
DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS CORALINAS SOMERAS EN EL ARCHIPIÉLAGO DE LA ORCHILA (CARIBE VENEZOLANO) EMPLEANDO HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS

Paul Granado, Pablo Velozo, Henio Briceño, Augusto Ruiz, Luz Esther Sánchez-Arias,
Lenin Parra y Gustavo Martín Morales

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo de determinar la distribución espacial de los fondos coralinos someros en el archipiélago de La Orchila, Caribe Venezolano, empleando herramientas de la geomática, a través del análisis de imágenes multiespectrales (SPOT 5) y el uso de navegación espacial (tracks). Se detectaron 31 zonas de muestreo de corales, se describieron los fondos marinos y se asociaron con polígonos de entrenamiento levantados in situ con el fin de obtener sus firmas espectrales. La información fue procesada utilizando un software especializado en SIG y análisis multicriterio. Se encontraron diferencias espaciales en la zona de sotavento, determinadas por la presencia de corales del género *Acropora*, *Porites*, *Montas-*

traea y *Diploria*, como también de especies de zooantidios (*Palythoa*), *octocorales*, *pastos marinos* (*Thalassia*), *algas verdes* (*Halimeda*), *algas pardas* (*Phaeophyceae*), *coral muerto* y *fondos arenosos*. Se logró determinar la firma para el coral muerto, fondos con presencia de esponjas y *algas calcáreas* (*Halimeda*) y fondos con presencia de *algas pardas* (100; 95,45 y 89,7% de precisión, respectivamente). El resto de firmas no fueron determinantes (precisión <50%). Se concluyó que los fondos marinos del archipiélago de la Orchila están constituidos principalmente por coral muerto asociado a especies con diferentes niveles de recolonización.

Introducción

En 1956 la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle llevó a cabo estudios sobre la flora, fauna, aspectos geológicos y socio-económicos en el archipiélago de la Orchila (Aristiguieta, 1956). Sin embargo, hasta la fecha no se ha llevado a cabo un mapeo de fondos marinos en este archipiélago, que permita evaluar su estado y poder proponer estrategias para la conservación de su biodiversidad marina. La falta de información se debe al difícil acceso por

su lejanía y a su carácter estratégico-militar. La isla de La Orchila funciona como base militar (Base Aeronaval Capitán de Navío Antonio Díaz). En la misma se prohíbe el sobrevuelo de aviones civiles y el acceso sólo es permitido bajo la autorización de la Armada Bolivariana de Venezuela.

La geomática es definida por la Organización Internacional de Estandarización (ISO19100 TC/211) como el campo de actividades que integra todos los medios utilizados para la adquisición y ges-

tió de datos espaciales necesarios (sensores, navegación espacial, SIG) en el proceso de producción y gestión de la información. El uso de sensores remotos es una herramienta útil que ha sido ampliamente utilizada en el monitoreo y creación de mapas de fondos marinos (Mous y Harborne, 1999; Sanderson, 2001; Mishra *et al.*, 2005; Green y López, 2007). Su uso en ambientes tropicales costeros implica medidas de la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie y la relación de estas medidas

a los tipos de hábitat o la calidad del agua en la zona costera que observa el sensor (Green *et al.*, 2000). El presente estudio integra herramientas geomáticas con la evaluación en campo de los elementos que constituyen el paisaje marino costero-somero en el archipiélago de La Orchila, con el objetivo de su caracterización, como un primer paso para su conservación.

Área de Estudio

El archipiélago de La Orchila está ubicado a 156,49km

PALABRAS CLAVE / Arrecifes Coralinos / Caribe / Geomática / La Orchila /

Recibido: 19/09/2011. Aceptado: 28/02/2012.

Paul Granado. Licenciado en Biología, Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Profesional, Centro de Estudios Botánicos y Agroforestales (CEBA), Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Venezuela.

Pablo Velozo. Licenciado en Biología, LUZ, Venezuela. Profesional Asociado a Investigación, CEBA-IVIC, Venezuela.

Henio Briceño. Licenciado en Biología. LUZ, Venezuela. Profesional, CEBA-IVIC, Venezuela.

Augusto Ruiz Castro. Oficial de Puente, Centro Náutico Pesquero del Caribe, Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia. Diseñador Gráfico, CEBA-IVIC, Venezuela.

Luz Esther Sánchez Arias. Licenciada en Biología Marina,

Universidad de Bogotá "Jorge Tadeo Lozano", Colombia. Doctora en Ecología, IVIC, Venezuela. Investigadora, CEBA-IVIC, Venezuela. Dirección: Laboratorio Protección y Manejo de Cuencas, CEBA-IVIC, Maracaibo, Venezuela. e-mail: lsanchez@ivic.gov.ve.

Lenin Parra. Licenciado en Biología. LUZ, Venezuela. Magister en Geografía, Ambiente y

Ordenamiento Territorial. Universidad Bolivariana de Venezuela (UBV). Profesor, UBV, Venezuela.

Gustavo Martín. Ingeniero Fotogrametrista, Escuela Camilo Cienfuegos, Cuba. Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Militar José Martí, Cuba. Investigador, Instituto de Geografía Tropical, Cuba.

DISTRIBUTION OF SUPERFICIAL CORAL AREAS IN THE ARCHIPELAGO LA ORCHILA (VENEZUELAN CARIBBEAN) USING GEOMATHIC TOOLS

Paul Granado, Pablo Velozo, Henio Briceño, Augusto Ruiz, Luz Esther Sánchez-Arias, Lenin Parra and Gustavo Martín Morales

SUMMARY

This work was carried out to determine the distribution of shallow bottom corals at the archipelago of La Orchila (Venezuelan Caribbean) using geomathic tools, through the analysis of multispectral images (SPOT 5) and using spatial navigation tracks. Thirty one coral zones were detected and validated by field work. In each of these areas, the marine bottoms were described and associated with in situ trial polygons in order to obtain their spectral signatures. Data were processed by specialized software in GIS and multicriteria analysis. The results showed spatial differences at the leeward zone, determined by the presence of corals of the genera *Acropora*, *Porites*, *Mil-*

lepora, *Montastraea* and *Diploria*, as well as species of *Zoantharia* (*Palythoa*), *Octocorallia*, seagrass (*Thalassia*), green algae (*Halimeda*), brown algae (*Phaeophyceae*), dead corals and sandy bottoms. Also, the spectral signatures of dead coral areas, sponges and calcareous algae and brown algae were determined (precisions of 100, 95.45 and 89.7% respectively). The remaining signatures were not determinant (<50% accuracy). It is concluded that the bottom at the archipelago of La Orchila consists mainly of dead coral with different levels of re-colonization.

DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS CORALINAS RASAS NO ARQUIPÉLAGO DE LA ORCHILA (CARIBE VENEZUELANO) MEDIANTE FERRAMENTAS GEOMÁTICAS

Paul Granado, Pablo Velozo, Henio Briceño, Augusto Ruiz, Luz Esther Sánchez-Arias, Lenin Parra e Gustavo Martín Morales

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de determinar a distribuição espacial dos fundos coralinos rasos no arquipélago de La Orchila, Caribe Venezuelano, empregando ferramentas da geomática, através da análise de imagens multiespectrais (SPOT-5) e o uso de navegação espacial (tracks). Detectaram-se 31 áreas de amostragens de corais, se descreveram os fundos marinhos e se associaram com polígonos de treinamento levantados in situ com o fim de obter suas assinaturas espectrais. A informação foi processada utilizando um software especializado em SIG e análise multicritério. Encontraram-se diferenças espaciais na área de sotavento, determinadas pela presença de corais do gênero *Acropora*, *Porites*, *Millepora*, *Montastraea* e *Di-*

ploria, como também de espécies de zoantídeos (*Palythoa*), *octocorais*, ervas marinhas (*Thalassia*), algas verdes (*Halimeda*), algas pardas (*Phaeophyceae*), coral morto e fundos arenosos. Conseguiu-se determinar a assinatura para o coral morto, fundos com presença de esponjas e algas calcárias (*Halimeda*) e fundos com presença de algas pardas (100; 95,45 e 89,7% de precisão, respectivamente). O restante das assinaturas não foi determinante (precisão <50%). Concluiu-se que os fundos marinhos do arquipélago de La Orchila estão constituídos principalmente por coral morto associado a espécies com diferentes níveis de recolonização.

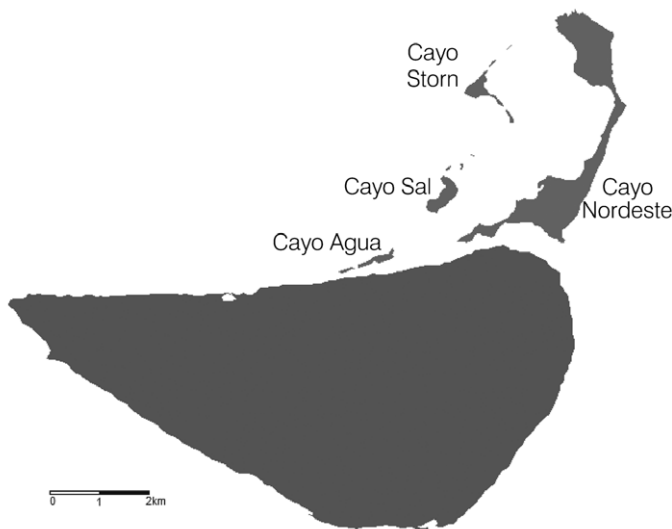


Figura 1. Mapa del archipiélago de la Orchila (cayos e isla principal).

en dirección noreste de la ciudad capital, Caracas. Sus coordenadas son 11°48'N y

66°8'O. Posee una superficie de 19,8 Km² y una altura máxima de 152m en Cerro

Walker (La Salle, 1956). El archipiélago de La Orchila (Figura 1) está constituido por una isla principal de ese nombre y cuatro cayos situados al noreste; Cayo Agua, Cayo Sal, Cayo Storn Key y Cayo Nordeste. Los tres primeros son los de menor tamaño y se ubican en el mismo orden según su cercanía a la costa. Por su parte, cayo Nordeste representa el de mayor tamaño e importancia, ya que actúa como barrera protectora contra el fuerte oleaje y el viento (Aristiguieta, 1956). El relieve de las islas y cayos que conforman el archipiélago de La Orchila es poco accidentado, debido a que la mayor parte de su superficie está formada por terrenos llanos. Hacia la costa septentrional

de la isla principal se dispone una serranía que la atraviesa, constituida por cuatro cerros, con ligeras pendientes hacia el sur. El sector centro-oriental de esta isla está conformado por terrenos bajos, evidenciándose zonas inundables con poca vegetación (Aristiguieta, 1956).

Materiales y Métodos

Se utilizó ENVI v4.7 para el análisis de imágenes satelitales multiespectrales SPOT de la Orchila (S101119151334501, Octubre 2008, procesamiento 1A; Figura 2) y se predeterminaron 41 áreas de posible muestreo de corales. Estas áreas fueron corroboradas en campo y se realizó la matriz de con-

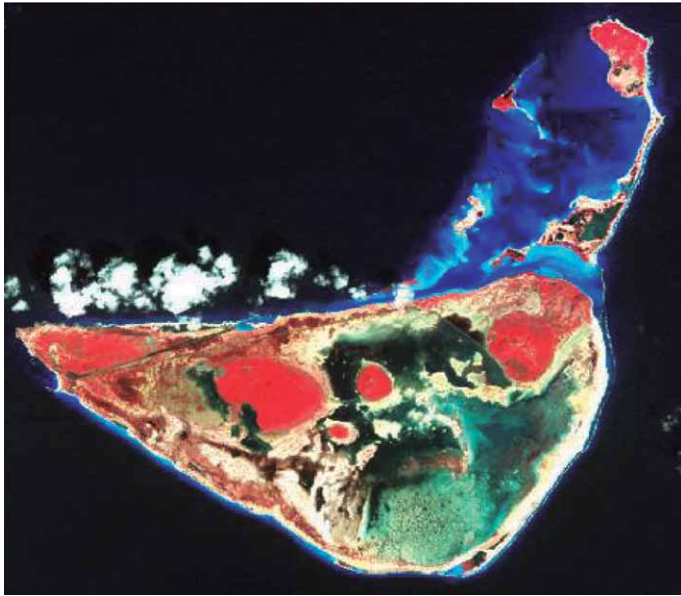


Figura 2. Imagen satelital multispectral Spot del archipiélago de la Orchila (configuración de bandas: 3-2-1).

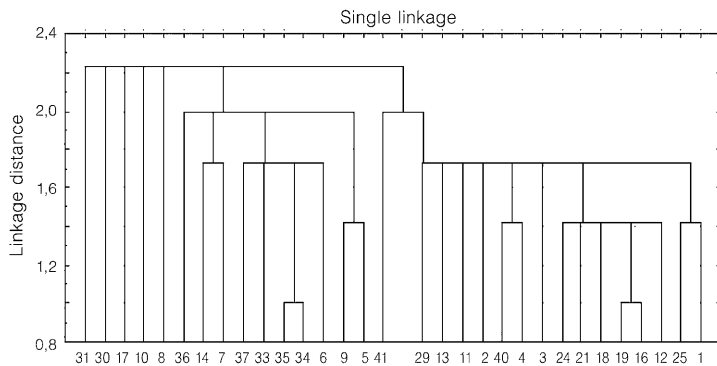


Figura 4. Clúster de similitud de polígonos de entrenamiento en base a la presencia o ausencia de elementos del paisaje.

fusión. Adicionalmente, en cada área se registraron datos sobre las formaciones coralinas y del paisaje marino que fueron asociados a polígonos de entrenamiento levantados *in situ* mediante el uso de *tracking*. Los datos originales fueron descargados al programa de edición de datos GPS TRACK-MAKER v. 13.7, posteriormente fueron depurados y se vincularon a las anotaciones registradas en campo. Se creó una base de datos y se utilizó el paquete STATISTICA ver. 7 para los fines analíticos. En la matriz se detalló el tipo y número de elementos bióticos del paisaje por polígono de muestreo,

presentado con un código binario que especificaba la presencia (1) o ausencia (0). Se elaboraron clústeres para conocer las relaciones en la distribución de los diferentes fondos marinos a partir de la información tomada en campo y para determinar la similitud de los polígonos según su firma espectral. En ENVI, se establecieron los polígonos de campo *in situ* como regiones de interés o ROIs (por sus siglas en inglés), a las cuales le fueron determinados los valores estadísticos (promedio, desviación estándar, valor máximo y mínimo) de las bandas de su huella espectral, dados por el número de píxeles de cada

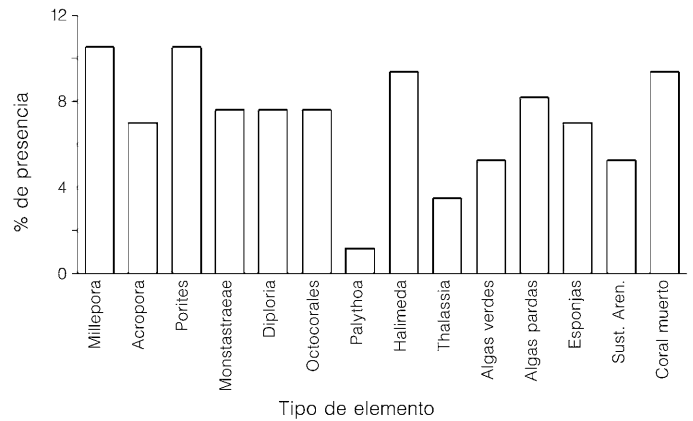


Figura 3. Diversidad total de elementos bióticos de paisaje registrados en el archipiélago de la Orchila.

ROI, para determinar el patrón de cada banda y poder de esta manera lograr el afinamiento de las ROIs y posterior determinación de los elementos del fondo marinosomero. En el afinamiento de las huellas espectrales de los polígonos de entrenamiento *in situ* solo se tomaron en consideración aquellas bandas que presentaron menor variabilidad de sus valores estadísticos para cada polígono. Una vez afinadas las ROIs se logró crear un mapa descriptivo de los fondos mediante una clasificación supervisada y se vinculó la información suministrada con la información obtenida en campo.

Resultados y Discusión

De las 41 áreas de muestreo señaladas por la clasificación no supervisada según el análisis de la imagen SPOT, 31 (75%) correspondieron a zonas con formaciones coralinas. Se observó que las imágenes seleccionadas sirven para detectar fondos marinos someros a pesar de carecer de la banda azul. Es posible que una de las causas de éxito de esta metodología sea que la profundidad no superó los 4m y que las zonas marinas pertenecen a áreas coralinas

donde la transparencia hace parte de los requerimientos para que estas colonias se desarrollen.

En relación a los fondos de las 31 áreas con estructuras coralinas, se registraron 15 elementos predominantes de paisaje marino, entre los que se encontraron principalmente corales verdaderos de los géneros *Porites*, *Acropora*, *Monstaraeae*, *Diploria* y *Millepora*; zoantidios como *Palythoa*, Octorales, esponjas, algas verdes y calcáreas como *Halimeda*, algas pardas y fanerógamas marinas como *Thalassia*, presentando parches poco desarrollados y ramoneados (Figura 3). En el Caribe se ha reportado una alta abundancia de especies de los géneros *Monstaraeae*, *Diploria*, *Porites* y *Millepora* (De la Guardia y González, 2002), lo cual se corresponde con lo encontrado en el presente estudio. El coral muerto fue uno de los sustratos más representativos de los fondos someros muestreados. Los fondos arenosos se caracterizaron por poseer pocas formaciones coralinas.

Al aplicar la prueba de afinidad con los resultados obtenidos para cada una de las áreas de muestreo, una vez depurados los *trackings* y ordenada la información, el clúster dividió los distintos tipos de fondos en tres grandes grupos (Figura 4). El primer grupo estuvo constituido por 16 puntos de

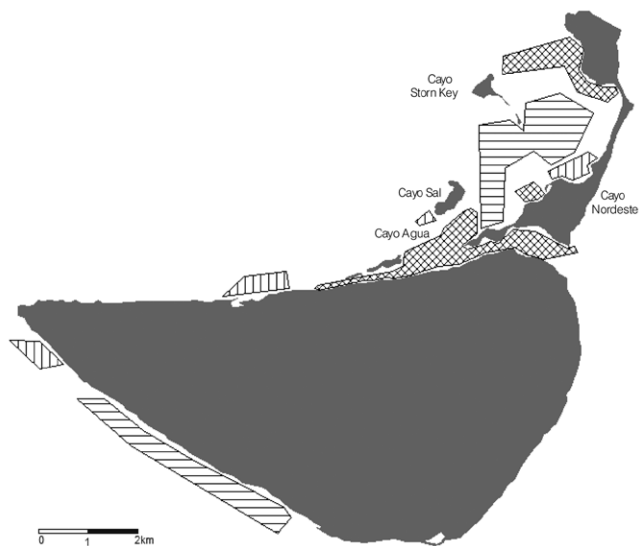


Figura 5. Representación de la agrupación de polígonos por similitud. Grupo 1: zona con líneas entrecruzadas. Grupo 2: zona con líneas verticales. Grupo 3: zona con líneas horizontales.

muestreo ubicados en la zona nororiental de La Orchila, siendo predominante la presencia de *Halimeda*, encontrándose esta última en 11 puntos. El segundo grupo estuvo conformado por 10 puntos de muestreo distribuidos en la laguna central formada por los cayos del archipiélago y en la costa oeste de la isla principal. La vinculación de este grupo estuvo relacionada a la presencia de *Millepora*, *Monastrea* y *Diploria*. Asimismo, el tercer grupo constó de cinco puntos de muestreos, tres ubicados hacia la zona norte del archipiélago y dos ubicados en la costa este del cayo Nordeste; el grupo estuvo determinado por la presencia de *Porites*, algas pardas y parches de coral muerto (Figura 5).

Es posible que los ambientes geomorfológicos que presenta el archipiélago de La Orchila estén modelando la constitución y distribución de la comunidad de especies, ya que dependen de las condiciones tanto topográficas como fisicoquímicas presen-

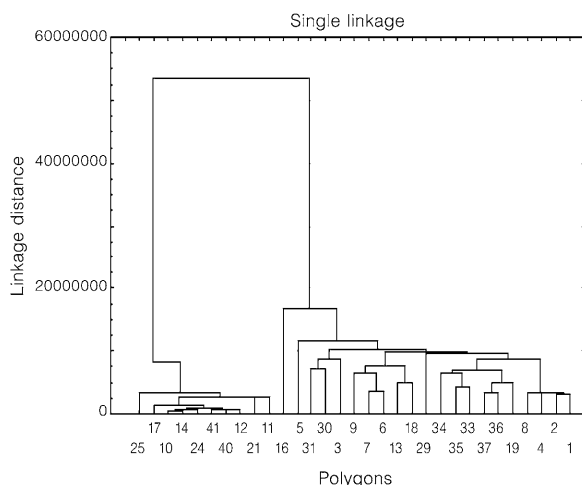


Figura 7. Clúster de agrupación de polígonos de entrenamiento según los valores estadísticos de las bandas.

tes en las islas, según sea el caso. El primer ambiente corresponde a un sistema lagunar abierto-somero formado por los cayos del noreste y se extiende hacia la costa cen-

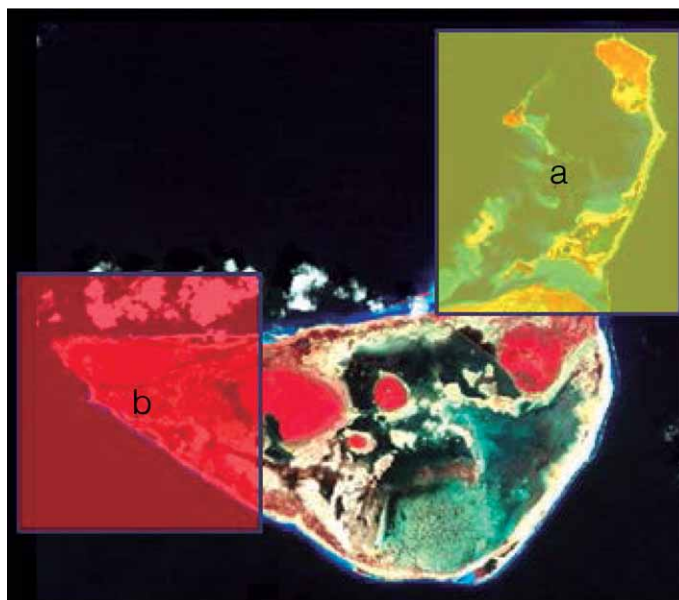


Figura 6. Imagen satelital SPOT. Recuadro A: Sistema lagunar abierto. Recuadro B: Sistema de barrera continua.

tral de la isla principal, presenta las menores profundidades, aunque se encuentra protegido por las islas/cayos que lo conforman registra una fuerte corriente (Figura 6, recuadro A). El segundo es un sistema de barrera arrecifal continua y bordea la isla principal del archipiélago (Figura 6, recuadro B). El sistema de barrera, por ubicarse en lado de sotavento, se encuentra protegido por el efecto del fuerte oleaje y es una zona de mayor profundidad, a diferencia del sistema lagu-

nar donde existe un oleaje mayor, una mayor corriente, arrastre de sedimentos y temperaturas elevadas por ser un sistema somero.

Por su parte, el clúster asociado a las firmas espectrales de los 31 polígonos de campo determinó dos conjuntos (21 para el grupo A y 10 para el grupo B; Figura 7). Se determinó que las firmas espectrales de los polígonos del grupo A correspondieron a paisajes con predominancia de fondos con algas pardas (36,84%), coral muerto (26,32%), *Porites* (15,79%) *Monastrea* (15,79%) y *Halimeda* (5,26%). En tanto que los paisajes de los polígonos de entrenamiento del grupo B se encontraron fundamentalmente constituidos por esponjas (42,86%), *Halimeda* (28,57%), coral muerto (21,43%) y algas pardas (7,14%).

Al efectuar el análisis estadístico de las bandas asociadas a cada grupo se encontró que en algunos casos los estadísticos de las bandas no presentaron gran variabilidad en sus valores (Tabla I). Esto permitió afinar las firmas espectrales para aquellos elementos del paisaje que presentaron mayor predominancia en los polígonos de entre-

TABLA I
VALORES ESTADÍSTICOS PROMEDIO DE LOS GRUPOS SEPARADOS SEGÚN EL CLÚSTER DE BANDAS A Y B

Grupo	Banda	N	Media	Mínimo	Máximo	DE
A	1	20	68,38	10,24	97,29	31,28
	2	20	42,28	4,80	65,78	20,25
	3	20	14,45	1,58	21,24	6,91
	4	20	16,11	1,60	26,47	8,49
B	1	11	11,57	10,24	15,81	1,75
	2	11	7,42	4,80	10,23	17,71
	3	11	1,93	1,57	4,02	0,74
	4	11	2,01	1,60	3,11	0,45

TABLA II
AFINAMIENTO DE FIRMAS ESPECTRALES

Firma determinada por	Bandas (rangos mínimo y máximo de valores estadísticos de la firma espectral)			
	1	2	3	4
Algas pardas	72.615-92.035	-	-	-
Coral muerto	-	-	15.396-21.243	-
<i>Monstaraea</i>	-	-	83.000-94.951	-
<i>Porites</i>	96.675-97.290	-	-	15.864-16.072
Esonjas	-	-	10.477-11.452	2.005-1.400
Esonjas con <i>Halimeda</i>	10.283-10.630	-	-	-

TABLA III
MATRIZ DE CONFUSIÓN DE DATOS DE LAS FIRMAS ESPECTRALES DEFINIDAS

Clase	Coral muerto	Algas pardas	Esonjas	Esonjas con <i>Halimeda</i>	<i>Monstaraea</i>	<i>Porites</i>	total	% precisión
Coral muerto	18						18	100,00
Algas pardas	2	17					19	89,47
Esonjas	1		3	2			6	50,00
Esonjas con <i>Halimeda</i>	1			21			22	95,45
<i>Monstaraea</i>	13	1			10		24	41,67
<i>Porites</i>	4					4	8	50,00

n= 97.

namiento. En este sentido se lograron determinar las firmas espectrales algas pardas, coral muerto, *Monstaraea*, *Porites*, esponjas y esponjas con *Halimeda* (Tabla II), que fueron cartografiadas (Figuras 8 y 9).

Si bien esta cartografía no contempla todos los elementos (Tabla II, Figuras 8 y 9) sirve como herramienta para evaluar el estado de salud del ecosistema coralino y sus causas de degradación, por incluir aspectos relacionados

con el mismo, tales como la presencia de coral muerto, invasión de algas, corales masivos y ramificados, organismos tolerantes a la sedimentación. Se conoce, por ejemplo, que la presencia de colonias de *Porites* está fuertemente

asociada a la tolerancia por parte de este género a altos niveles de sedimentación (Cortés, 1990). El registro de coral muerto puede ser asociado a altos niveles de nutrientes; concentraciones bacterianas y cambios en el pH producen mortalidad en las comunidades bentónicas. Generalmente estos cambios están vinculados al vertimiento de aguas residuales, tanques sépticos viejos y escorrentía agrícola, entre otros factores que pudieran estar ocurriendo en el archipiélago (Rogers *et al.*, 2001).

Al corroborar las firmas halladas en 93 puntos de evaluación al azar con datos de campo (fotointerpretación asociada al *track*), se pudo observar que el método empleado obtuvo un 71,1% de precisión, y que las firmas presentaron diferentes porcentajes de éxito, demostrándose que la diferencia en años entre la imagen y las observaciones de campo no influyeron considerablemente en el resultado (Tabla III).

Se obtuvo una excelente firma para el coral muerto

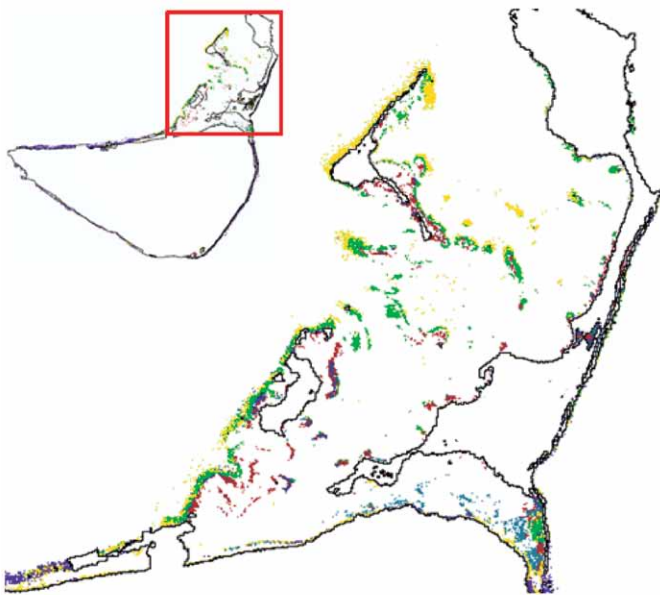


Figura 8. Mapa de fondos marinos de la Orchila a partir de las firmas espectrales definidas. Color verde: algas pardas; amarillo: coral muerto; turquesa: esponjas; rojo: esponjas con *Halimeda*; morado: *Monstaraea*. Zona nororiental del archipiélago.

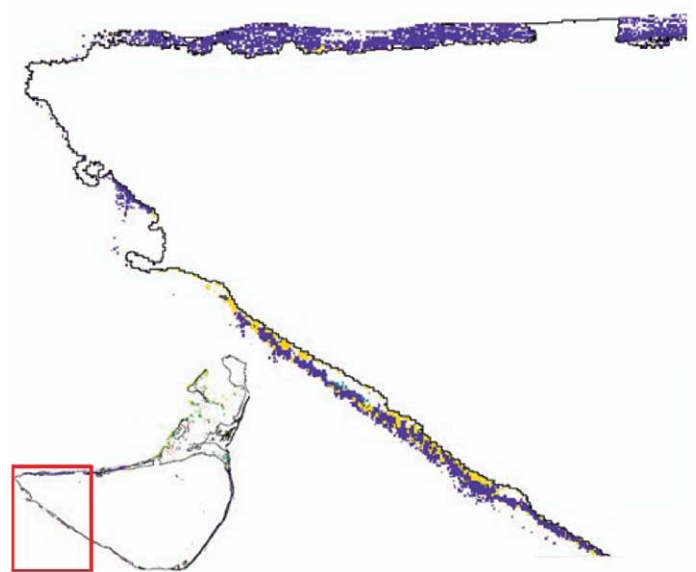


Figura 9. Mapa de fondos marinos de la Orchila a partir de las firmas espectrales definidas. Color verde: algas pardas; amarillo: coral muerto; turquesa: esponjas; morado: *Monstaraea*. Zona oeste del archipiélago.

en áreas someras (100% de precisión). Se logró un buen acercamiento a su espectro para los ambientes con predominancia de esponjas y *Halimeda* (95,45%), y para aquellos con presencia de algas pardas (89,7%); sin embargo, ambos espectros presentaron error al ser asociados a coral muerto. El resto de firmas no fueron concluyentes (precisión <50%); todas presentaron error al ser asociadas también a coral muerto, lo que se puede deber a que los fondos donde se registraron formaciones coralinas en su mayoría presentaban coral muerto como sustrato con diferentes recolonizaciones de especies que pudieron interferir en la firma.

Al determinar las áreas cubiertas por los elementos asociados a la firma espectral que presentaron mayor precisión (>89%) se encontró que el más abundante estaba constituido por coral muerto (84,39ha) seguido por fondos con presencia de algas pardas (58,57ha), siendo los menos representativos aquellos fondos con esponjas y *Halimeda* (28,95ha). Esta información

puede indicar que los fondos someros de La Orchila presentan un proceso de recolonización representado por la aparición de algas pardas sobre cascajos de coral muerto.

Conclusiones

-El fondo marino de La Orchila está constituido principalmente por coral muerto asociado a especies con diferentes niveles de recolonización asociadas a las condiciones fisicoquímicas y geomorfológicas del archipiélago.

-El uso de firmas espectrales a través de polígonos levantados en campo es una herramienta útil para la evaluación de fondos marinos que no presentan alta complejidad.

-Se requiere de un incremento de unidades muestrales para poder afinar y posteriormente definir las firmas espectrales de fondos con mayor complejidad de elementos debido a su variabilidad.

-Esta herramienta permite reducir esfuerzo de muestreo y costos al cartografiarse toda la isla a partir de un número reducido de polígonos de campo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Convenio Cuba-Venezuela por el financiamiento a través del Proyecto 'Recuperación de áreas en proceso de desertificación del Caribe y/o de países miembros del ALBA. Fase I. Parte 3. Diagnóstico de áreas vulnerables o en proceso de desertificación en zonas insulares y costeras con validación de modelo a nivel local', a la Armada Bolivariana de Venezuela, a la Dirección de Hidrografía y Navegación, al Comando Naval de Operaciones, y a los Guardacostas del Archipiélago de la Orchila por todo el apoyo prestado, a los pescadores de la zona Chipi, Atilio y José Julián por los conocimientos brindados.

REFERENCIAS

Aristiguieta L (1956) El medio biótico. En *El Archipiélago de los Roques y la Orchila*. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Editorial Sucre. Caracas, Venezuela. pp. 44-66.

Cortés J (1990) The coral reef of Golfo Dulce, Costa Rica: distribution and communities structure. *Atoll Res. Bull.* 344: 1-37.

De la Guardia Llansó E, González Díaz SP (2002) Comunidad bentónica en arrecifes coralinos de

Punta del Este y Cayo Largo, Archipiélago de los Carneros, Cuba. *Rev. Inv. Mar.* 23: 185-194.

Green EP, Mumby PJ, Edwards AJ, Clark CD (2000) *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. UNESCO. Paris, Francia. 316 pp.

Green K, López C (2007) Using object-oriented classification of ADS40 data to map the benthic habitats of the State of Texas. In *J. Photogram. Eng. Rem. Sens.* 73: 861-865.

La Salle (1956) *Archipiélago de los Roques y la Orchila*. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Editorial Sucre. Caracas Venezuela. 257 pp.

Mishra DR, Narumalani S, Donald Rundquist, Lawson M (2005) High-resolution ocean color remote sensing of benthic habitats: a case study at the Roatan Island, Honduras. *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.* 43 43, No, 7, July 2005.

Mous PJ, Harborne AR (1999) Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs. *Biol. Cons.* 88: 155-163.

Rogers CS, Garrison G, Grober R, Hillis Z, Franke MA (2001) Manual para el monitoreo de arrecifes de coral en el Caribe y el Atlántico occidental. TFC/WWF. Islas Vírgenes. 70 pp.

Sanderson PG (2001) The application of satellite remote sensing to coastal management in Singapore. *Ambio* 30: 43-48.