

2

Análisis multitemporal de coberturas costeras y marinas utilizando imágenes ultracam e ikonos, para planes de manejo ambiental. Caso de estudio Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés, Caribe colombiano

Análisis multitemporal de coberturas costeras y marinas utilizando imágenes Ultracam e Ikonos, para planes de manejo ambiental. Caso de estudio Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés, Caribe colombiano

Multitemporal analysis of cover in coastal and marine areas using ultracam and ikonos imagery for environmental management plans: study case old point regional mangrove park, San Andrés.

Ángela Blanco Figueroa¹, Daniel Rozo Garzón², Carlos Villamil Echeverri³, Diana Isabel Gómez-López⁴, y Luz Marina Mejía Ladino⁵

Resumen

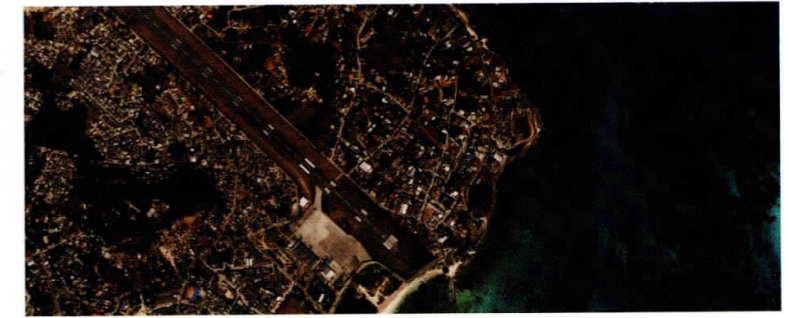
Los trabajos a escala local se han visto fuertemente beneficiados con los productos obtenidos con sensores de alta resolución, ya que permiten distinguir patrones de estructura y composición de los ecosistemas. En especial, las ventajas que ofrecen estos productos sobre cuerpos de agua e identificación de especies vegetales han recibido un gran interés en las instituciones que trabajan en el campo de la gestión marina. El objetivo de este trabajo es presentar la caracterización espacial del área de Old Point Regional Mangrove Park ubicada en la isla San Andrés en el mar Caribe colombiano utilizando el sensor aerotransportado UltraCam-D y

el sensor satelital IKONOS; así mismo, se realizó una aproximación metodológica para la identificación de fondos marinos sobre áreas entre 0 y 10 metros de profundidad (o la que se considere) y la delimitación de especies de mangle a través de los dos tipos de imágenes mencionadas, como insumo para la zonificación de manejo.

Palabras clave:

Old Point Regional Mangrove Park, Isla de San Andrés, pastos marinos, manglares, sensores de alta resolución, percepción remota, UltraCam-D, IKONOS

- 1 Investigador Adjunto del INVEMAR en 2008, Ing. Catastral y Geodesta Msc Water Resources Management, Teléfono: (5) 4328600 ext. 118, Celular: 3002114043
- 2 Jefe Laboratorio Sistemas de Información del INVEMAR, Ing. Catastral y Geodesta, Teléfono: (5) 4328600 ext. 118, Celular: 3008001622, e-mail: drozo@invemar.org.co
- 3 Investigador Auxiliar del INVEMAR, Biólogo Marino Msc Biología Marina, Teléfono: (5) 4328600 ext. 243, Celular: 300-5286662
- 4 Jefe de línea Organización y dinámica de ecosistemas del INVEMAR, Bióloga Marina Msc Biología Marina, Teléfono: (5) 4328600 ext. 250, e-mail: digomez@invemar.org.co
- 5 Investigador Asistente del INVEMAR, Bióloga Marina Msc Biología Marina, Teléfono: (2) 4450100 ext. 3391, Celular: 3137684774, e-mail: mardeluz@invemar.org.co



Abstract:

The work at the local level have been strongly benefit from the products, resulting with high-resolution sensors, and to distinguish patterns of structure and composition of ecosystems. In particular, the advantages offered by these products on water bodies and identification of plant species have received considerable interest in the institutions working in the field of marine management. The objective of the study is a characterization of the space area of Old Mangrove Point Regional Park located in San Andres island in the Colombia Caribbean Sea, using

the airborne sensor UltraCam-D and the satellite sensor IKONOS. As at the same time, presenting a methodological approach for the identification of seabed on shallow to deep areas (0-10 meters) and the delimitation of mangrove species across the two types of images mentioned, as an input for zoning management.

Key words:

Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés Island, seagrass beds, mangroves, high resolution sensors, remote sensing, UltraCam-D, IKONOS.

Introducción

Colombia cuenta con una longitud de línea de costa de 3.882 km² (INVE-MAR, 2001), en la que convergen una gran variedad de ecosistemas marinos y costeros estratégicos ecológicamente y con prioridad de conservación como los bosques de manglar, áreas arrecifales y pastos marinos; por esto resulta indispensable caracterizar la composición, estructura y función de estos ecosistemas, evaluar su vulnerabilidad ante eventos climáticos naturales, perturbaciones ecológicas (como especies invasoras) y presiones antrópicas, incluyendo por supuesto actividades de extracción.

A través de imágenes de sensores remotos y trabajos de procesamiento se han obtenido resultados importantes en estudios marinos, como por ejemplo la medición de parámetros en oceanografía: Batimetría, temperatura de la superficie de mar, velocidad de agua superficial, surgencia; existe el interés en descubrir y profundizar en temas más específicos y a escalas detalladas, como en el caso de la cuantificación de la concentración de clorofila, detección de pigmentos fitoplanctónicos, reconocimiento de vegetación sumergida, evaluación de la salud de los corales, mapeo de hábitat marinos, entre otros (Aguirre-Gómez y Morales, 2005).

Hasta hace poco extraer información biológica y geológica en aguas poco profundas a escalas detalladas era un proceso complejo, los efectos de absorción y distorsión de la columna de agua no permitían observar directamente la reflectancia del fondo (Lyzenga, 1981),

por tanto, se requerían de intérpretes especializados que pudieran reconocer los ecosistemas ubicados en profundidades altamente variables, sobre una imagen en dos dimensiones.

Gracias a los productos del sensor aerotransportado UltraCam-D adquirido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el mapeo de ecosistemas específicos se ha fomentado en el país, brindando una solución ágil y oportuna al momento de tomar decisiones por parte de gobernantes, planificadores e investigadores, quienes pueden rápidamente reconocer detalladamente la cobertura y evaluar acciones de manejo.

Localización del área de estudio

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina localizado en aguas jurisdiccionales de Colombia en el Mar Caribe, fue nombrado como Reserva de la Biosfera Seaflower en el año 2000 y se menciona que el manejo de sus áreas marinas se realizará en el marco del Sistema Regional de Áreas Marinas Protegidas, de tal modo que los ecosistemas estratégicos marinos e insulares como manglares, pequeños islotes y arrecifes fueron declarados como parques regionales (CORALINA, 2001)

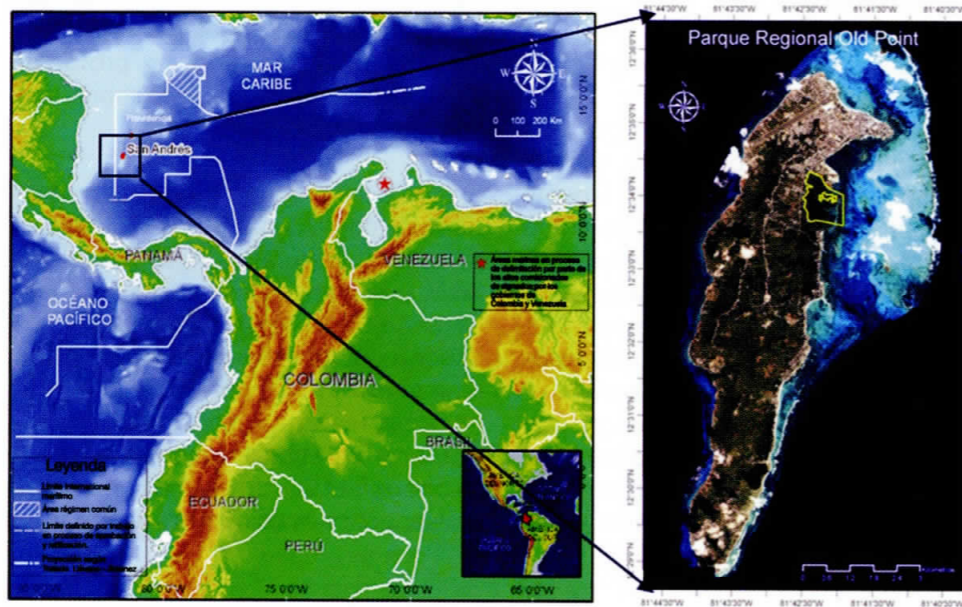
El acuerdo No. 042 del 18 septiembre de 2001 CORALINA declara, reserva y alindera el Old Point Regional Mangrove Park en la isla de San Andrés. El parque cuenta con una amplia área de bosques de manglar que debe ser conservada y/o recuperada como también ecosis-

temas de pastos marinos que pueden ser aprovechados sosteniblemente en actividades ecoturísticas.

El parque se encuentra ubicado en el costado occidental de la isla (Figura 1)

y cuenta con un área propuesta de 87,8 ha de zona de preservación, 5,38 ha de amortiguamiento interno, 79,36 ha de amortiguamiento marino y 52,91 ha de amortiguamiento terrestre (INVEMAR, 2008).

Figura 1
Ubicación de Old Point Regional Mangrove Park en la Isla de San Andrés, Colombia



Materiales

Información Raster

Se obtuvieron 3 imágenes de alta resolución con las siguientes características:



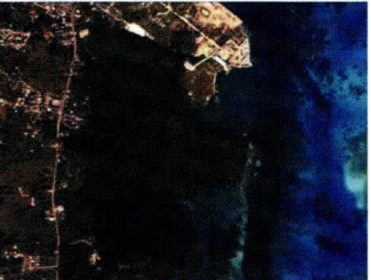


- Imagen Ikonos donada por la empresa GeoEye, con 1 m de resolución espacial y cuatro bandas espectrales, tomada el 1º de diciembre de 2002 en época de lluvia y georreferenciada en UTM.
- Imagen del sensor UltraCamD cedida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) con 7 cm

de resolución y tres bandas espectrales, georreferenciada en el sistema MAGNA y capturada el 17 de abril de 2007.

- Imagen del sensor UltraCamD cedida por Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) con 44 cm de resolución y cuatro bandas espectrales, sin sistema de referencia.

En la Tabla 1 se muestran las diferencias entre las imágenes originales de los dos sensores y se observa que las imágenes del sensor Ultracam-D presentan mayor contraste y realce de los elementos sumergidos que las imágenes del sensor Ikonos.

Tabla 1.
Imágenes de alta resolución de Old Point Regional Mangrove Park provenientes de dos sensores diferentes

	ULTRACAM-D		IKONOS
Fecha de Adquisición	17 Abril 2007		1 diciembre 2002
Características Atmosféricas (Tutiempo.net)	Temperatura: 28,4 °C Velocidad media del viento: 1,9 m.s-1 Precipitación: 0 mm Época seca.		Temperatura: 29,8 °C Velocidad media del viento: 2,9 m.s-1 Precipitación: 0,2 mm Época lluviosa.
Resolución	0.44 m	0.07 m	
Combinación 3,2,1			
Combinación 4,3,2			

En las figuras de la Tabla 1 se observa que las combinaciones a color de las imágenes de la izquierda (especialmente sobre el área sumergida) presentan mayor variabilidad entre diferentes tipos de elementos, en comparación con las combinaciones a color de las imágenes a la derecha.

En la Tabla 2 se presentan las diferencias entre las imágenes de los dos sensores

empleados y se observa que el rango de longitud de onda del espectro electromagnético del sensor UltraCam-D es mucho más amplio que el sensor IKONOS para las bandas azul, verde y rojo; lo que permite extraerle más información. Especialmente, de las bandas espectrales 1 y 2 en la definición de hábitats marinos y de las bandas del infrarrojo para detección de especies de vegetación terrestre.

Tabla 2.
Características de los sensores empleados.

SENSOR	ULTRACAM-D	IKONOS
Resolución Espectral	<p>Banda Longitud de onda (μm)</p> <p>1, Azul 0,39 a 0,53</p> <p>2, Verde 0,47 a 0,66</p> <p>3, Rojo 0,57 a 0,69</p> <p>4, Infrarrojo 0,67 a 0,94</p> <p>Pancromático 0,39 a 0,69</p>	<p>Banda Longitud de onda (μm)</p> <p>1, Azul 0,45 a 0,52</p> <p>2, Verde 0,51 a 0,60</p> <p>3, Rojo 0,63 a 0,70</p> <p>4, Infrarrojo 0,76 a 0,85</p> <p>Pancromático 0,45 a 0,90</p>
Resolución Radiométrica	<p>La resolución del sensor CCDs es de 12 bits o más (Leberl et al., 2003)</p> <p>4 m bandas multispectrales</p> <p>1 m pan-sharpened</p>	<p>11bit (2048 valores de grises).</p> <p>Depende de la altura de vuelo.</p> <p>Tamaño de la imagen es de 11500 x 7500 pixeles</p>
Ventajas	<p>Disponibilidad inmediata de las imágenes, que posibilitan el chequeo de los datos.</p> <p>No hay intervención de intermediarios.</p> <p>Alta claridad y calidad de la imagen</p> <p>Rangos espectrales más amplios.</p> <p>La cobertura de las nubes no es un factor importante a la hora de capturar las imágenes.</p>	<p>Los costos de operación no son asumidos directamente por el usuario.</p> <p>En general, no requieren procesos de unión de distintas imágenes.</p>
Desventajas	<p>Altos costos de operación.</p> <p>Se requiere personal muy especializado para la operación del sensor en el momento de toma de los datos.</p>	<p>Se requiere intermediarios para los procesos de compra e importación de los datos.</p> <p>Existe un periodo entre el momento de captura y de entrega al usuario.</p> <p>La captura depende del cubrimiento de nubes.</p>

Procesamiento de imágenes

Con el fin de delimitar los ecosistemas de Old Point Regional Mangrove Park se emplearon algoritmos como Cocientes de bandas, análisis de componentes principales y clasificación no-supervisada. Sin

embargo, antes de iniciar el procesamiento se realizaron correcciones geométrica, atmosférica y de la columna de agua.

La Figura 2 describe uno a uno los pasos seguidos en el desarrollo de la metodología.

Análisis multitemporal de coberturas costeras y marinas utilizando imágenes ultracam e ikonos, para planes de manejo ambiental. Caso de estudio Old Point Regional Mangrove Park, San Andrés, Caribe colombiano

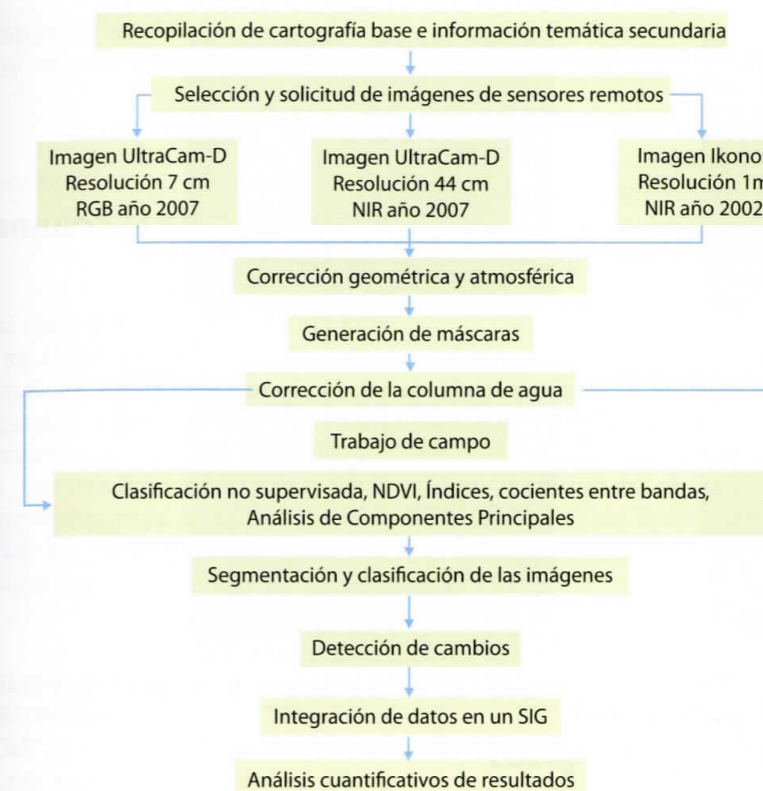


Figura 2.
Esquema del modelo metodológico empleado en la interpretación de las imágenes.

Corrección geométrica

Esta consiste en modelar el error geométrico de la imagen a partir de una serie de puntos de coordenadas conocidas que se denominan puntos de control (Chuvieco, 1996).

Las coordenadas conocidas se toman de la imagen Ultracam de 0,07 m de resolución, ortorrectificada por el IGAC al Datum MAGNA-SIRGAS con elipsoide GRS80 (equivalente a WGS84) en proyección cartesiana local con origen en el punto geodésico GPS-3039-S con Latitud: 12° 31' 25,659570" Norte y Longitud: 81° 43' 45,753420" Oeste a cuyo punto se le asignaron las coordenadas planas Norte: 1.877.357,828 m y Este: 820.439,298 en el Plano de Proyección 6 m sobre el nivel medio del mar, se procede a georreferenciar la imagen en UltraCam-D en infrarrojo y la imagen Ikonos con un modelo polinomial de tercer grado, que es la solución cuando no se cuenta con la información suficiente de la toma y puede ser utilizada para pequeñas áreas y en imágenes que no requieren mosaicos.

Corrección atmosférica

La bruma del vapor de agua y las partículas de aerosoles influyen la señal recolectada por el sensor, adicionalmente la rugosidad del terreno y la variación de iluminación en las pendientes modifican el comportamiento espectral de las superficies. A través del algoritmo ATCORD (Atmospheric Correction) se remueve la influencia de la atmósfera e iluminación solar.

Según Richter (2001), el programa ATCOR calcula la radiancia $\text{mW} (\text{cm}^2 \text{sr} \mu\text{m})^{-1}$, a partir de los valores digitales de cada píxel, sobre la base de factores de calibración propios de cada sensor (gain y bias). A partir de los valores de radiancia, el programa calcula los valores de reflectancia (relación entre el flujo reflejado por el píxel y flujo incidente sobre el mismo), descontando el efecto de la radiación refractada por la atmósfera y captada por el sensor (corrección atmosférica), y la radiación reflejada por áreas contiguas (efecto de adyacencia), ya que afectan el valor digital

del píxel en consideración (Lencinas y Mohr, 2002).

Para realizar la corrección se toman los siguientes parámetros: Atmósfera principal marítima y constante, condición de atmósfera secundaria tropical, visibilidad media 15 km (Tutiempo Network, 2008).

La imagen Ikonos presentó un realce con la corrección atmosférica, y se disminuyó el efecto de bruma y atenuación en los valores de radiancia en las zonas contiguas de las nubes. La imagen del sensor UltraCam-D no presentó cambios significativos en los niveles digitales.

Máscara para áreas emergidas y sumergidas

Inicialmente, se intentó hacer la clasificación sin emplear máscaras, pero debido a la heterogeneidad de la zona marino-costera se obtuvo mucha confusión entre clases; por tanto, para evitar dicha confusión y así extraer información de los ecosistemas costeros y los fondos marinos se realizaron máscaras para los ambientes emergido y sumergido, a partir de la

clasificación de valores de radiancia y ajustando la delimitación con interpretación visual.

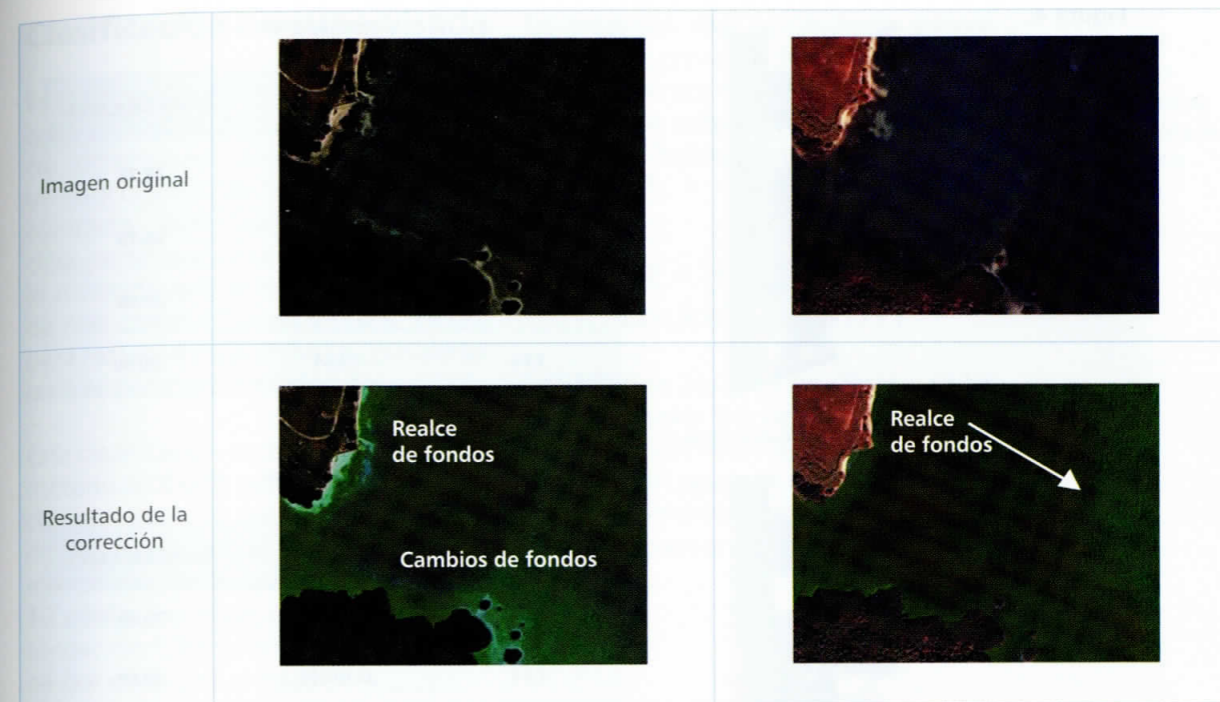
Corrección de la columna de agua

Esta corrección se realizó para las imágenes IKONOS y Ultracam-D de 0,044 m. La técnica propone los siguientes pasos (Lyzenga, 1981): Selección de muestras de píxeles con el mismo sustrato y diferente profundidad, cálculo del coeficiente de atenuación por cada par de bandas y generación del índice para tipos de fondo independiente de la profundidad.

La Figura 3 muestra el resultado de la corrección para las imágenes seleccionadas y se observa que en IKONOS presenta ganancia de información de los fondos sumergidos, en comparación con el sensor UltraCam-D. Con resolución de 0.07 m no es necesario realizar esta corrección, por que el reconocimiento de los fondos sumergidos se hace visualmente; lo que indica que esta técnica sólo se requiere en aguas más turbias y con imágenes de mayor resolución.

Figura 3. Comparación de las correcciones de columna de agua de las imágenes UltraCam- D e Ikonos

	FOTOGRAFÍA CÁMARA ULTRACAM D Combinación Bandas RGB	IMAGEN IKONOS Combinación Bandas RGB
Imagen original		
Resultado de la corrección		



Componentes principales

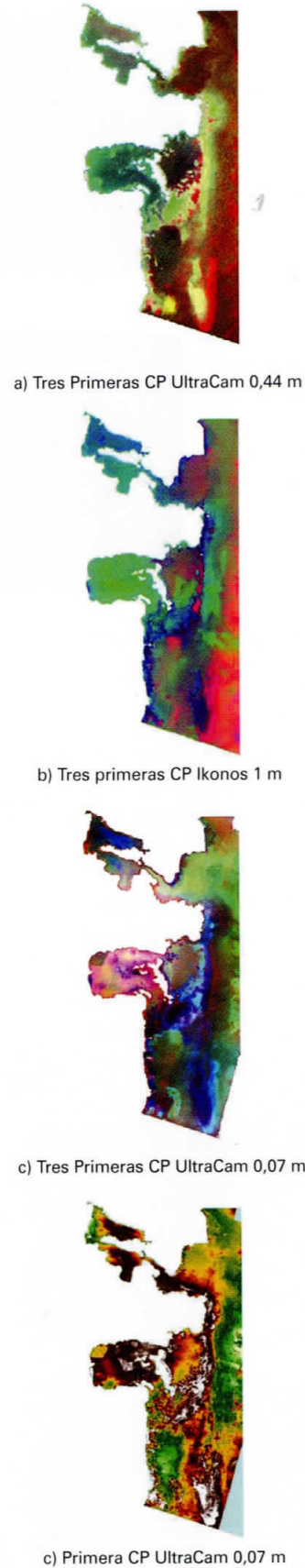
Con esta técnica se elimina la correlación entre bandas, estas combinaciones se obtienen mediante métodos de álgebra lineal (Mather, 1976), que permiten comprimir y sintetizar las bandas originales creando nuevas bandas de salida. En otras palabras, la presencia de correlación entre estas bandas implica que hay redundancia en los datos, es decir, algo de la información se está repitiendo.

A partir de las cuatro bandas originales se generan tres componentes principales, los cuales son utilizados para la clasificación digital. En la Figura 4 se detalla el resultado de las tres primeras componentes para las tres imágenes, resultados que ayudan a clarificar las posibles coberturas sobre el área sumergida. Inicialmente, se diferenciaron seis (6) tonalidades que fueron corroborados con el es-

pecialista y la información de verificación en campo.

Los componentes vienen ordenados según el valor propio (*eigenvalue*) que es la dispersión o varianza representada sobre los nuevos ejes; es decir, la información que recoge cada componente (Díaz de Quintalbo, 2003). La sumatoria de todos los valores propios (de la dispersión) es igual al número de variables originales que, expresado como porcentaje, nos dirá cuál es el porcentaje de la variabilidad de la información original que mantenemos con cada componente. De esta manera, elegimos trabajar con los dos primeros componentes que explican el 96,79% y 98,80% de la información para las imágenes Ultracam de 0,44 m (Figura 4.a) e Ikonos (Figura 4.b) de 1 m, respectivamente y la primera componente para la imagen de 0,07 m (Figura 4.c y d) que explica el 94,34% de la varianza total para el área sumergida.

Figura 4. Resultado de componentes principales sobre el área sumergida para imágenes de IKONOS y Ultracam-D.



Valores propios

	VARIANZA	% ACUMULADO
CP1	3025.06	68.71
CP2	1235.79	96.79
CP3	128.03	99.69
CP4	13.44	100.00

Valores propios

	VARIANZA	% ACUMULADO
CP1	91584.3	78.86
CP2	23162.75	98.80
CP3	1238.01	99.87
CP4	151.2	100.00

Valores propios

	VARIANZA	% ACUMULADO
CP1	1826.42	94.34
CP2	84.11	98.68
CP3	25.53	100.00

Clasificación no supervisada

Es un proceso automatizado para encontrar clústers puntuales en un espacio dimensional, usando únicamente un subconjunto de la imagen satelital completa, para luego decidir a qué clase pertenece cada píxel con base en la distancia que lo separa del centroide más cercano (Swain y Davis, 1978), para realizar este proceso se consideran las tres primeras componentes.

Esta clasificación se realizó utilizando el método ISODATA para las tres primeras componentes. Se propone un intervalo de cuatro clases con un número máximo de diez iteraciones, un mínimo de 10 píxeles por clase, una desviación estándar de 1,5 y una distancia euclidiana por clase de 3 unidades.

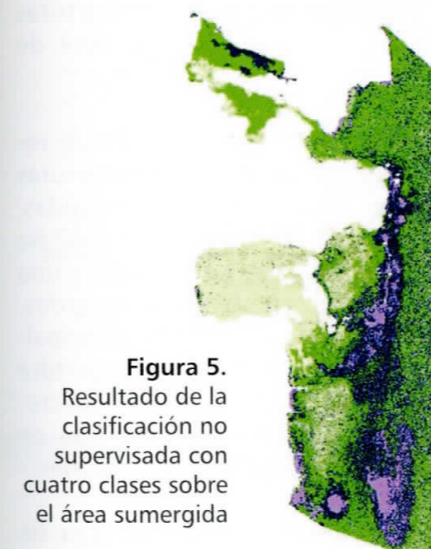


Figura 5. Resultado de la clasificación no supervisada con cuatro clases sobre el área sumergida

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Este índice considera los cambios abruptos y característicos de la reflectancia de la vegetación en el infrarrojo cercano y de la absorción de la misma en la región roja del espectro electromagnético.

Al ser un índice normalizado su intervalo de variación oscila entre -1 y 1, así,

las áreas con vegetación densa presentan valores positivos del NDVI, mientras que los cuerpos de agua presentan una tendencia a valores negativos (Justice et ál., 1985; Batista et ál., 1997, Gilabert et ál., 1997).

$$NDVI = (I_{IR} - I_R) / (I_{IR} + I_R).$$

Ecuación del NDVI

Los NDVI se agrupan en clases y se les asigna un color que permite resaltar con claridad especies de las unidades de cobertura. Un ejemplo de los resultados en las áreas emergidas y sumergidas se pueden observar en la Figura 6.

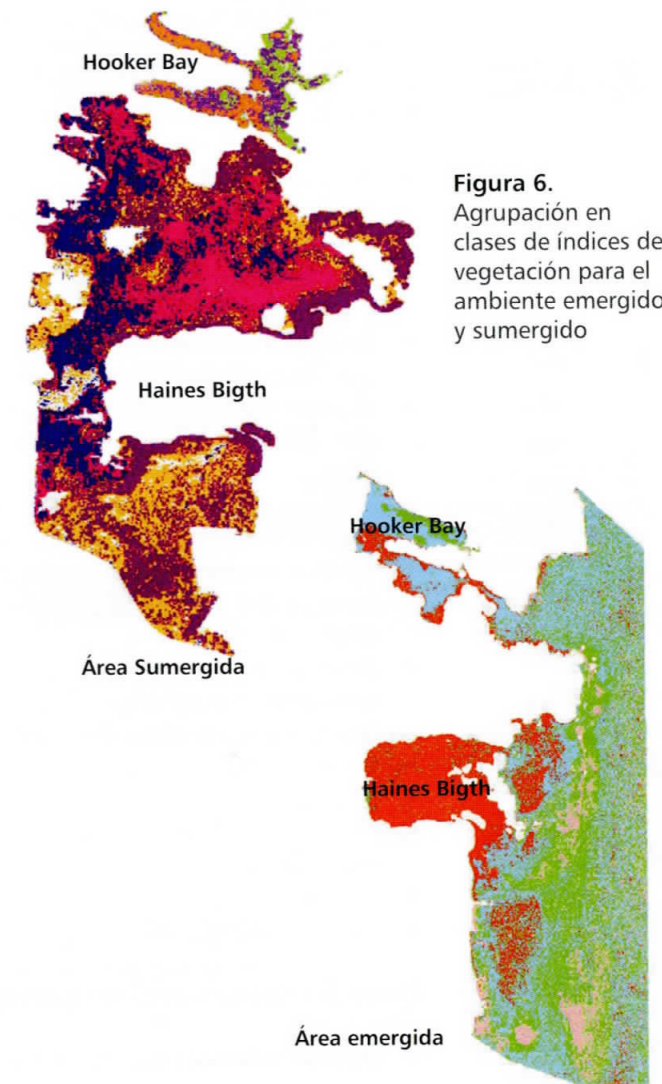


Figura 6. Agrupación en clases de índices de vegetación para el ambiente emergido y sumergido

Vectorización y clasificación de la imagen

Con base en el trabajo de verificación de cobertura vegetal realizado en campo, donde se ubican agrupaciones de especies, se registran posiciones geográficas con el uso de GPS, se anotan características relevantes y se toman fotografías, se procedió a definir en detalle las clases y a delimitar vectorialmente cada una de las unidades.

De tal forma, se definen a partir de los resultados del procesamiento de las imágenes y con la interpretación de los especialistas las siguientes clases de cobertura, sobre la imagen del sensor UltraCam-D, incluyendo a cada polígono la composición de los tipos de especies predominantes.

Clases de cobertura ambiente emergido

- Área construida
- Bosque de Rhizophora mangle (Rm)
- Bosque mixto dominado por Rhizophora mangle (Rm)
- Bosque mixto de Rhizophora mangle (Rm) y Conocarpus erectus (Ce)
- Bosque mixto de Rhizophora mangle (Rm) y Avicennia germinans (Ag)
- Bosque de Avicennia germinans (Ag)
- Bosque mixto de Laguncularia racemosa (Lr) y Avicennia germinans (Ag)
- Bosque mixto dominado por Avicennia germinans (Ag)
- Bosque de Conocarpus erectus (Ce)
- Bosque seco
- Laguna
- Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales
- Pastos y rastrojos
- Suelo desnudo

Clases de cobertura ambiente sumergido

- Arenas coralinas con fondo vegetado

- Macroalgas no calcáreas
- Macroalgas no calcáreas y detritos de manglar
- Pastos marinos
- Pastos marinos y macroalgas calcáreas
- Pastos marinos y macroalgas no calcáreas
- Pastos marinos, macroalgas calcáreas y no calcáreas
- Sin cobertura vegetal

Análisis multitemporal

Con base en la interpretación y caracterización vectorial de la imagen del 2007 se vectoriza los cambios de cobertura sobre la imagen con menor resolución del 2002.

La Tabla 3 presenta los cambios de área de cada una de las coberturas entre diciembre de 2002 y abril de 2007.

El análisis multitemporal (Tabla 3) resalta algunos cambios en coberturas de áreas emergidas y sumergidas, destacándose un aumento de 0,82 ha para el total de áreas emergidas y una pérdida igual en áreas sumergidas. Este incremento está dado principalmente por el aumento en la cobertura de Bosque de Rm (1,27 ha) el cual crece en la franja costera o en zonas de poca profundidad al interior del mar.

Es importante la pérdida en área de Mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales (la mayor disminución en cobertura emergida), como consecuencia de los impactos generados por diversas actividades antrópicas que ocasionaron un severo deterioro paisajístico, contaminación y pérdida de cobertura vegetal debido a los vertimientos de desechos de hidrocarburos, polución térmica e inadecuada disposición de residuos sólidos, tala selectiva, incendio y relleno sistemático (García y Hudgson, 1997); no obstante, el incremento en Pastos y rastrojos y Bosque de Rm evitan

Tabla 3.

Cálculo de áreas y cambios en las clases de coberturas de Old Point Regional Mangrove Park de 2002 a 2007. Valores en hectáreas.

AMBIENTE	COBERTURA	ÁREA 2002 (IKONOS)	ÁREA 2007 (ULTRACAM)	CAMBIO DE ÁREAS
Emergido	Área construida	38,41	39,05	0,63
	Bosque de Ag	0,74	0,74	0,00
	Bosque de Ce	0,62	0,62	0,00
	Bosque de Rm	19,10	20,38	1,27
	Bosque mixto de Lr y Ag	0,21	0,25	0,04
	Bosque mixto de Rm y Ag	0,97	0,97	0,00
	Bosque mixto de Rm y Ce	1,20	1,25	0,05
	Bosque mixto dominado por Ag	20,14	20,34	0,20
	Bosque mixto dominado por Rm	10,00	9,54	-0,46
	Bosque seco	1,12	1,12	0,00
	Laguna	0,44	0,44	0,00
	Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	23,62	20,76	-2,86
	Pastos y rastrojos	0,54	3,13	2,60
	Suelo desnudo	0,12	0,12	0,00
Zonas de inundación	0,82	0,15	-0,66	
Total área emergida	118,06	118,88	0,82	
Sumergido	Arenas coralinas con fondo vegetado	7,21	7,21	0,00
	Macroalgas no calcáreas	0,32	0,32	0,00
	Macroalgas no calcáreas y detritos de manglar	1,66	1,64	-0,02
	Pastos marinos	126,51	126,38	-0,13
	Pastos marinos y macroalgas calcáreas	20,75	20,45	-0,30
	Pastos marinos y macroalgas no calcáreas	6,62	6,56	-0,06
	Pastos marinos, macroalgas calcáreas y no calcáreas	1,95	1,95	0,00
	Sin cobertura vegetal	8,49	8,17	-0,32
	Total área sumergida	173,50	172,67	-0,82
	Total área interpretada	291,55	291,55	0,00
				Aumento mayor a 0,4 ha
				Pérdida mayor a 0,4 ha

dencian revegetalización natural y la recuperación parcial del sistema.

Es de resaltar que el aumento en área construida (0,63 ha) no ha afectado en gran medida coberturas de bosque de manglar, sino que ha disminuido áreas de mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales (Tabla 3).

Al existir un incremento del área emergida por el crecimiento de Bosque de

Rm, la dinámica en el ambiente sumergido varía, siendo necesaria la evaluación y monitoreo del estado de cada uno de los ambientes.

Estructuración de la información en el SIG

La información se encuentra almacenada en formato geodatabase de ArcGIS, que permite el almacenamiento físico

de la información geográfica, dentro una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos. A las capas temáticas de clasificación de cobertura se les asocia una base de datos con algunos atributos (Tabla 4).

Tabla 4.
Descripción de campos de la capa de cobertura

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Ambiente	Especifica si el ambiente es emergido o sumergido
Cobertura	Nombra la unidad de cobertura
Composición	Describe las especies que componen el tipo de unidad de cobertura
Facies	Describe el conjunto de sedimentos que pueden ser definidos y separados por otros, por su geometría, litología y estructura sedimentaria y fósiles asociados.
Área	Presenta el área en hectáreas

Resultados

Con la interpretación de las imágenes mediante las técnicas descritas, se lograron generar mapas de cobertura del año 2007, mapa de cobertura del año 2002, con su respectivo análisis cuantitativo de cambio de áreas y el mapa de facies sedimentarias a escala 1:7500.

Esta cartografía es la base para ubicar espacialmente los planes propuestos de manejo y recuperación de Old Point Regional Mangrove Park como son: Control de residuos y vertimientos desde el puerto (aceites, gases), control de las áreas donde se depositan residuos generados por el dragado, recuperación de la bahía Hooker deteriorada por la contaminación generada por vertimientos de los desechos de granjas y áreas urbanas; monitoreo del estado de los pastos marinos, monitoreo del estado de los manglares; planes de socialización y capacitación principalmente a los habitantes de los barrios aledaños, industriales y hotele-

ros y a toda la comunidad de la Isla sobre la importancia del parque regional y su responsabilidad en la preservación de los recursos; promoción de los bienes y servicios ambientales del parque, y finalmente el control del tránsito marítimo.

Conclusiones

Se da un paso importante en Colombia cuando se cuenta con la tecnología para producir datos propios y no depender de la disponibilidad de sensores satelitales y del cubrimiento de nubes. Estos datos deben usarse para mitigar el deterioro de nuestras áreas costeras que contienen algunos de los más diversos ecosistemas como los manglares, arrecifes coralinos y pastos marinos.

Para realizar la caracterización espacial de los ecosistemas costeros y marinos y el análisis de cambios multitemporales de Old Point Regional Mangrove Park,

fue muy importante contar con información detallada de la imagen UltraCam-D adquirida y ortorrectificada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la imagen satelital Ikonos donada por GeoEye; ya que se monitorearon los cambios en los ecosistemas debido a impactos antrópicos; como también, la obtención de información detallada para delimitar y cuantificar espacialmente la composición de tipos de cobertura en áreas emergidas y sumergidas.

Con estas imágenes se puede soportar la identificación a escalas muy detalladas la composición de los ecosistemas de manglares, pastos marinos, macroalgas, fondos vegetados y bosque seco y reconocer la posición geográfica de los sitios donde deben llevarse a cabo las propuestas de manejo de Old Point Regional Mangrove Park, como también evaluar las variables adecuadas para indicadores ambientales y estado ecosistémico en su conservación, recuperación o deterioro.

El análisis de componentes principales, utilizado como técnica preclasificatoria, facilita reconocer patrones definidos para detallar los pastos marinos y macroalgas, y la delimitación de las coberturas sumergidas se realiza con la calidad de la imagen de 0,07 m de resolución a profundidades someras, sin necesidad de realizar correcciones atmosféricas o de la columna de agua.

El primer componente principal de la imagen de alta resolución adquirida por el IGAC explica el mayor grado de variabilidad para el ecosistema sumergido, permitiendo la delimitación de cada una de las clases. Esto nos indica, que los trabajos de procesamiento sobre las imágenes del sensor UltraCam-D se simplifican a la hora de capturar características de los cuerpos de agua.

Los índices NDVI permiten realzar las cubiertas vegetales y diferenciar tipos

de especies, a través del contraste que presenta la reflectividad de la vegetación entre el infrarrojo cercano y el rojo.

A la vez, el análisis de información multitemporal permite evaluar el grado de afectación de los ecosistemas y generar programas de seguimiento y estrategias de conservación a nivel predial.

No cabe duda de las ventajas de los productos del sensor UltraCam-D en cuanto a la facilidad de chequear los resultados en el lugar de toma, su alta resolución espectral, y la ausencia de procedimientos intermedios de laboratorio o escaneo. Estas ventajas significativas son muy efectivas en el momento en que ocurren derrames, incendios forestales, inundaciones y prevención de catástrofes, entre otras.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la administración de la Corporación de Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA) por la cofinanciación y apoyo en el trabajo en campo a través del convenio interadministrativo 010/2007 con INVEMAR, cuyo objetivo fue aunar esfuerzos para mejorar el nivel de conocimiento de los procesos de evaluación, monitoreo, investigación y generación de información para la promoción de bienes y servicios ambientales del Parque Natural Regional Old Point de San Andrés y en el área marina protegida influenciada por las cuencas en ordenación en la isla de Providencia.

Al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) por la cesión de las imágenes adquiridas sobre la Isla de San Andrés a través de la cámara UltraCam-D y a la compañía GeoEye por la donación de la imagen satelital Ikonos.

Bibliografía

- AGUIRRE GÓMEZ, R. y Morales, M.L. 2005. Análisis espectral del arrecife coralino de Cayos Arcas, Campeche, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN0188-4611, Núm. 57, 2005, pp. 7-20. Disponible en línea: www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol57/b57art1.pdf. Consultado en: Junio de 2008
- BATISTA, G.T., E. Shimabukuro y W.T Lawrence. 1997. "The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonia region of Northern Brazil using NOAA-AVNRR data". *International Journal of Remote Sensing*, vol (18), pp 3195-3210
- CORALINA. 2001. Plan de Manejo de las Áreas Marinas Protegidas. Parte I. Disponible en línea
- CHUVIECO, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Madrid, Ediciones Rialp S.A. 3ª edición revisada, 567 pp.
- DÍAZ DE QUINTALBO, E. 2003. Análisis de Componentes Principales. Disponible en línea: <http://materialdesaludpublica.iespana.es/>
- GARCÍA, E.M. y R. Hugdson 1997. Demarcación, recuperación y conservación de los manglares del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Informe Final 1997. CORALINA. San Andrés. 177. p.
- GILBERT, M.A., González-Piqueras y J. García Haro. 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*, Vol (8), pp 35-45
- INVEMAR. 2001. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2000. Serie documentos generales · 3. Santa Marta, 138 p.
- INVEMAR. 2008. "Actualización de la cartografía existente del Parque Regional Old Point". Informe técnico del convenio inter-administrativo 010/2007 entre CORALINA e INVEMAR.
- JUSTICE, C.O, J.R.G Townshend, B.N. Holden y J. Yucker. 1985. Analysis of phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol (6), pp. 3-14.
- LEBERL, F y M. Gruber 2003. Flying the New Large Format Digital Aerial Camera Ultracam. Disponible en línea: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/gruber.pdf>
- LENCINAS, J.D. y Mohr D. 2002. Estimación de clases de edad de las plantaciones de la provincia de Corrientes, Argentina, con base en datos satelitales Landsat. ISSN 0717-9200 versión on-line.
- LYZENGA, D.R. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow waters using aircraft and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2, pp. 71-82..
- MATHER, P. 1976. Computational methods of multivariate analysis in physical geography, Wiley, Chichester.
- RICHTER, R. 2001. Atmospheric and Topographic Correction: Model ATCOR3, DLR-Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Wessling, Deutschland.
- SWAIN, P.N. y S.M. Davis. 1978. Remote Sensing: the quantitative approach, McGraw Hill, New York.
- Tutiempo Network. 2008. Datos climáticos históricos de San Andres Isla / Sesquicentenario registrados durante el año 2002 y 2007, con medias mensuales y datos ampliados para un día. Disponible en línea: http://www.tutiempo.net/clima/San_Andres_Isla_Sesquicentenario/2002/800010.htm. Consultado en mayo 2008.