustra el objetivo básico de la evaluación de *stocks* de peces. El eje horizontal es el esfuerzo de pesca, medido, por ejemplo, por el número de días de operación de las embarcaciones. En el otro eje está el rendimiento, es decir, los desembarques en peso. Si los desembarques contienen diferentes grupos de animales (por ejemplo, camarones, peces y calamares) puede ser más adecuado expresar el rendimiento en términos de su valor comercial. Esto demuestra que hasta un determinado nivel se pueden obtener mayores ganancias aumentando el esfuerzo de pesca, pero cuando se supera ese nivel, la renovación del recurso no logra mantener el mismo ritmo que la eliminación causada por la pesca, y el incremento de la explotación provoca una merma del rendimiento (Sparre & Venema, 1995).

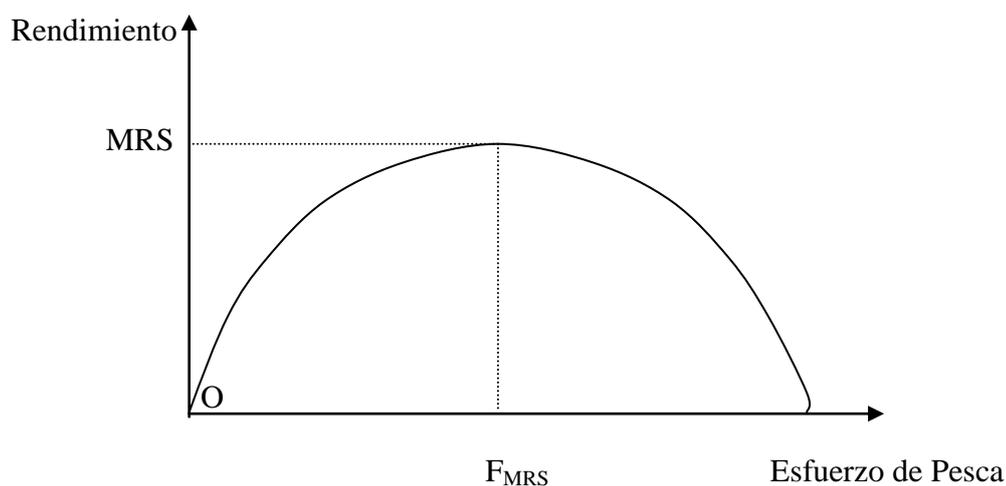


Figura 4: Objetivo básico de la evaluación de *stocks* de peces (Sparre & Venema, 1995).

El nivel del esfuerzo de pesca, que a largo plazo proporciona el mayor rendimiento, se expresa por F_{MRS} y el rendimiento correspondiente es el “MRS” o “*Máximo Rendimiento Sostenible*”. Dicho nivel se especifica “a largo plazo” porque también es posible alcanzar un alto rendimiento durante un año, incrementando súbitamente el esfuerzo, pero luego seguirán años de escasez debido a que el recurso ha sido sobreexplotado. Normalmente, el objetivo no está representado por los años aislados en que se ha obtenido un rendimiento máximo, sino por una estrategia de pesca que produzca el máximo rendimiento constante año tras año (Sparre & Venema, 1995).

Stock: es utilizado en biología pesquera para designar la fracción de una población que está disponible para la explotación de una pesquería (Novoa *et al.*, 1998).

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. El sistema estudiado

La ciencia pesquera estudia a un sistema compuesto por los subsistemas: “el recurso”, “los pescadores”, “el manejo de la pesquería”, “la industria de procesamiento” y “la distribución al mercado” (Seijo *et al.*, 1997; Kesteven, 1973). El SIG automatizado descrito en el presente trabajo sirve de apoyo al estudio de los primeros tres subsistemas mencionados (recurso, pescadores y manejo) del sistema *pesquería industrial atunera con palangre* asentada en la ciudad de Cumaná - Venezuela, los cuales aparecen resaltados en la Figura 5.

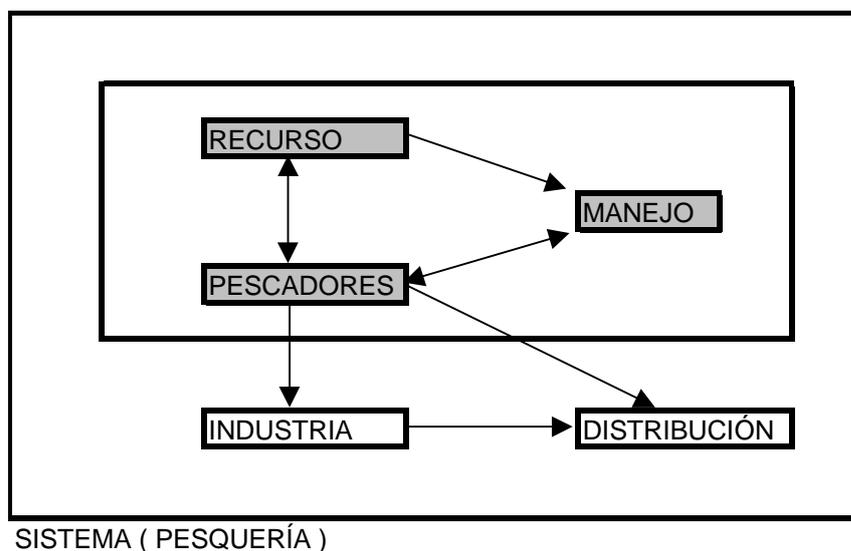


Figura 5: Subsistemas de un sistema de pesquería (Seijo *et al.*, 1997).

3.2. Metodología aplicada

Se combinó la metodología propuesta tradicionalmente en el análisis y diseño de sistemas (Senn, 1996; Whitten, Bentley & Barlow, 2003) con la metodología específica para el diseño, desarrollo e implantación de un SIG (Meaden & Do Chi, 1996; Murai, 1999). De manera resumida, se pueden agrupar a las actividades requeridas para implantar el SIG automatizado en cuatro etapas:

- Análisis y diseño,
- Desarrollo,
- Operación, y
- Auditoría.

Sin embargo en el presente proyecto únicamente se desarrollaron las dos primeras de estas cuatro etapas. En la Tabla 2 se presentan las actividades requeridas para implantar el sistema en su totalidad, mientras que los productos se muestran en la tabla 6 (en anexos).

ETAPA	ACTIVIDAD
1. ANÁLISIS Y DISEÑO	1.1. Análisis de la base de datos existente
	1.2. Identificación de requerimientos del sistema
	1.3. Diseño de entradas
	1.4. Diseño de salidas
	1.5. Modelado de datos
	1.6. Diseño de funciones de procesamiento
	1.7. Diseño de los controles
2. DESARROLLO	2.1. Selección del software
	2.2. Programación del SIG automatizado
	2.3. Diseño de la prueba
	2.4. Prueba del SIG automatizado
	2.5. Documentación del sistema
3. OPERACIÓN	3.1. Instalación del sistema
	3.2. Capacitación de usuarios
	3.3. Actualización periódica de datos
	3.4. Generar información de captura, esfuerzo y CPUE
	3.5. Analizar y evaluar la pesquería
4. AUDITORÍA	4.1. Revisión del sistema
	4.2. Expansión del sistema

Actividades totalmente desarrolladas

Actividades a efectuar en un futuro

Tabla 2. Etapas y actividades para implantar el sistema (Senn, 1996; Whitten, Bentley & Barlow, 2003; Meaden & Do Chi, 1996; Murai, 1999).

3.3. Zona de estudio

La zona de estudio comprende el mar ubicado entre las siguientes coordenadas:

- Límite sur = Latitud 0°,
- Límite norte = Latitud 26° Norte,
- Límite este = Longitud 39° Oeste, y
- Límite oeste = Longitud 80° Oeste.

El área total de la zona de estudio fue dividida a su vez en tres zonas (Figura 6):

- Zona 1) *Caribe*: región de la zona de estudio ubicada dentro del mar Caribe,
- Zona 2) *Este*: región de la zona de estudio ubicada en el océano Atlántico centro-occidental al sur del paralelo 15 ° Norte, y
- Zona 3) *Norte*: región de la zona de estudio ubicada en el océano Atlántico centro-occidental al norte del paralelo 15 ° Norte.



Figura 6. Zona de estudio.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Análisis y diseño

4.1. 1. Análisis de la base de datos existente

Esta actividad consistió en determinar que tablas (y campos) de la base de datos actual se requieren para procesarlos a fin de crear (o actualizar) la capa de puntos relativa a los lances de pesca y su respectiva tabla de atributos. La base de datos es bastante compleja y contiene muchas tablas relativas a datos que no interesan para los objetivos del presente trabajo, así que se determinó en principio que solo debían ser evaluadas las tablas: Barco, País, Viaje, Lance, Resumen de Lance y Registro de Especies (ver Figura 7). Se determinó que sólo se requieren las tablas Lance y Registro de Especies para obtener toda la información que necesita el SIG automatizado.

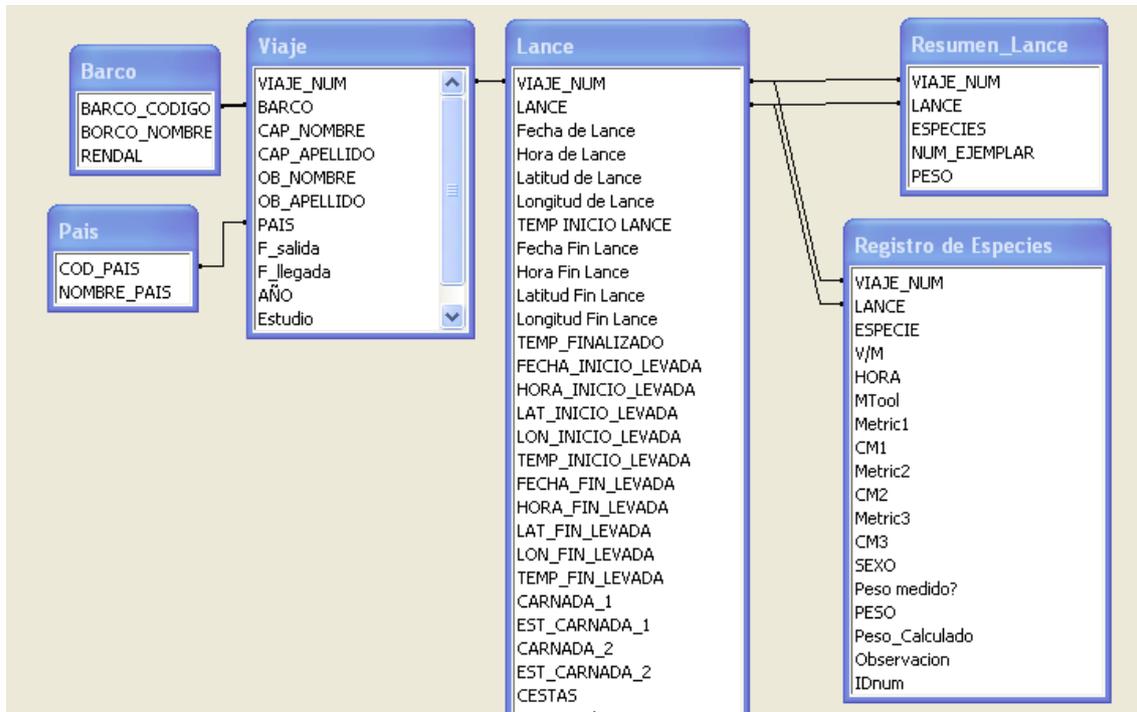


Figura 7. Tablas de la base de datos actual que fueron evaluadas.

La tabla Lance contiene datos relativos a cuatro coordenadas distintas para cada faena de pesca (lance): 1) inicio de lance, 2) fin de Lance, 3) inicio de levada, 4) fin de levada. En cuanto a las coordenadas a utilizar para crear la capa de puntos de lances, se determinó que la más adecuada es la coordenada de fin de lance por cuanto esta es la que más se aproxima al punto en que ocurre la captura.

4.1.2. Identificación de requerimientos del sistema

UTILIDAD:	INFORMACIÓN REQUERIDA:
Identificar y ubicar geográficamente a cada lance de pesca	Número identificador del viaje (campana de pesca), número identificador del lance, fecha, latitud de fin de lance y longitud de fin de lance
Esfuerzo de pesca	Número identificador del viaje, número identificador del lance, cantidad de cestas utilizadas en el lance*, cantidad de anzuelos en cada cesta*, distancia de la boya a la línea madre**, longitud del rendal**.
Capturas	Número identificador del viaje, número identificador del lance, especie, sexo, peso (en kilogramos),

* N° de anzuelos total de un lance = N° cestas * N° de anzuelos por cesta

** Profundidad de pesca = distancia boya a línea madre + longitud rendal (ver Figura 3)

Tabla 3. Matriz de requerimientos de información.

4.1.3. Diseño de entradas

El SIG automatizado cuenta con una ventana inicial que está subdividida en cuatro áreas: El sistema de menús, la barra de herramientas, la leyenda, y el área para desplegar el mapa. En la Figura 8 se presenta un esquema de las cuatro áreas que componen la ventana principal del SIG, mientras que en la Figura 9 se presenta un resumen del sistema de menús del SIG.

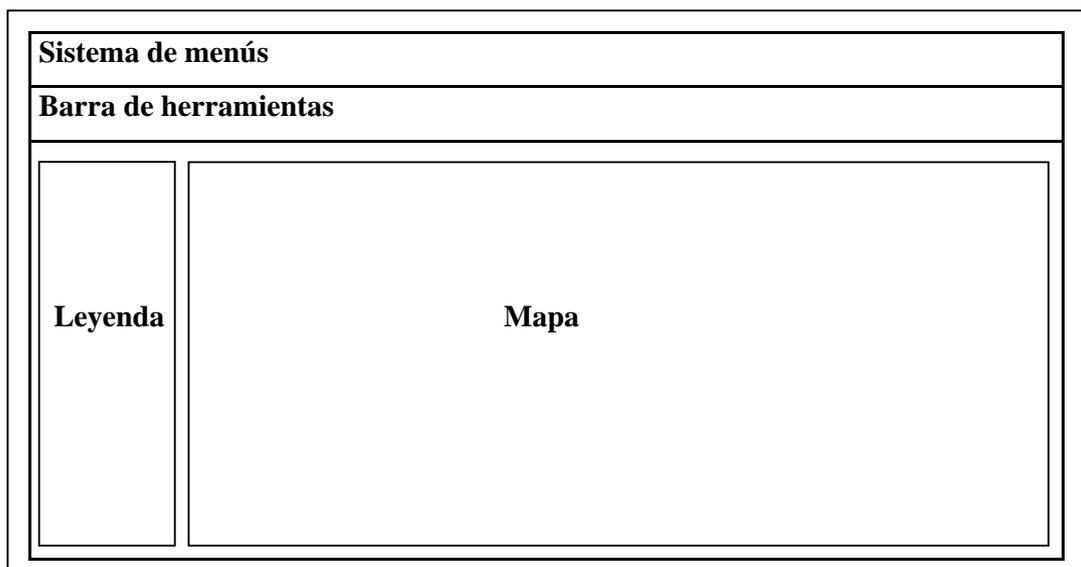


Figura 8. Áreas que componen la ventana principal del SIG.

En la barra de herramientas se ofrece al usuario funcionalidades para manipular los mapas a los cuales se accede pulsando el respectivo icono. Estas funcionalidades son: *zoom* adentro, *zoom*, afuera, extensión original, desplazamiento, identificación de elementos, exportar mapa e impresión del mapa. En la leyenda se presenta al usuario la lista de elementos geográficos que están contenidos en el mapa.

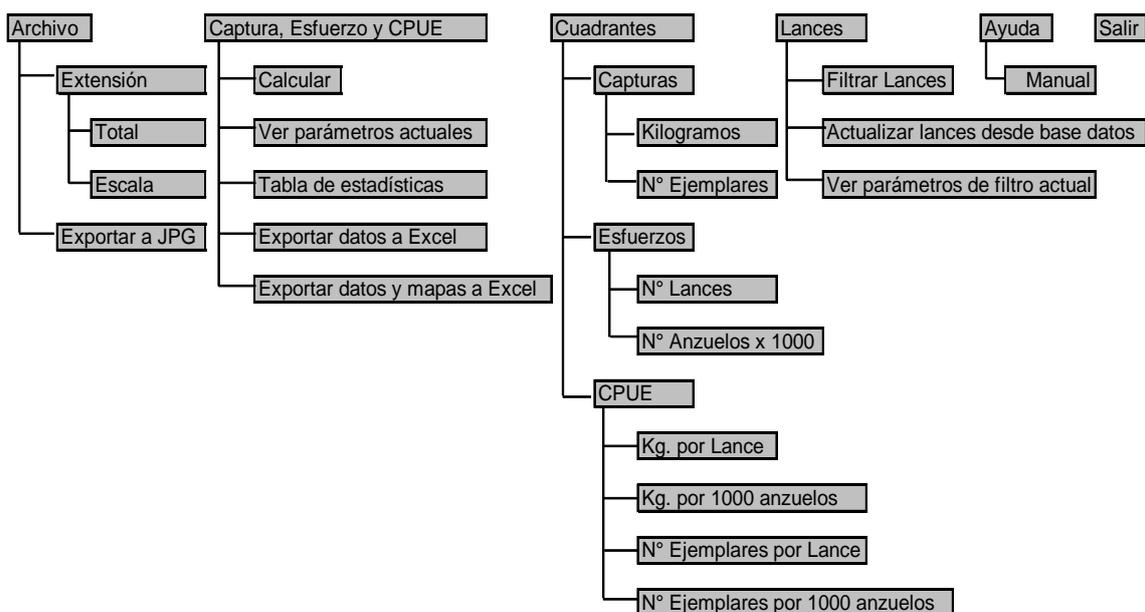


Figura 9. Sistema de menús del SIG.

La opción “Filtrar Lances” del menú “Lances” despliega una ventana que permite al usuario filtrar la capa de puntos de lances para las variables: mes, trimestre, año, profundidad mínima anzuelo, profundidad máxima anzuelo, especie y / o sexo. La opción “Calcular” del menú “Captura, Esfuerzo y CPUE” despliega una ventana similar pero, además de permitir filtrar por todas las variables mencionadas, también seleccionar el tamaño de cuadrante para los cálculos: 1 grado ó 30 minutos.

4.1.4. Diseño de salidas

- **Mapas de captura, esfuerzo y CPUE:** En pantalla, el sistema presenta por defecto un mapa de la zona de estudio en la que se muestra una capa de puntos de todos los lances de pesca contenidos en la base de datos. Sin embargo, cuando el usuario ejecuta la opción de calcular Captura, Esfuerzo y CPUE, el sistema oculta a la capa de lances y agrega al mapa una capa de cuadrantes (polígonos cuadrados) con simbología de graduación de colores que permite visualizar la distribución espacial de las capturas (en kilos ó N° de ejemplares), del esfuerzo (en lances ó N° anzuelos x 1000) ó de la CPUE. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de mapa de CPUE (en Kg por lance) para las hembras de la especie *Istiophorus albicans* capturadas en el segundo trimestre de todos los años de muestreo. Se puede apreciar en la leyenda (Figura 10) que las capas estándar del mapa: topografía, batimetría, zonas de pesca, lances, nombres de países y cuadrantes, pueden activarse / desactivarse pulsando sobre el respectivo *check*. También puede apreciarse que el sistema presenta al usuario las coordenadas extremas del mapa (para cualquier nivel de *zoom*). Estos mapas pueden ser exportados a formato JPG.

- **Tabla de estadísticas:** Una vez calculadas las capturas, esfuerzos y CPUE, el sistema presenta al usuario una tabla con las estadísticas básicas respectivas tanto para todos los cuadrantes como para los cuadrantes de cada zona de pesca. A esta tabla se accede mediante la opción “tabla de estadísticas” del menú “Captura, Esfuerzo, CPUE” y las estadísticas que ofrece son: máximo, mínimo, promedio y suma total.

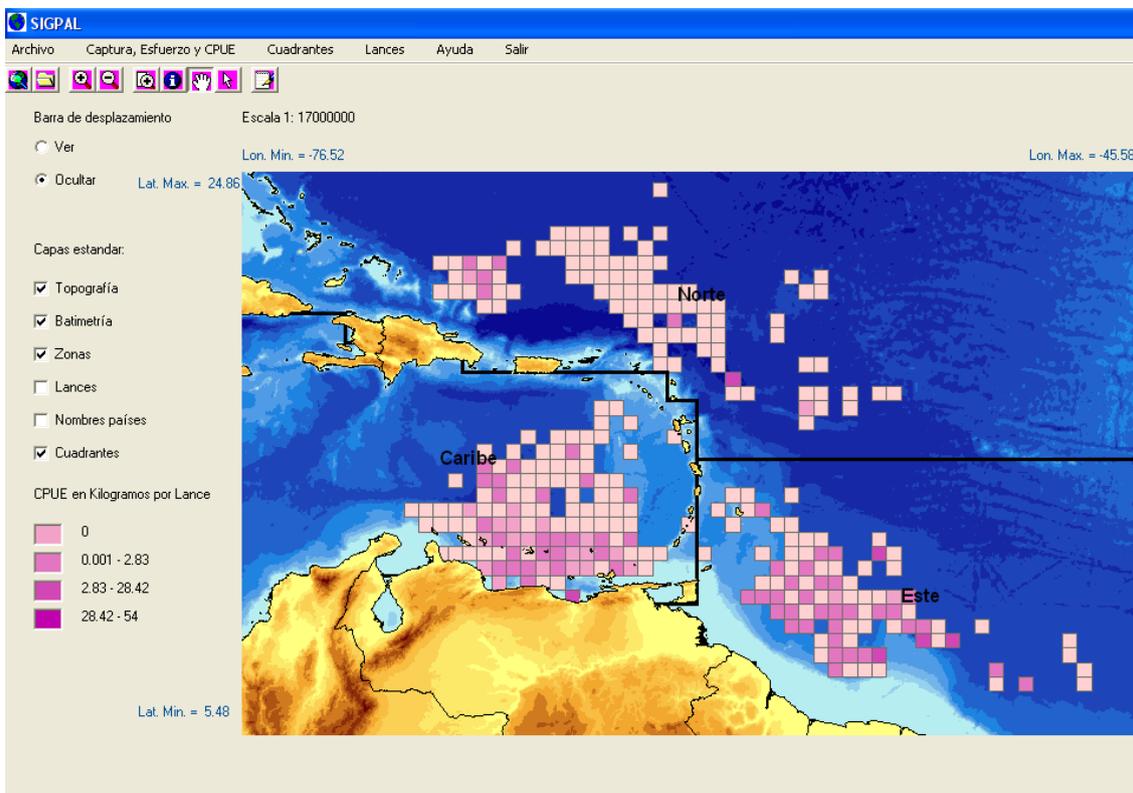


Figura 10. CPUE en kilogramos por lance para hembras de la especie *Istiophorus albicans* (pez vela del Atlántico) en el segundo trimestre de los años de muestreo (1987 – 2010).

- **Archivos Excel:** Los atributos de la capa cuadrantes (captura, esfuerzo y CPUE) pueden ser exportados a archivos en formato *Microsoft® Excel*. Se agrega esta opción al sistema ya que los investigadores pesqueros pueden efectuar diversos análisis para evaluar a la pesquería (a partir de estas variables de captura, esfuerzo y CPUE), sin necesidad de aprender a utilizar algún software SIG. Existen dos opciones para este proceso: 1) exportar solo la tabla de atributos, y 2) exportar la tabla de atributos y crear una tabla adicional para cada variable con una distribución de las celdas semejante a la distribución espacial de los cuadrantes, por lo que cada hoja Excel emula a un mapa.

4.1.5. Modelado de datos

4.1.5.1. Modelo conceptual de datos

En la Figura 11 se presenta el modelo conceptual para aquellas tablas y campos de la base de datos original que son requeridos para el sistema.

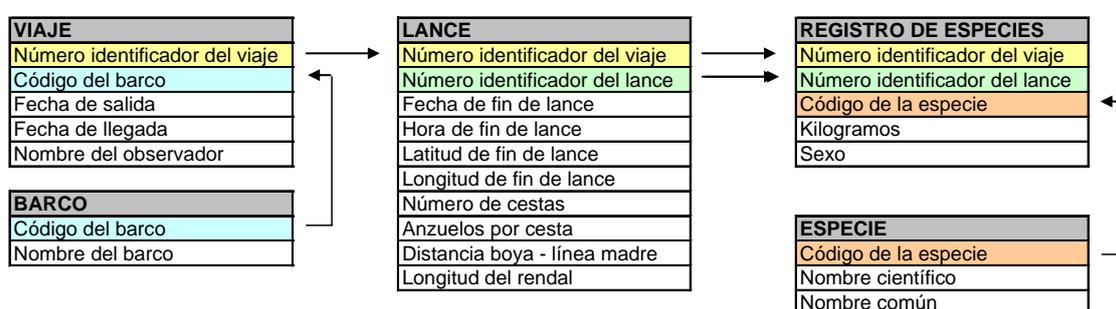


Figura 11. Modelo conceptual de datos del sistema.

4.1.5.2. Modelado de datos espaciales

En la Tabla 4 se describe a las entidades espaciales del sistema involucradas en los análisis espaciales. Además de estas entidades, el mapa base está compuesto por las capas de batimetría, topografía y división política. En la Tabla 5 se presenta un listado de las entidades espaciales fundamentales y sus atributos.

ENTIDAD ESPACIAL:	TIPO DE ENTIDAD:	DEFINICIÓN DE COORDENADAS:
Lances	Punto	Latitud y longitud de fin de lance
Zonas de pesca	Punto	3 Polígonos irregulares ubicados dentro de la zona de estudio y cuyos límites se describieron en la sección 3.3. (<i>Zona de estudio</i>).
Cuadrantes de 1 grado	Polígono	Polígonos contiguos cuadrados cuyos lados miden 1 grado que cubren toda la zona de estudio y cada uno se identifica por un número.
Cuadrantes de 30 minutos	Polígono	Polígonos contiguos cuadrados cuyos lados miden 30 minutos que cubren toda la zona de estudio y cada uno se identifica por un número.

Tabla 4. Entidades espaciales del sistema.

ENTIDAD ESPACIAL:	ATRIBUTO:	VARIABLE PESQUERA PARA MEDIR:
- Lance_registro *	Número del viaje Número del lance Mes Trimestre Año Kilogramos Número de Anzuelos Profundidad de anzuelo Latitud de fin de lance Longitud de fin de lance Especie Sexo	
- Zona de pesca	Nombre de la zona de pesca	
- Cuadrante de 1 grado	Número identificador del cuadrante Nombre de la zona de pesca Kilogramos	Capturas
- Cuadrante de 30 minutos	Número de ejemplares Número de lances Números de anzuelos (por mil) Kilogramos por Lance Ejemplares por Lance Kilogramos por mil anzuelos Ejemplares por mil anzuelos	Capturas Esfuerzo de pesca Esfuerzo de pesca CPUE CPUE CPUE CPUE

* Los atributos de la entidad “Lance_registro” son producto de la “desnormalización” de las tablas “Lance” y “Registro de especies” de la base de datos original (Reeve, 2001).

Tabla 5. Listado de entidades espaciales fundamentales y sus atributos.

4.1.6. Diseño de funciones de procesamiento

- Actualizar Lances desde la Base de Datos
- Activar visualización de capa de Lances y cuadrantes de 1 grado
 - Quitar filtros de capas de Lances y de cuadrantes (si existieran)
 - Desactivar menú “Cuadrantes” y todas las opciones del menú “Captura, Esfuerzo y CPUE” menos la opción “Calcular”
 - Copiar respaldo de la base de datos original
 - Asignar fecha y hora de actualización
 - Ocultar etiquetas de CPUE (si están activas)
 - Convertir a negativo las coordenadas de Longitud
 - Crear y calcular campo clave combinando campos “Viaje” y “Lance” en las tablas “Lance” y “Registro de especies”
 - Combinar (*JOIN*) las tablas “Lance” y “Registro de especies” para crear la tabla “Lances_registro”
 - Crear una capa de eventos XY a partir de la tabla “Lances_registro” Utilizando las coordenadas de fin de lance
 - Convertir la capa de eventos XY en la nueva capa de Lances del sistema
 - Filtrar la capa de cuadrantes mediante intersección espacial con capa de Lances

Calcular
Captura,
Esfuerzo y
CPUE por
Cuadrantes

- Desactivar visualización de capas (y *checks*) de lances y de cuadrantes
- Desactivar visualización de etiquetas de CPUE (si están activas)
- Visualizar en pantalla mensaje de espera al usuario
- Leer parámetros filtro (mes, trimestre, año, profundidad, especie, sexo)
- Leer tamaño de cuadrante de salida (1un grado ó 30 minutos)
- Copiar y abrir base de datos respaldo de la original
- Crear tabla “Esfuerzo” aplicando todos los filtros excepto especie y sexo a la tabla “Lances_registro” agrupando por lance
- Crear tabla “Captura” aplicando todos los filtros a la tabla “Lance_registro” agrupando por lance
- Combinar (*LEFT OUTER JOIN*) las tablas “Esfuerzo” y “Captura” para crear la tabla “CPUE” (manteniendo todos los esfuerzos aunque estos no hayan generado capturas)
- Crear y calcular campos CPUE (Kg/lance, Ej/Lance, Kg/Anz, Ej/Anz)
- Crear capa de eventos XY a partir de la tabla “CPUE”
- Crear capa de puntos CPUE.shp
- Filtrar capa de cuadrantes solo para aquellos que contengan puntos de la Capa CPUE
- Calcular Captura, Esfuerzo y CPUE para todos los puntos contenidos en cada cuadrante y asignar los valores obtenidos a la tabla de atributos
- Aplicar simbología graduación de colores a la capa de cuadrantes
- Actualizar leyenda de capa de cuadrantes
- Activar visualización de capa de cuadrantes y su respectiva leyenda
- Ocultar mensaje de espera al usuario

4.1.7. Diseño de los controles

- **Actualizar Lances desde la Base de Datos**
 - a) Validar nombre de la base de datos origen.
 - b) Verificar estructura de la base de datos origen.
 - c) Validar coordenadas dentro de la zona de estudio

- **Calcular Captura, Esfuerzo y CPUE por Cuadrantes**
 - a) Validar que exista la base de datos respaldo de la original.
 - b) Verificar que existan esfuerzos de pesca para filtro especificado.
 - c) Verificar que existan capturas para filtro especificado.

4.2. Desarrollo

4.2.1. Selección de software

El Instituto Oceanográfico de Venezuela cuenta con los software de programación *Microsoft® Visual Basic 6* y *Python*, con los software SIG comerciales: *ESRI® MapObjects*, *ESRI® ArcGis 9.1* e *Idrisi Kilimanjaro*, y con los software SIG libres: *GvSIG*, *SAGA GIS* y *MapWindow*. Por lo tanto no hubo la necesidad de efectuar consideraciones de tipo económico, así que la decisión de escoger el software a utilizar se limitó a comparar entre 3 posibilidades:

- *ESRI® MapObjects – Microsoft® Visual Basic*
- *ESRI® ArcGis (ArcObjects) – Microsoft® Visual Basic - Python*
- *Idrisi Kilimanjaro - Microsoft® Visual Basic*

Se decidió por la segunda opción debido a que: a) programar utilizando el control *Mapcontrol* de *ArcGis* facilita mucho la creación del mapa base, b) *Mapcontrol* y *ArcObjects* permiten crear una aplicación con una interfase independiente atractiva y amigable sin mucho esfuerzo de programación, c) Los usuarios del sistema ya disponen de licencias del software *ArcGis* en sus computadoras, d) La posibilidad de utilizar *script* escritos en lenguaje *Python* disminuye el tiempo y complejidad de la programación, e) Pruebas preliminares permitieron estimar que parte de las dos tareas fundamentales del SIG automatizado (actualizar lances desde base de datos y calcular captura, esfuerzo y CPUE) se efectúan en tiempos significativamente inferiores mediante *scripts* escritos en lenguaje *Python* aprovechando la potencia analítica del software *ArcGis*.

4.2.2. Programación del SIG automatizado

El SIG automatizado fue programado fundamentalmente en los lenguajes *ESRI® ArcGis ArcObjects* y *Microsoft® Visual Basic 6*. El mapa base, elemento principal de la interfase, fue desarrollado sobre un control *MapControl* ubicado en el formulario

inicial del sistema. Todas las tareas típicas de un software SIG, tales como: *zoom*, identificar, arrastrar y exportar, fueron implantadas en los lenguajes mencionados. Sin embargo, las dos funcionalidades principales del SIG automatizado: a) actualizar lances desde la base de datos, y b) calcular captura, esfuerzo y CPUE por cuadrantes; fueron desarrolladas en parte en estos lenguajes y en parte en *scripts* escritos en lenguaje *Python – ArcGis*. Destaca en ambas funcionalidades la aplicación del lenguaje de consulta estructurado SQL para efectuar el proceso previo de los datos antes crear las capas de puntos y asignar los valores obtenidos a las tablas de atributos de las capas de Lances y de Cuadrantes, respectivamente. Esto permitió un ahorro sumamente significativo de tiempo de procesamiento en comparación a si las tablas originales de la base de datos se convirtieran directamente en capas de puntos y posteriormente se efectuaran todos los análisis a partir de los atributos de sus tablas. De hecho, en el computador donde se efectuaron las pruebas preliminares para actualizar la capa de lances, el tiempo total mediante procesamiento previo con SQL fue poco más de 6 minutos mientras que sin procesamiento previo fue mayor a 20 minutos (Balena, 2000; Lindemann, Markham, Burke, Davis & Tilton, 2004; Tucker, 2004). El proceso simplificado de actualizar la capa de puntos de lances desde la base de datos se presenta en la Figura 12, mientras que el cálculo de captura, esfuerzo y CPUE es similar al proceso de actualizar lances desde la base de datos (ver Figura 13). Se crean dos tablas relativas a esfuerzos de pesca y a capturas agrupadas por lance y que cumplan las condiciones de “filtrado” determinadas por el usuario, luego se combinan estas tablas conservando todos los datos de esfuerzo de pesca (independientemente de si generaron capturas o no) para crear una nueva tabla de CPUE, la cual es posteriormente convertida a una capa de puntos. Por último se efectúa análisis espacial para obtener la suma de capturas, esfuerzos y CPUE de todos los puntos contenidos en cada cuadrante, se asignan los respectivos valores resultantes a la tabla de atributos de la capa de cuadrantes y se aplica simbología de graduación de colores para generar mapas como el presentado en la Figura 10 (sección 4.1.4.). La sentencia principal de esta parte del programa es la que combina las tablas de esfuerzos de pesca y capturas:

```
select * into [CPUEx] from [Esfuerzo] left outer join [Captura] on Esfuerzo.clave
= Captura.clave
```

1) Respaldo base de datos



2) Crear y calcular campo "Clave"

```
update [Registro de Especies] set [Clave] = [VIAJE_NUM]*100000+[LANC] where [VIAJE_NUM] <> NULL AND [LANC] <> NULL"
```

Lances		
Viaje	Lance	Clave
1	1	1000001
1	2	1000002
1	3	1000003
2	1	2000001
2	2	2000002
3	1	3000001
3	2	3000002
3	3	3000003

Registro de especies		
Viaje	Lance	Clave
1	1	1000001
1	1	1000001
1	1	1000001
1	2	1000002
1	2	1000002
1	3	1000003
2	1	2000001
2	1	2000001

3) Combinar tablas

```
select * into [Lances_registro] from [Lance] inner join [Registro de Especies] on lance.clave = [Registro de Especies].clave where Lance.Lat_inicio_levada > 0 and Lance.Lat_inicio_levada < 25 and Lance.Lon_inicio_levada > -80 and Lance.Lon_inicio_levada < -40
```

4) Ejecutar script para crear capa de Lances (puntos) a partir de la tabla "Lances_registro"

```
ShellExecute(Me.hwnd, "Open", "C:\SIGPAL\SCRIPTS\Actualizar Lances.py", "", "", 1)
```

```
# Process: Make XY Event Layer...
gp.MakeXYEventLayer_management(Lances_registro, "Longitud", "Latitud",
Layer_Name_or_Table_View,
"GEOGCS['GCS WGS 1984',DATUM['D WGS 1984',SPHEROID['WGS 1984',6378137.0,298.257223563]],PRIMEM['Greenwich',0.0],UNIT['Degree',0.0174532925199433]];-10000 -10000 100000;0 100000;0 100000")

# Process: Copy Features...
gp.CopyFeatures_management(Layer_Name_or_Table_View,
Output_Feature_Class, "", "0", "0", "0")
```

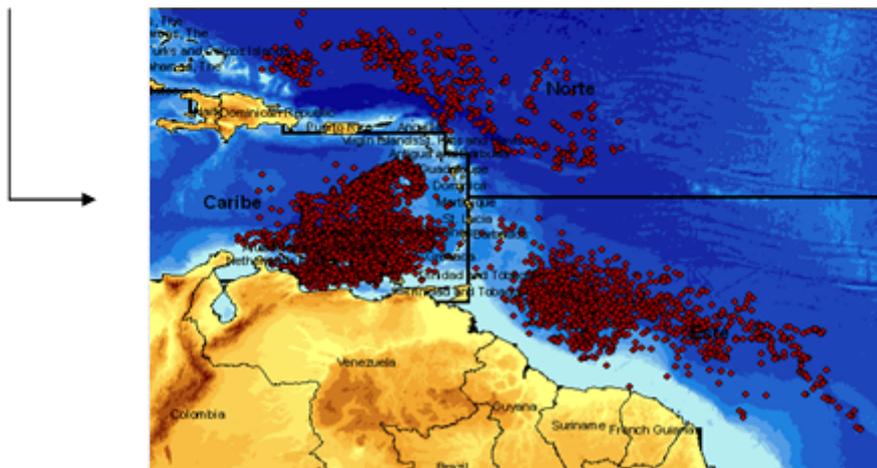


Figura 12. Proceso (simplificado) de actualizar la capa de lances desde la base de datos.

La graduación de colores se define para 4 rangos, cuyos límites superiores son: a) $(\text{promedio} + \text{mínimo}) / 2$, b) promedio, c) $(\text{promedio} + \text{máximo}) / 2$, y d) máximo. El usuario selecciona en el menú “Cuadrantes” la opción de la variable que desea observar en el mapa: captura (en kilogramos ó número de ejemplares), esfuerzo (en lances ó número de anzuelos por mil), ó CPUE (ver Figura 9 en la sección 4.1.3.).

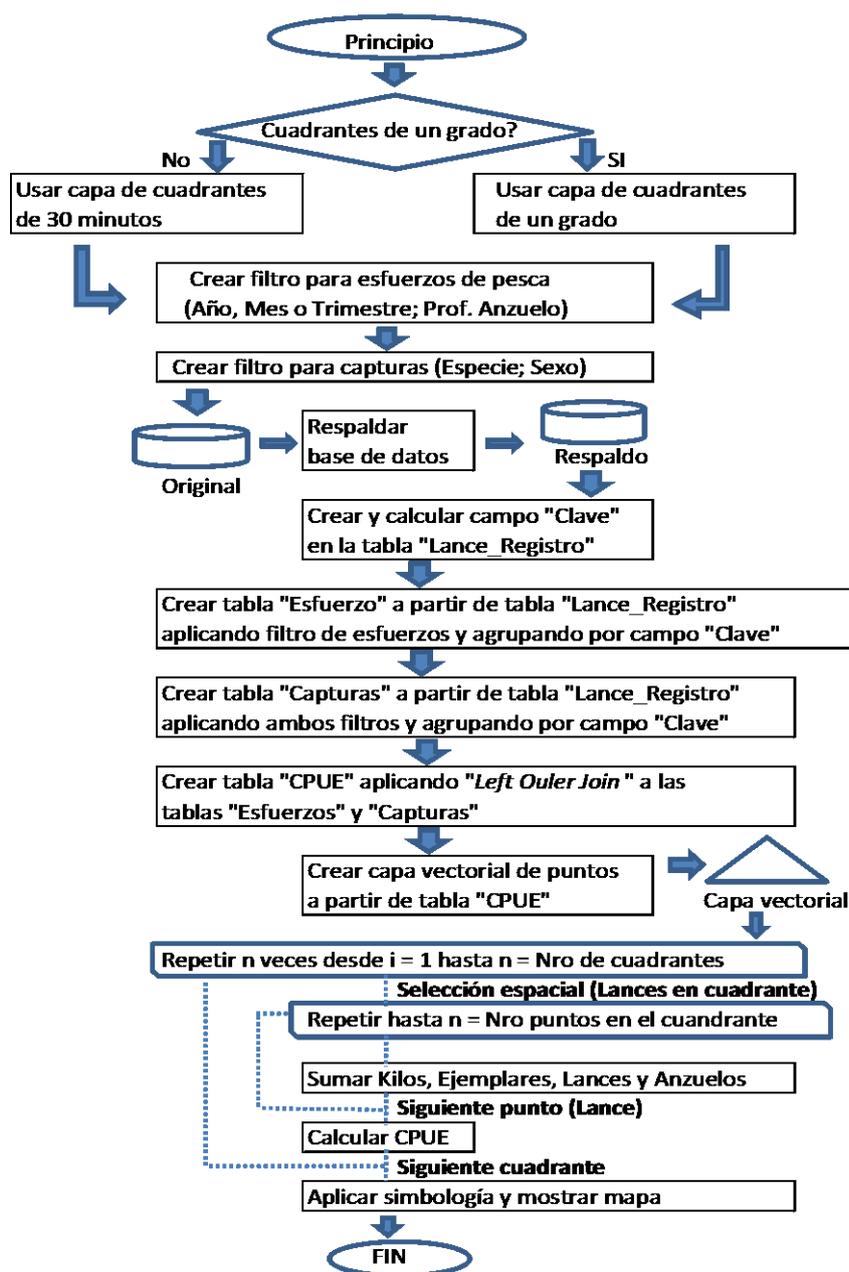


Figura 13. Diagrama de flujo del proceso para calcular capturas, esfuerzos de pesca y Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) para cada cuadrante geográfico.

4.2.3. Prueba del SIG automatizado

Se diseñó una planilla que contenía un listado de todas las funcionalidades del SIG automatizado con su respectivo *check*. Se efectuaron las pruebas de cada funcionalidad hasta verificar su buen funcionamiento o corregir (si era el caso), y al considerarse comprobada dicha funcionalidad se colocaba una marca en el *check* correspondiente. La planilla contenía posibles casos de error que debían superar los controles descritos en la sección 4.7. En esos casos se procedió a verificar que cada uno de los controles cumplía su cometido. Sin embargo, todavía se considera que la versión actual del SIG automatizado es provisional (ó *beta* como se conoce en la jerga informática) hasta que sea utilizado, y comprobado su buen funcionamiento, durante varios meses.

4.2.4. Documentación del sistema

La documentación del sistema consistió en:

- a) El presente trabajo
- b) La inclusión de comentarios en el programa, que faciliten en un futuro la modificación ó ampliación del sistema, y
- c) La elaboración de un manual del usuario, al cual se puede acceder desde el menú “Ayuda” del SIG automatizado.

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Alcance

El producto principal del presente trabajo es un nuevo SIG automatizado, que ya se encuentra implantado y operativo en el Departamento de Biología Pesquera del Instituto Oceanográfico de Venezuela, el cual permite a los investigadores utilizar la información contenida en la base de datos de las operaciones pesqueras de la flota pesquera industrial atunera con palangre asentada en la ciudad de Cumaná – Venezuela. Este sistema permite a investigadores con poco conocimiento de SIG actualizar la capa de puntos relativa a las operaciones de pesca (lances) y filtrar la información en base a: mes, trimestre, año, profundidad mínima, profundidad máxima, especie y / o sexo para generar mapas y tablas que reporten las capturas, esfuerzos y Capturas Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) por cuadrantes geográficos de una manera amigable al usuario. Este SIG automatizado constituye una herramienta que facilita el procesamiento de grandes volúmenes de datos en poco tiempo para producir información de la distribución espacio-temporal tanto de la flota de pesca como de las especies que esta captura, lo cual permite mejorar la calidad de las publicaciones producidas en el IOV y de los aportes que este Instituto ofrece tanto a los industriales pesqueros como a las organizaciones gubernamentales encargadas de controlar la actividad pesquera, lo cual produce beneficios científicos, sociales, económicos y ambientales en el área de influencia de esta pesquería.

La metodología propuesta para el desarrollo del presente trabajo constituye un aporte por sí mismo, ya que esta es el resultado de combinar la metodología clásica del análisis y diseño de sistemas informáticos con la metodología específica para el diseño, desarrollo e implantación de un SIG. La forma en la cual se implantó el sistema también constituye un aporte al conocimiento para el desarrollo de SIG automatizados, ya que se combinó el procesamiento previo de los datos utilizando SQL, la programación SIG con el lenguaje ESRI® ArcObjects, la utilización de *scripts* en lenguaje *Python* y la intercepción espacial previa de las capas para disminuir el esfuerzo de programación y mejorar drásticamente la velocidad de procesamiento.

En la tabla 6 se presentan todos los (sub) productos generados durante la ejecución de cada actividad del trabajo descrito en este informe, agrupadas en dos etapas bien diferenciadas: 1) El análisis y diseño del sistema, y 2) El desarrollo del sistema.

ETAPA	ACTIVIDAD	PRODUCTO
Análisis y diseño del sistema	Análisis de la base de datos existente	Listado de tablas y campos de la base de datos actual requeridos para el nuevo sistema
	Identificación de requerimientos de información	Tabla de información específica requerida para: 1) ubicar geográficamente los lances, 2) Calcular esfuerzo de pesca, y 3) Calcular capturas
	Diseño de entradas	Diseño de interfaces del sistema (ventanas)
		Diseño del sistema de menús
	Diseño de salidas	Diseño de los mapas de captura, esfuerzo y CPUE
		Diseño de la tabla de estadísticas
		Diseño de la tabla Excel a exportar datos
	Modelado de datos	Modelo conceptual de datos
		Modelado de datos espaciales
		Diseño de funciones de procesamiento de: 1) Actualizar capa de puntos de lances de pesca, y 2) Cálculos de captura, esfuerzo y CPUE
Diseño de los controles	Diseño de los controles de: 1) Actualizar capa de puntos de lances de pesca, y 2) Cálculos de captura, esfuerzo y CPUE	
Desarrollo del sistema	Selección de software	Lista de opciones de software a utilizar
		Lista de software seleccionados
	Programación del SIG automatizado	Mapa base
		Algoritmos y modelos cartográficos de las funciones de procesamiento
		Programas y scripts
	Prueba del sistema	Planilla con lista de funcionalidades del sistema a evaluar con su respectivo cuadro de <i>check</i>
	Documentación del sistema	Reporte del proyecto de tesis (presente trabajo)
		Comentarios ubicados dentro de los programas
		Manual del usuario

Tabla 6. Lista de productos generados en cada actividad del proyecto.

5.2. Limitaciones

No se encontraron dificultades para lograr todos los objetivos propuestos. Las limitaciones que presenta el SIG automatizado desarrollado son las que se tenían previstas al inicio de presente trabajo:

- **GEOGRÁFICAS:** Las capas principales del sistema no ofrecen ninguna limitante geográfica, ya que la capa de puntos de las operaciones pesqueras es creada a partir de las coordenadas almacenadas en la base de datos y la capa de línea de costa abarca todo el planeta. Sin embargo, las capas de hipsometría (topografía y batimetría) si están limitadas al área que previamente se sabe opera esta flota, por lo que si se desea utilizar este SIG automatizado para datos de una flota similar que opera en otra región es recomendable actualizar primero en el mapa base el área cubierta por estas dos capas hipsométricas.

- **APLICABILIDAD:** Aun cuando este sistema fue creado para una flota en particular que opera en una región geográfica específica, este SIG automatizado puede ser utilizado para analizar bases de datos de otros tipos de flotas y / o que operen en otras regiones con pocos o ningún cambio en el sistema.

- **FUNCIONALES:** Las funcionalidades implantadas en el sistema son las previstas en los objetivos. Sin embargo, el sistema puede expandirse mediante la incorporación de nuevas funcionalidades según las necesidades que requieran los investigadores del IOV en el futuro.

- **METODOLÓGICAS:** Tal como se mencionó en la sección 3.2., de las cuatro etapas requeridas para implantar por completo un SIG automatizado, en el presente trabajo solo se desarrollaron las dos primeras como estaba previsto (etapa 1: *Análisis y Diseño*, y etapa 2: *Desarrollo*), mientras que la etapas 3 (*Operación*) y 4 (*Auditoría*) serán desarrolladas a futuro.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) Un SIG automatizado es una herramienta valiosa para ayudar a la evaluación espacio-temporal de una pesquería, en especial si esta comprende una extensa área geográfica como la pesquería industrial atunera con palangre asentada en la ciudad de Cumaná – Venezuela.
- b) Si una base de datos contiene las coordenadas de los elementos, estos pueden ser convertidos a entidades geográficas con sus respectivas tablas de atributos.
- c) Para la conversión de los datos almacenados en una base de datos a entidades geográficas es más eficiente, en cuanto a tiempo y consumo de capacidad de cómputo, el procesamiento previo mediante lenguaje de consulta estructurado SQL.
- d) La utilización de *scripts* en lenguaje *Python* disminuye el esfuerzo de programación y permite aprovechar directamente la potencia analítica del software ESRI® *ArcGis*.
- e) Las dos funcionalidades principales del SIG automatizado desarrollado en el presente trabajo son: a) la creación o actualización de la capa de lances desde la base de datos, y b) el cálculo de captura, esfuerzo y CPUE por cuadrantes. Ambas funcionalidades operan adecuadamente
- f) La intersección espacial de la capa (de puntos) de lances pesqueros y de la capa (de polígonos) de cuadrantes, previa al cálculo de capturas, esfuerzos y CPUE por cuadrante, disminuye significativamente el tiempo de procesamiento.

- g) La información de captura, esfuerzo y CPUE generada por el SIG automatizado constituye un insumo valioso para efectuar análisis posteriores por parte de los investigadores pesqueros, por lo que resultó conveniente la incorporación de la funcionalidad que permite exportar la respectiva tabla de atributos al *software Microsoft® Excel*.
- h) Cuando un SIG automatizado procesa información proveniente de una base de datos que continuamente se está actualizando, es indispensable incluir en el sistema una funcionalidad que permita almacenar la fecha (y hora) de la última actualización y se la presente al usuario.
- i) Se recomienda evaluar la posible incorporación futura al SIG automatizado de funcionalidades que permitan: a) caracterizar abundancia de las especies en relación a parámetros ambientales tales como temperatura, profundidad o distancia a la costa, b) presentar resultados en forma de series de tiempo, y c) incluir análisis por frecuencias de talla y madurez sexual.
- j) Se recomienda que antes de iniciar un proceso de expansión del sistema, este haya sido utilizado extensamente por los usuarios y durante ese período exista un permanente intercambio de opiniones y propuestas entre estos usuarios y el analista programador SIG.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F.G. (2006). El proyecto de investigación - Introducción a la metodología científica (5ª Ed.). Caracas: Editorial Episteme.
- Arocha, F. (2007). User's guide for the data-base of the Venezuelan pelagic longline observer program. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). Cumaná, Venezuela: ICCAT.
- Balena, F. (2000). Programación avanzada con Microsoft Visual Basic 6.0. Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.U.
- Bazigos, G.P. (1975). Esquema de encuestas sobre estadísticas de pesca. Aguas continentales. Roma: FAO Doc. Téc. Pesca (133).
- Cohen, C. (1987). Análisis y diseño de sistemas. Caracas: Universidad Nacional Abierta (UNA).
- Comisión de Pesca para el Atlántico Centro-Occidental (COPACO) (1987). Informe de la consulta de expertos sobre el empleo de microcomputadoras para el tratamiento de datos estadísticos y biológicos de la pesca. Chaguaramas, Trinidad y Tobago, 17-21 de Noviembre de 1986. Roma: FAO Inf. Pesca (381).
- Eastman, J. (1997). Idrisi para Windows version 2.0. Guía del usuario. Worcester, USA: Clark University.
- Giménez, C., Salaya, J.J. & Molinet, R. (1993). La pesca industrial de arrastre. Punto Fijo, Venezuela: Editorial Grupo Carirubana.
- Ginés, H. (Ed.). (1972). Carta pesquera de Venezuela. Tomo I – Áreas del Nororiente y Guayana. Caracas: Fundación La Salle de Ciencias Naturales (FLASA).
- González, R. (1994). Diccionario de términos SIG. Extraído el 22 de Enero del 2001 desde http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/geofoto/geo_html/informacion/pdf/diccionario_sig.pdf
- Grech, P. & Lameda, C. (1990). Computación I. Caracas: Universidad Nacional Abierta (UNA).

- Holden, M.J. & Raitt, D.F.S. (Eds.). (1975). Manual de Ciencia Pesquera. Parte 2 – Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Roma: Doc. Téc. FAO Pesca (115).
- Kesteven, G.L. (1973). Manual de Ciencia Pesquera. Parte 1 – Una introducción a la ciencia pesquera. Roma: FAO Doc. Téc. Pesca (118).
- Lindemann, J.; Markham, L., Burke, R.; Davis, J. & Tilton, T. (2004). Introduction to programming arcobjects with VBA. Redlands, USA: Environmental Systems Research Institute (ESRI).
- Meaden, G.J. & Do Chi, T. (1996). Geographical information systems: applications to machine fisheries. Roma: FAO Fisheries Technical Paper (356).
- Murai, S. (1999). Libro de trabajo SIG. Volumen 1: Curso básico. *Revista SELPER*, vol. 15, N° 1: 8 – 66.
- Novoa, D., Mendoza, J., Marcano, L. & Cárdenas, J.J. (1998). El atlas pesquero marítimo de Venezuela. Caracas: Servicio Autónomo de los Recursos Pesqueros y Acuícolas (SARPA) – Ministerio de Agricultura y Cría (MAC).
- Panayotou, T. (1983). Conceptos de ordenación para las pesquerías en pequeña escala: aspectos económicos y sociales. Roma: FAO, Doc. Téc. Pesca (228).
- Reeve, D. (2001). Bases de datos, estructuras y modelos de datos espaciales. Girona, España: Universidad de Girona - UNIGIS.
- Salvat, J. (Ed.). (1975). El mar, gran enciclopedia salvat. Tomo 6. Pamplona, España: Salvat S.A. de ediciones.
- Seijo, J.C., Defeo, O. & Salas, S. (1997). Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo. Roma: FAO Doc. Téc. Pesca (368).
- Senn, J. (1996). Análisis y diseño de sistemas de información (2ª Ed.). México: McGraw – Hill.
- Silva, J. (1997). Sistema de procesamiento de encuestas de producción pesquera artesanal (SISPRO 1.0). Cumaná, Venezuela: Coordinación de publicaciones del Núcleo de Sucre de la Universidad de Oriente (UDO).
- Sparre, P. & Venema, S.C. (1995). Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. Roma: FAO Doc. Téc. Pesca (306).
- Stevenson, D., Pollnac, R. & Logan, P. (1982). Guía para la administración de la pesca en pequeña escala: Información del sector pesquero. Kingston: ICMRD.

Tucker, C. (2004). ArcGis 9 - Writing geoprocessing scripts with ArcGis. Redlands, USA: Environmental Systems Research Institute (ESRI).

Welch, C., Arnon, D., Cochran, H., Erk, F., Fishleder, J., Mayer, W., Pius, S., Shaver, J. & Smith, F. (1984). Ciencias biológicas (13^a Ed.). México: Compañía editorial Continental.

Whitten, J., Bentley, L. & Barlow, V. (2003). Análisis y diseño de sistemas de información (3^a Ed.). México: McGraw – Hill.

Wikipedia, la enciclopedia libre (2011). Extraído el 15 de enero del 2001 desde [http://es.wikipedia.org/wiki/Script_\(inform%C3%A1tica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Script_(inform%C3%A1tica))

