

**Propuesta metodológica para delimitación de bosques de manglar a partir de datos satelitales utilizando SPRING v 4.1, en la reserva de biósfera Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano**

Pilar Lozano Rivera <sup>1</sup>  
Paula Cristina Sierra-Correa <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis”  
Cerro Punta Betín, Santa, Colombia  
plozano@invemar.org.co

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis”  
Cerro Punta Betín, Santa, Colombia  
psierra@invemar.org.co

**Abstract.**

The "Ciénaga Grande de Santa Marta" is located in the north coast of Colombia 10°43' - 11°00' North and 74°16' - 74°38' west. It has been designated as Biosphere Reserve by the UNESCO in 2000. This marsh has a strategic importance for the neotropical region because of its remarkable ecological, hydrological and geomorphological characteristics, some of them unique. Recently, its mangrove covering area has been evaluated based on satellital data by means of several methodologies yielding to a geographic information data base of almost 50 years. Here we propose a unified methodology to assess errors and confidence level on new databases. It is based on image segmentation and supervised and unsupervised algorithms for region classification implemented in SPRING v. 4.1. Encouraging results have been obtained in segmentation while using the spectral bands of red and infrared (bands 3 4 and 5 of Landsat) with a similarity threshold of 8 and area threshold of 50. Furthermore, to use ISOSEG and Bhattacharya algorithms with a 95% confidence level for unsupervised and supervised tasks respectively.

**Palabras-clave:** remote sensing, image processing, mangroves, SPRING



fotografías aéreas obtuvo la cobertura de manglar para los años 1956, 1968 y 1987. Posteriormente, Gónima et al.(1998) con imágenes SPOT XS1 de 1993 y 1995 y aplicando el concepto físico sobre la interacción de la radiación solar con la atmósfera y con las diferentes superficies terrestres, delimitaron el manglar para la CGSM utilizando un algoritmo de radiación global y radiación solar neta espectral por banda. Villamil (2000) usó imágenes SPOT de los años 1993, 1995, 1997 y Landsat ETM para el año 1999; aplicó procedimientos complementarios a la interpretación visual, como clasificación no supervisada y supervisada e índices de vegetación (NDVI y Taselled Cap).En el trabajo de Rivera et al. (2001) procesaron imágenes Landsat ETM 5 de los años 1985, 1986 y 1987, SPOT de 1993 y 1995 y Landsat ETM de 1999. El método utilizado fue inspección visual a partir de una composición Falso Color Infrarrojo. El Laboratorio de Sistemas de Información (LabSI) del INVEMAR en el año 2002 realizó el procesamiento de la imagen Landsat ETM+ del 2001 (González y Rendón, 2002) basada en interpretación visual.

**Tabla 1. Trabajos previos de cálculo de área de bosque de manglar en la CGSM usando sensores remotos**

Año	Área de Manglar Vivo (Km <sup>2</sup> )	Trabajos anteriores
1956	511,5	González, 1991
1968	490,6	González, 1991
1987	303,4	González, 1991
1993	210,2	Gónima et al., 1998
1995	177,57	Gónima et al., 1998
1993	264,4	Villamil, 2000
1995	225,8	Villamil, 2000
1997	237,7	Villamil, 2000
1999	257,5	Villamil, 2000
2001	278,5	LabSI INVEMAR, 2001

### 3. Metodología y resultados

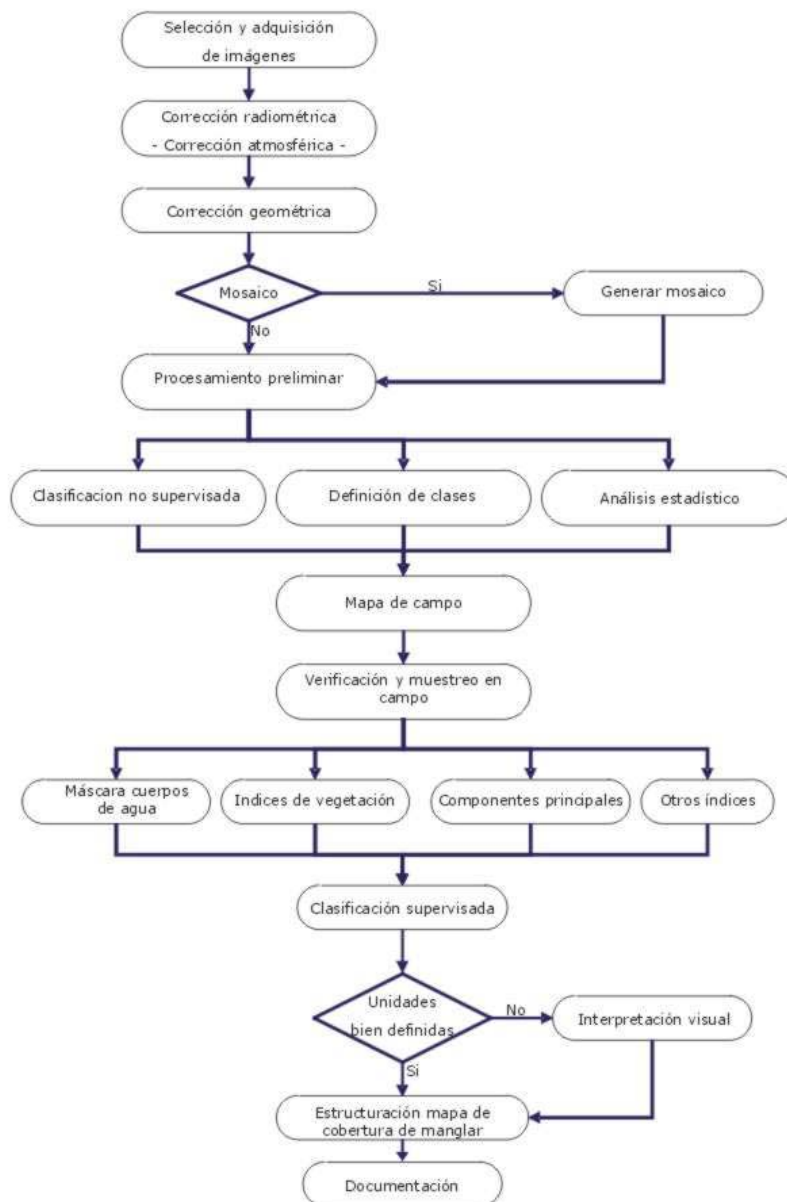
La propuesta metodológica para obtener los valores de cobertura del bosque de manglar en la CGSM se describe a continuación y se puede observar en la **Figura 2**.

#### 3.1 Selección y adquisición de imágenes

En esta primera etapa se define sensor, resolución espacial, espectral y temporal, número de imágenes, escala de mapa de salida, precisión, costo y tiempo de adquisición. La adquisición puede hacerse por compra al representante de ventas en el país ó por vía Internet a través de los servicios de FTP.

#### 3.2 Correcciones radiométricas

Las correcciones radiométricas modifican la imagen con el objetivo de acercarlos a una recepción ideal. Comprenden la restauración de líneas o pixeles perdidos, corrección del bandeo de la imagen y las correcciones atmosféricas. La atmósfera ejerce influencia en la respuesta espectral de los objetos a través de la absorción de gases y dispersión por aerosoles y moléculas de la energía electromagnética que es recibida por el sensor (Slater, 1980; Chávez, 1988;). Diversos métodos han sido desarrollados para corregir estos efectos, en particular el efecto de dispersión atmosférica. Entre estos métodos se puede citar el 6S de Vermote et al. (1997), que se basa en los parámetros relativos al sensor, en las condiciones atmosféricas durante la adquisición de la imagen y en las características de la escena.



**Figura 2. Propuesta metodológica para delimitación de bosque de manglar en la CGSM usando sensores remotos**

### 3.3 Corrección Geométrica

Consiste en el cambio de posición de los píxeles respecto a un sistema de coordenadas previamente definido. Comprende una transformación geométrica que relaciona las coordenadas de una imagen (línea, columna) con las coordenadas de un sistema de referencia. La relación entre los dos sistemas de coordenadas (mapa e imagen) puede ser calculada a través de la definición de puntos de control en el terreno (Chuvieco, 1996).

### 3.4 Definición de clases de vegetación para el área de estudio

Consiste en precisar los tipos de cobertura que irán en la leyenda del mapa. Las unidades de cobertura propuestas para la CGSM son las siguientes: Bosque de manglar denso, Bosque de manglar poco denso o parcialmente defoliado, Bosque Seco Tropical, Bosque y cultivo, Vegetación rala de transición, Vegetación xerofítica, Vegetación de áreas inundables, Vegetación acuática, Pastizal, Pantano sin cobertura, Pantano con vegetación acuática, Playón, Suelo desnudo, Cuerpo de agua y Área Urbana.)

### 3.5 Máscara de cuerpos de agua

Al realizar la clasificación por crecimiento de regiones es importante eliminar la mayor cantidad de ruido posible, por ello sobre la banda del infrarrojo cercano (ETM4 en Landsat) se realiza una segmentación y clasificación de tal forma que son identificados y clasificados los cuerpos de agua y son convertirlos en una máscara donde se asigna el valor digital 0.

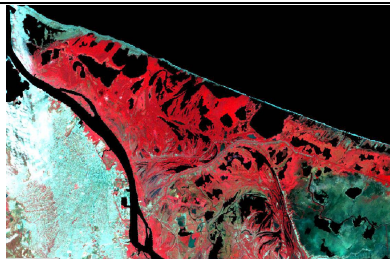
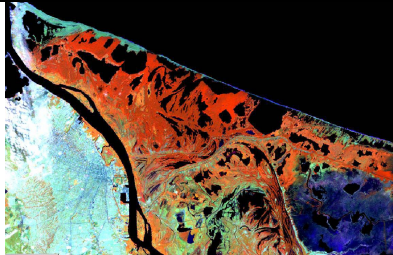
### 3.6 Transformaciones espectrales

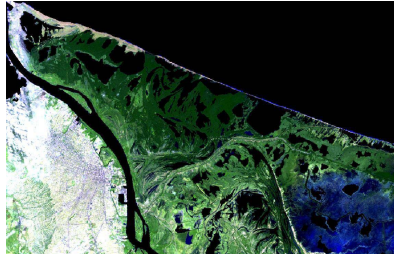
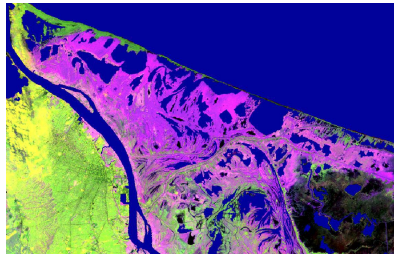
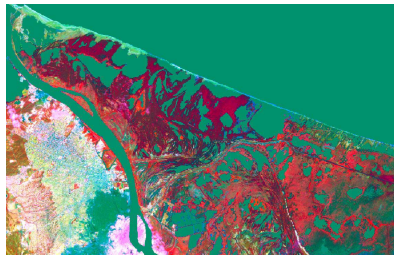
Las transformaciones espectrales de las imágenes son utilizadas para mejorar la calidad de la imagen, reduciendo redundancias de información, agregando información de otros sensores o removiendo ruidos. Entre estas técnicas se encuentran los índices de vegetación y el análisis de componentes principales. Dentro de los índices disponibles está el índice de radio simple, índice de diferencia normalizada de vegetación, índice de vegetación de porcentaje del infrarrojo, índice de diferencia de vegetación, índice de vegetación ajustado al suelo, entre otros. El análisis de componentes principales permite sintetizar las bandas originales, creando unas nuevas bandas que recogen la mayor parte de la información original (Chuvieco, 1996).

### 3.7 Composiciones de color

Desplegando una banda por cada uno de los tres colores primarios combinando su información espectral, rojo, verde y azul (RGB), es posible obtener una gran variedad de combinaciones que permiten extraer mayor información de la imagen. Algunas de las composiciones utilizando la nomenclatura de bandas en Landsat se encuentran en la **Tabla 3**.

**Tabla 3. Descripción de composiciones de color para la CGSM**

Composición de Color	Descripción	Muestra
432	Esta composición es comúnmente conocida como falso color y es muy usada para identificación de manglar con imágenes ópticas. El manglar está en color rojo, áreas urbanas color gris, cuerpos de agua en color negro, vegetación acuática color rosado. Y pantanos sin cobertura de color verde.	
453	Esta composición es la que da mejores resultados para la interpretación visual ya que muestra diversidad de colores por clases. Manglar en color rojo, vegetación acuática en color naranja o fucsia, pasto en color verde claro, áreas urbanas color gris-azul, suelo	

	<p>desnudo y playas en color blanco-verde, pantanos sin cobertura de color azul-blanco (azul pantano húmedo, blanco pantano seco). Las áreas de cultivos mixtos están entre colores naranjas y verdes.</p>	
<b>753</b>	<p>Esta combinación de color permite diferenciar claramente la cobertura de bosque de manglar en verde oscuro y cobertura de vegetación acuática en un verde un poco mas claro. Los pantanos están de color azul-blanco. Las áreas de cultivos mixtos están en verde claro y no es muy fácil su diferenciación con vegetación acuática. Las playas, suelo desnudo y áreas urbanas se observan muy bien en color blanco-rosado.</p>	
<b>45 NDVI</b>	<p>Esta composición de color utiliza las bandas del infrarrojo en el rojo y verde y el índice de vegetación en el azul, se resalta la vegetación en tonos de morados y lilas. Manglar se ve de color morado, vegetación acuática de color lila; playas, áreas urbanas y suelo desnudo: verdes. Pantanos sin cobertura de color café-negro. La diferencia entre manglar y otros tipos de bosque no es muy clara.</p>	
<b>PCA 345</b>	<p>En este caso el primer componente tiene asignado el color rojo, tonalidades que tiene el manglar (rojo oscuro), vegetación acuática (rojo-naranja) y vegetación de áreas inundables (rojo verde). Los pantanos de manglar están de colores verde-azul. Las áreas urbanas, playas y suelos desnudos se diferencian entre sí, lo que no sucede en las otras combinaciones.</p>	

### 3.8 Segmentación

La segmentación es una herramienta disponible en el software SPRING, con la cual la imagen es dividida en regiones donde los pixeles tienen aproximadamente las mismas propiedades, como nivel de gris, media o propiedades de textura (Bins et al. 1996). Esta división puede hacerse de tres formas: 1) Por crecimiento de regiones; 2) Detección de bordes y 3) Combinación de las dos. (Fonseca et al., 2000). Para el área de la CGSM se propone la segmentación por crecimiento de regiones, que se fundamenta en el método de la similaridad donde los pixeles son agrupados en regiones de acuerdo a niveles de gris. Este proceso es iterativo, en el cual las regiones son formadas a partir de un píxel individual, y va creciendo hasta que todos sean procesados (Bins et al., 1996). Para ejecutar esta tarea el intérprete debe incorporar dos datos: un valor de similaridad y un valor límite de área.

Un valor límite de similaridad bajo puede generar una segmentación mayor, en cuanto un límite de similaridad alto puede no agrupar algunas regiones de coberturas diferentes. Este valor es relativo a la distancia Euclidiana, la cual mide la distancia entre los centros (media) de cada región. Si dos regiones que están siendo comparadas tienen una distancia euclidiana menor al límite escogido, entonces estas regiones serán unidas en una nueva región.

El valor límite de área, permite que durante la segmentación las regiones menores sean agrupadas con las regiones mayores adyacentes de acuerdo con este límite. Para el área se sugiere la segmentación por regiones para las bandas ETM3, ETM4 y ETM5 con límites de similitud 8 y área 50 píxeles, valores con los cuales se obtienen resultados muy aceptables.

### **3.9 Clasificación**

Clasificación es el proceso de extracción de información en imágenes para reconocer patrones y objetos homogéneos con el objetivo final de obtener un mapa temático. Cada color o símbolo está asociado a una clase. La clasificación automática (hecha por el computador) incluye el análisis individual de los atributos numéricos de cada píxel en la imagen, por eso es considerada un análisis cuantitativo. Puede ser dividida en dos grupos: 1) Clasificación no supervisada, donde cada píxel de la imagen es asociado a una clase espectral sin que el usuario tenga un conocimiento previo del número o identificación de las diferentes clases presentes en la imagen. Esto es hecho, básicamente, a través de algoritmos de agrupamiento. 2) Clasificación supervisada, donde el usuario selecciona muestras representativas para cada una de las clases que desea identificar en la imagen. Generalmente, se asume que las clases pueden ser descritas por una función de densidad de probabilidad estimada a partir del conjunto de muestras de entrenamiento, la cual se considera como criterio de decisión para definir a que clase pertenece un píxel. (Fonseca et al, 2000).

Otra forma de clasificación no automática es conocida como interpretación visual o fotointerpretación donde un especialista humano extrae las informaciones basándose en la inspección visual de la imagen. Tanto la clasificación automática, como la no-automática son importantes y muchas veces complementarias (Fonseca et al, 2000).

En el software SPRING v 4.1 están implementados diversos algoritmos de clasificación, para la CGSM se plantea realizar una clasificación no supervisada utilizando el algoritmo ISOSEG y una clasificación supervisada con el algoritmo Battacharya. El algoritmo ISOSEG es aplicado únicamente sobre un conjunto de regiones, resultantes de la segmentación, funciona con una medida de aceptación que se basa en la distancia de Mahalanobis. Utilizando atributos estadísticos como la media y la matriz de covarianza de las regiones el clasificador va detectando y creando las clases. Battacharya también sólo es aplicable sobre una imagen segmentada y se basa la medida de la distancia media entre las distribuciones de probabilidad de las clases espectrales. (Fonseca et al, 2000; Paul M. Mather, 1993).

Este límite de aceptación que debe ser dado por el usuario, en el área de la CGSM fue del 95%. Este valor puede asemejarse a un intervalo de confianza, es decir, si es dado un límite de 95%, significa que para que un píxel sea clasificado en una determinada clase, su valor debe estar dentro de un intervalo del 95% para la clase a la cual pertenece. Así, algunos píxeles pueden no ser clasificados en ninguna clase. Si se escoge 100% como límite, todos los píxeles serán obligatoriamente clasificados en alguna clase, así su valor sea muy diferente de cualquiera.

Con la clasificación no supervisada se genera el mapa preliminar de campo y posterior a la salida de campo y con los puntos de verificación se realiza la clasificación supervisada y el mapa final.

### **3.9 Verificación y muestreo en campo**

El conocimiento y verificación en campo es un punto importante, ya que el intérprete en algunas ocasiones deberá tomar decisiones sobre definición de algún tipo de cobertura. Dentro de lo posible, en las estaciones de muestreo además de tomar datos de composición y estructura del bosque de manglar, se pueden hacer mediciones radiométricas de la respuesta espectral de la cobertura.

### 3.10 Análisis estadístico

La estadística en procesamiento digital de imágenes se convierte en una herramienta fundamental para evaluar la calidad de los resultados obtenidos. Sobre los datos de clasificación el software SPRING permite verificar algunas estadísticas como media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, entre otros, que muestran el comportamiento de los píxeles agrupados dentro de cada clase y así mismo permite comparar este comportamiento con las firmas espectrales de la cobertura a partir de datos radiométricos tomados en campo o si no se tienen, con muestras aleatorias de valores digitales tomados sobre la imagen. Adicionalmente, se puede realizar una estimación de los errores finales de clasificación mediante una matriz de confusión de clases.

### 3.11 Edición vectorial y cartografía

Un procedimiento posterior a la clasificación digital es la revisión y verificación de la asociación de las clases resultantes de la clasificación digital. Se recomienda la edición cuando se desea mejorar el aspecto del mapa, o cuando son necesarias algunas correcciones y actualizaciones. La edición consiste en analizar los polígonos obtenidos por la segmentación y clasificación de la imagen, a través de una interpretación visual, basada en el conocimiento a priori del área de estudio, y auxiliada por las imágenes.

## 4. Conclusiones

Al realizar pruebas con esta metodología basada en el algoritmo de segmentación por regiones implementado en SPRING 4.1, se obtienen buenos resultados con las bandas del infrarrojo cercano y medio (bandas 3,4,5 Landsat) para la CGSM. Como afirman varios autores, (Dinh et al.,1998; Sato & Kanetomi, 2000; Ratanasermpong et al., 2000), estas bandas dan resultados óptimos para la delimitación de bosques de manglar. Se puede concluir que la segmentación por regiones y la clasificación supervisada proporcionadas por el software SPRING 4.1 permite delimitar áreas de manglar y su vegetación asociada con un nivel de precisión aceptable, economiza tiempo y ofrece más detalle que la digitalización en pantalla, ya que siendo un procedimiento automático no está limitado a la capacidad y subjetividad del intérprete y aplica a toda la imagen el mismo criterio en un corto tiempo y sin omitir detalles. Además pueden realizarse las pruebas necesarias cambiando parámetros (bandas espectrales, límite de aceptación, límite de similaridad), en busca de mejores resultados. El software SPRING está en Internet de manera gratuita ([www.inpe.gov.br](http://www.inpe.gov.br)).

## Referencias

- Bins, L.S.; Fonseca, L.M.G.; Erthal, G.J.; Ii, F.M. 1996. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: 8 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais**. Salvador: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 221-223.
- Blaber J.M. 1997. **Fish and fisheries of tropical estuaries**. Chapman & Hall, London. 384 p.
- Chávez, P.S., Jr. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data: **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479.
- Chuvieco, E. 1996. **Fundamentos de Teledetección espacial**, 3ra edición revisada. Ediciones RIALP, S.A. Madrid,. 567 p.
- Day JW, C. Hall, W.M. Kemp, A. Yáñez-Arancibia. 1989. **Estuarine ecology**. Wiley - Interscience, John Wiley y Sons, Nueva York.558p.
- Dinh D.N. 1998 **Land use changes and GIS database development for strategic environmental assessment in Ha Long Bay, Quang Ninh Province, Vietnam**. Disponible en: <http://minf.vub.ac.be/gronsse/Vietnam/EU/Duong1.html> Acceso en octubre de 2004.
- INVEMAR, 2003. **Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de**



**Santa Marta: un enfoque de manejo adaptativo.** Informe Ejecutivo 1999-2002. Convenio MMA-BID-INVEMAR. Santa Marta, 68p.

González, A.E. 1991. **El manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta: ecosistema en peligro de extinción.** En: Colombia sus gentes y Regiones, IGAC, 21: 2 – 21.

Gónima, L., J. E. Mancera-Pinedo & L. Botero. 1998. **Aplicación de imágenes de satélite al diagnóstico ambiental de un complejo lagunar estuarino tropical: Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano.** Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR. Santa Marta. Serie de publicaciones especiales No. 4: 56p

González, A.; Rendón M, 2002. **Documento borrador de trabajo de Interpretación Imagen de satélite 2001 de la CGSM.** Laboratorio de Sistemas de Información. INVEMAR.

Fonseca, M. G.; Silva S.; Lopes E.; Vinhas L.; Yamaguchi F. Y.; D'alge J.C.L, 2000. **Apostilla Processamento Digital de Imagens de sensores remotos, Divisão de Processamento de Imagens** – Instituto nacional de Pesquisas Espaciais, PDI\_3\_correcao.pdf y PDI\_7\_seg\_clas.pdf: Disponible en: <http://www.dpi.inpe.br/%7Eleila/ser437.html> Acceso en enero de 2004.

Ratanasermping, S. y Disbunchong, D. 2000. **Coastal zone environment mangement with emphasis on mangrove ecosystem, a case study of Ao-Sawi, Thung Khla. Chumphon, Thailand, Bangkok.** Disponible en: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts3/cost003.shtml> Acceso en octubre de 2004.

Rivera, V.; Mancera, J. 2001. Proyecto : **“Estructura y función de un ecosistema de manglar a lo largo de una trayectoria de restauración – El caso de la región Ciénaga Grande de Santa Marta”.** University of Lousiana at Lafayette – Center for Ecology and Environmental Technology, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR, Reporte Final. p. 241

Sato, K., Kanetomi, M. 2000. **Application of Remote Sensing whit Landsat ETM data for management and control of mangrove forest, a case study in Okinawa.** Japon. Disponible en: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts3/cost004.shtml>. Acceso en octubre de 2004.

Slater, P.N. **Remote Sensing, Optics and Optical Systems,** Addison-Wesley Pub. Co., Reading, MA., 1980

Vermote, E.F.; Tanre, D.; Deuze, J.L.; Herman, M.; Morcrette, J.J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions in Geosciences and Remote Sensing,** v. 35, n. 03, p. 675-686, 1997.

Villamil, A.M. 2000. **Evaluación de los cambios espacio temporales (1990-1999) de los bosques de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta utilizando imágenes de satélite.** Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino. Fundación universitaria Jorge Tadeo Lozano. 120 p.