

Título: Cambios espaciales en los tipos de fondos marinos de la zona costera inferior a los 5 m de profundidad en Santa Lucía Camagüey, mediante el uso de la Percepción Remota.

Autora: MSc. Isis Hernández Sosa

Asesores: MSc. Beatriz Alejandra Flores Rojas
MSc. Genaro Olivera Romero

Contacto: isisbel@cimac.cu



INTRODUCCIÓN

Desde 1959, en Cuba se han producido numerosas transformaciones en las zonas costeras, las que resultan de gran interés por las potencialidades de sus recursos naturales. Santa Lucía, principal polo turístico de la provincia de Camagüey se ubica al noreste del territorio provincial. Limita al norte con el Canal Viejo de Bahamas, al sur con la Llanura Cárcica del Noreste de Camagüey, al este con la Bahía de Nuevas Grandes y al oeste con el Canal de entrada de la Bahía de Nuevas. Sus recursos naturales actualmente se explotan en función de dos actividades económicas fundamentales: la turística y la extractiva (producción de sal).

Independientemente de las potencialidades que tiene el territorio para la asimilación económica, su fragilidad inherente, implica restricciones para su manejo. Los actuales impactos negativos en los geosistemas en Santa Lucía, están asociados al uso inadecuado de los valores naturales y el incumplimiento de la legislación ambiental vigente. Entre los principales problemas ambientales identificados se encuentran: la erosión costera, la deforestación, inadecuados métodos de limpieza de la playa, entre otros.

En los últimos cinco años los procesos erosivos se ha incrementado y acelerado por el paso de eventos meteorológicos extremos y acciones de manejo inadecuadas, es por ellos que el Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey (CIMAC) se dio a la tarea de investigar y monitorear el comportamiento de los procesos costeros en Santa Lucía a través del proyecto "Gestión Ambiental en la zona costera de Santa Lucía, como contribución al desarrollo turístico" del cual la presente investigación forma parte.

Como parte de la investigación se han realizado numerosas acciones para recuperar algunos sectores de playas afectados por la erosión costera. Sin embargo, las características propias del lugar y la poca disponibilidad de arena existente en los frentes de playas han obligado a dirigir las investigaciones hacia la disponibilidad de arena existentes en los fondos marinos cercanos a la costa, que puedan y cumplan condiciones para ser utilizadas en acciones ejecutivas de mantenimiento de playa. Es a partir de aquí que surge la necesidad de investigar e identificar los tipos de fondos existentes en Santa Lucía, para luego determinar si existe la disponibilidad y condiciones necesarias que permitan las acciones de alimentación artificial a la playa.

La presente investigación pretende por tanto identificar los tipos de fondos existentes en Santa Lucía a partir del análisis y clasificación de imágenes satelitales, con vistas a agilizar e identificar con mayor rapidez las áreas con fondos arenosos, debido a que estos estudios en el terreno constituyen muy costosos. Para la realización del trabajo se utilizarán las técnicas y metodologías descritas por Green et al, 2000 y Lozano, 2003; los cuales utilizan el índice de profundidad para corregir el efecto de la profundidad en las imágenes de satélites, mostrando resultados más precisos.

Problema de la Investigación

La zona costera en Santa Lucía se ha visto afectada por numerosos impactos en los últimos años, principalmente los ocasionados por el huracán IKE en el 2008. El frente de playa ha requerido de acciones que contribuyan a la rehabilitación del mismo es por tanto que resulta necesario determinar la disponibilidad de posibles bancos de arena para ser utilizados en acciones de alimentación artificial a la playa. Para ello es necesario conocer la ubicación de zonas de acumulación de arena y la evolución de los mismos.

Justificación

Debido a los principales problemas erosivos que existen en el frente de playa en Santa Lucía y a las pérdidas de volúmenes de arena considerables que se han visto incrementadas con el paso de eventos meteorológicos extremos, existe la necesidad de encontrar fuentes de aportes alternativas que sirvan para ejecutar acciones de mantenimiento de playa a escala local.

Objetivo General

Determinar los cambios espaciales en los tipos de fondos marinos de la zona costera inferior a los 5 m de profundidad en Santa Lucía Camagüey.

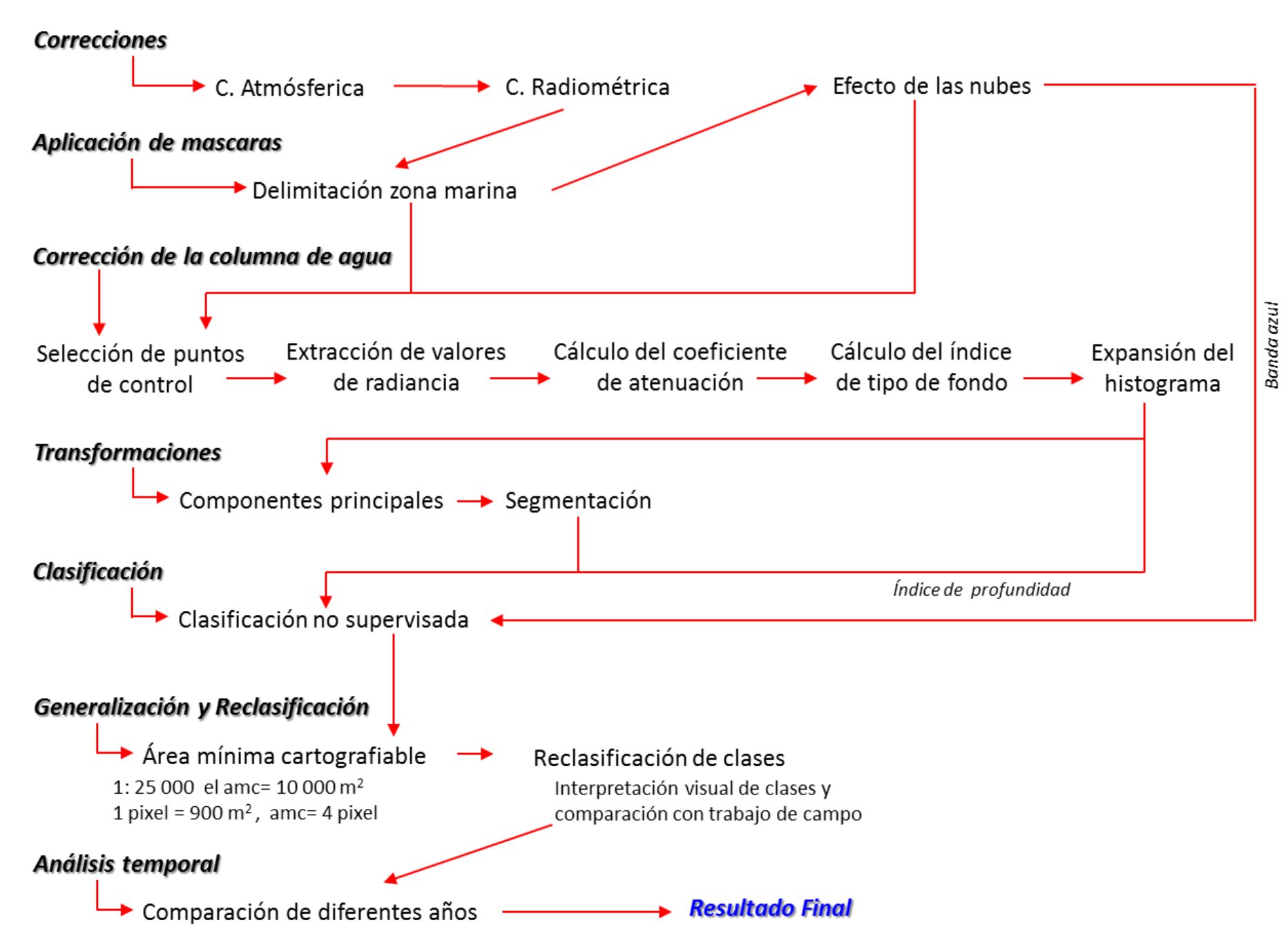
Objetivos Específicos

- Determinar y cartografiar los tipos de fondos existentes en la zona costera.
- Establecer y cartografiar las variaciones espaciales de los diferentes tipos de fondos de la zona costera en Santa Lucía en los años 1985-1989-2001-2006.

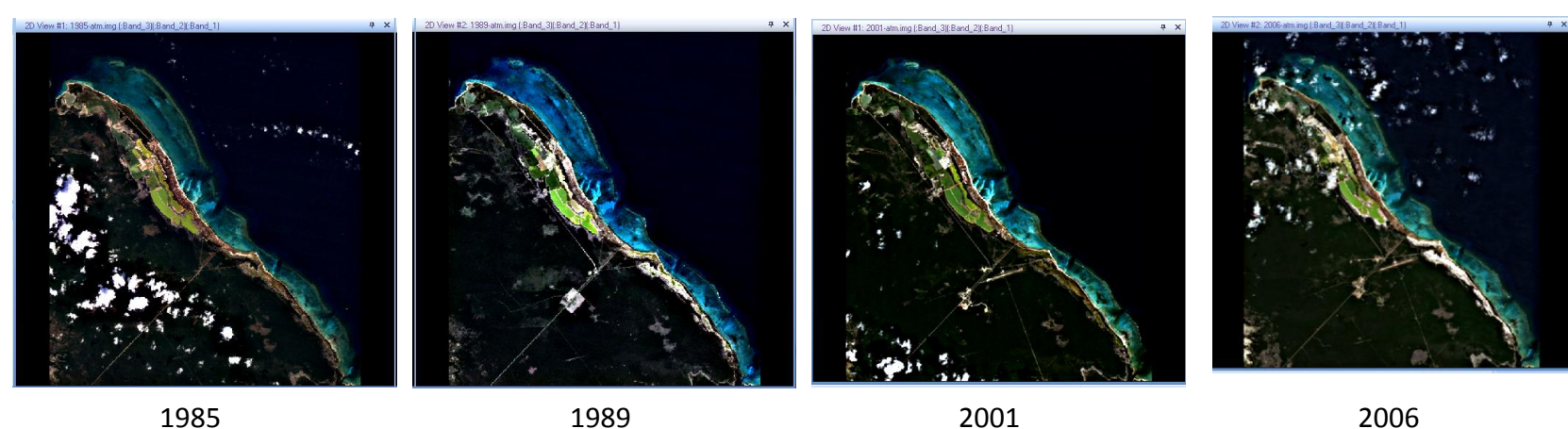
Metodología Aplicada

La metodología siguió los pasos planteados por Lozano, en su artículo:

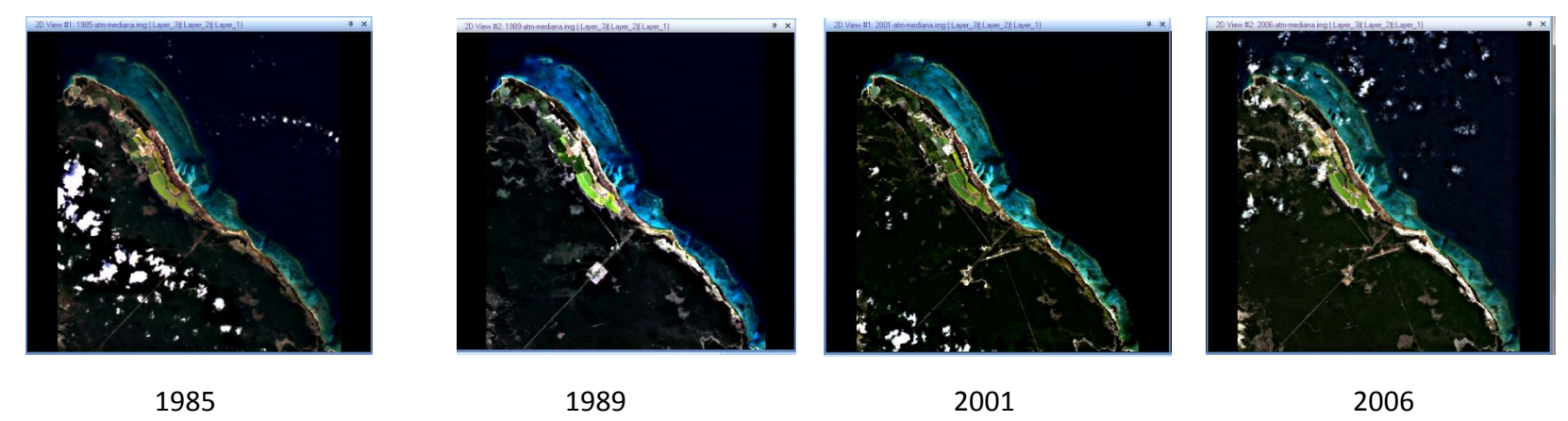
- Lozano, C del P. 2003. Aplicación de la corrección de columna de agua en una imagen Landsat ETM para identificación de fondos marinos en un segmento de la costa entre los estados de Río Grande do Norte y Ceará, Brasil. Monografía para el Curso Internacional de Sensoriamento Remoto y Sistemas de Información Geográfica.



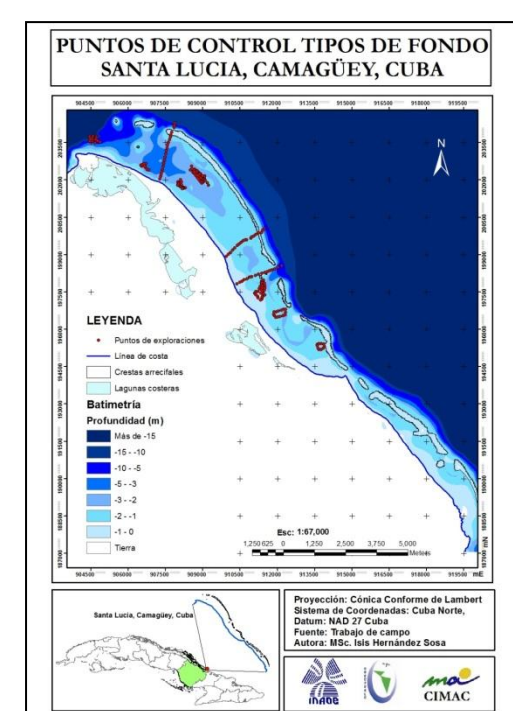
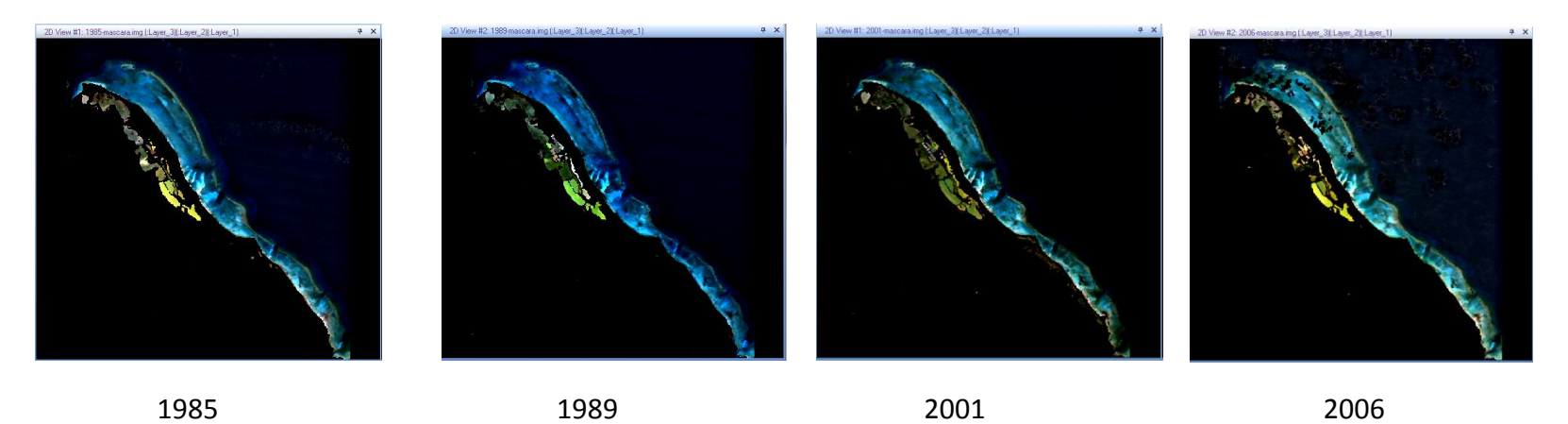
Imágenes corregidas atmosféricamente



Imágenes corregidas radiométricamente (Filtro de Mediana)



Imágenes con máscara a la zona terrestre



Se seleccionaron 213 puntos de control de los cuales se conocía el tipo de fondo y su profundidad, de ellos

- ✓ 106 puntos de control a arrecife
- ✓ 107 puntos de control de fondo arenoso

A estos puntos se les extrajo los valores de radiancia de cada una de las imágenes en las bandas 1-2 y 3.

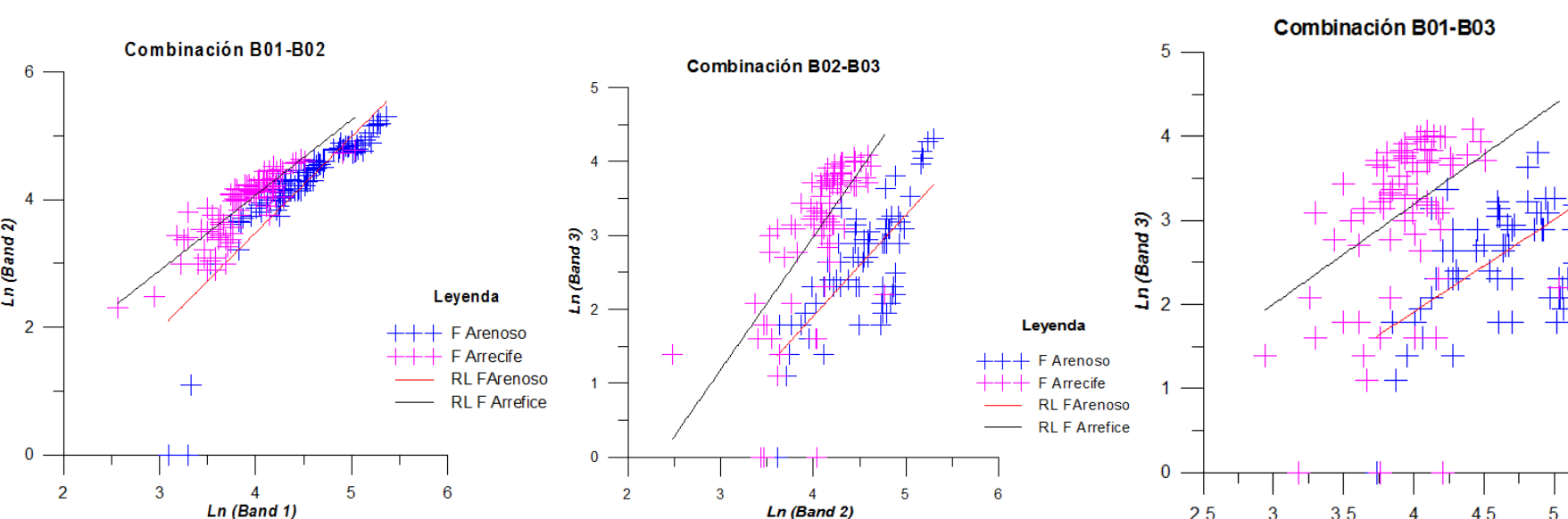
Con los valores de radiancia seleccionados se calculó el coeficiente de atenuación, basados en el análisis de la varianza y la covarianza entre pares de bandas

$$k_i/k_j = a + \sqrt{a^2 + 1} \quad a = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\sigma_{xy}}$$

Fondo	Cálculo de a						Cálculo de a					
	1985	1989	2001	2006	1985	1989	2001	2006	1985	1989	2001	2006
Arrecife	0.02	0.59	0.75	0.14	0.60	1.13	-0.17	0.41	0.29	-0.11	0.49	0.60
Arenoso	0.00	1.14	1.28	0.27	1.77	2.71	-0.01	1.23	1.33	-0.05	1.30	1.33

Una vez obtenidos los resultados del coeficiente de atenuación se procedió a determinar cuál de los coeficientes para tipos de fondo se utilizaría para ello se interpretaron las gráficas de sus radiancias con respecto a su distribución.

Representación del Logaritmo natural por pares de bandas



Al analizar estos resultados podemos observar que los puntos de muestreo pertenecientes al fondo arenoso su distribución es más cerrada y se aproximan más a la pendiente de la recta mostrando mayor uniformidad. Sin embargo los valores del fondo arrecifal guardan mayor relación con los resultados de estudios anteriores (Green et al 2000). Por otro lado si analizamos las desviaciones estándar de los datos tomados podemos apreciar que en el fondo arrecifal se mantiene en un rango muy semejante entre cada una de las bandas, mientras que en el fondo arenoso existe mayor variabilidad y por tanto mayor variabilidad en los valores de radiancia de igual tipo de fondo. Por tales razones a partir de aquí se utilizarán los coeficientes de atenuación de los fondos arenosos para el cálculo del índice de profundidad.

$$\text{Índice Profundidad } i = \ln(L_i) - [(k_i/k_j) \ln(L_j)]$$

A las imágenes obtenidas de aplicar el índice de Profundidad para eliminar el efecto de la profundidad en las imágenes satelitales se le aplicó una expansión al histograma para resaltar los valores entre 0 y 255 los valores de gris

		Antes de la expansión					Después de la expansión						
		Min	Max	Media	Mediana	Moda	Dev Std	Min	Max	Media	Moda	Dev Std	
1985	B01-B02	-0.48955	1.1727	0.287	-0.002555	-0.002555	0.349	0	255	119.094	74.707	74.707	53.482
	B02-B03	-8.1848	2.7726	-1.592	-0.009553	-0.009553	1.725	0	255	153.432	190.25	190.25	40.138
	B01-B03	-9.6317	3.6376	-1.609	-0.042559	-0.042559	1.847	0	255	154.175	184.28	184.28	35.493
1989	B01-B02	-2.1894	1.6628	0.027	-0.007483	-0.007483	0.402	0	255	146.685	144.43	144.43	26.615
	B02-B03	-13.564	2.9957	-2.071	-1.3203	-0.044469	3.943	0	255	176.97	179.3	208.19	37.132
	B01-B03	-22.405	3.7136	-3.266	-2.8162	-0.061449	3.943	0	255	186.857	191.25	218.14	38.494
2001	B01-B02	-1.2138	1.1194	0.186	-0.001648	-0.001648	0.272	0	255	152.994	132.48	132.48	29.762
	B02-B03	-8.8726	3.6889	-1.701	-2.0031	-0.04032	1.818	0	255	145.579	139.45	179.3	36.908
	B01-B03	-10.041	3.7136	-1.739	-1.8741	-0.047389	1.966	0	255	153.904	151.41	185.27	36.450
2006	B01-B02	-3.7895	3.9512	0.230	-0.009858	-0.009858	0.297	0	255	132.399	124.51	124.51	9.799
	B02-B03	-10.58	27.206	-2.253	-2.9048	-0.10035	2.327	0	255	56.197	51.797	70.723	15.703
	B01-B03	-10.775	29.465	-2.194	-2.7586	-0.08644	2.341	0	255	54.381	50.801	67.734	14.837

Sobre las imágenes índices ya transformadas se aplicó una transformación de componentes principales (ACP).

Se realizó el proceso de clasificación no supervisada a cada una de las imágenes analizadas hasta el momento: índice b01-b02, b02-b03, b01-b03, acp 01, acp 02, acp 03 y a la banda azul de las imágenes originales por cada uno de los años para un total de 28 imágenes clasificadas. El área de estudio se subdividió en 10 clases. Estas clases fueron seleccionadas con los mejores resultados de un análisis previo de diferentes clasificaciones entre 6,10 y 12 clases.

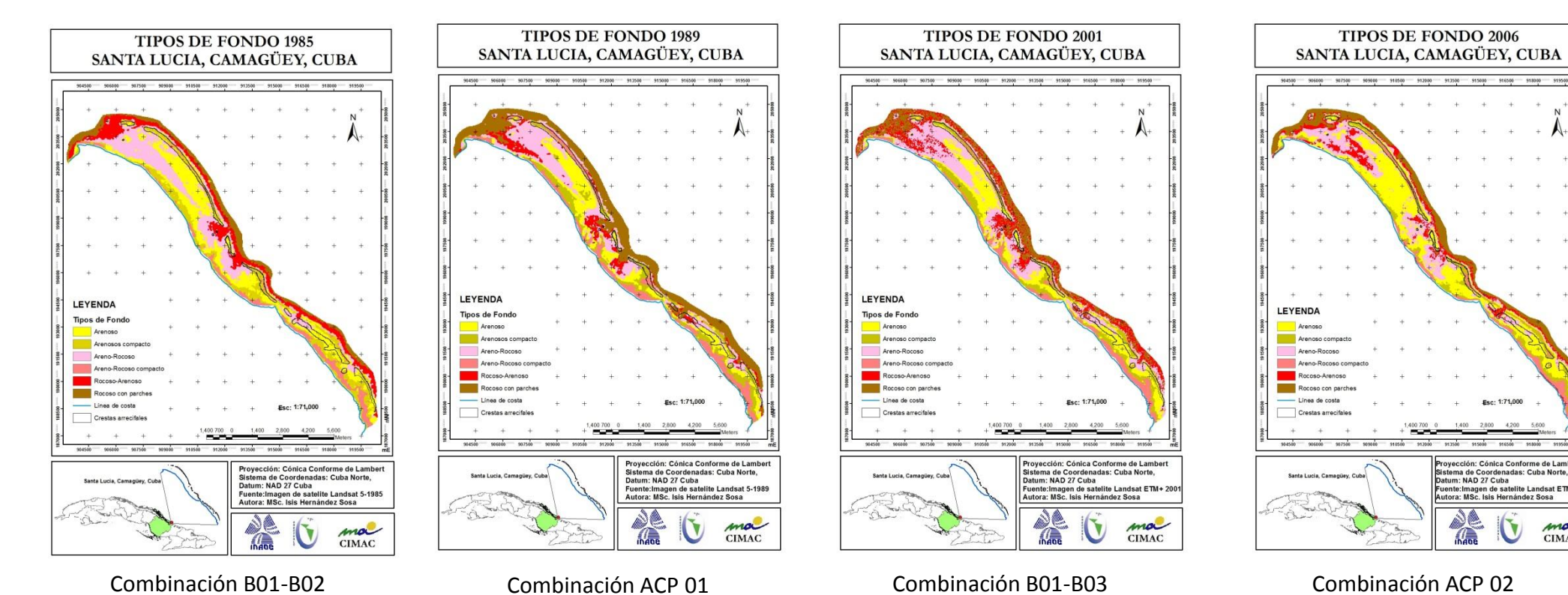
Los tipos de fondos en Santa Lucía, dentro del área de estudio, se pueden clasificar en tres tipos y tres subtipos, de acuerdo a los trabajos de campo realizados y la bibliografía (ICGC y ACC, 1989):

- ✓ Arenosos.
- ✓ Arenosos compactos.
- ✓ Areno-Rocosos.
- ✓ Areno-Rocosos compactos.
- ✓ Rocoso-Arenoso.
- ✓ Rocoso con parches arenosos y corales.

A partir de los resultados alcanzados en las imágenes procesadas se identificaron las dos mejores clasificaciones para cada uno de los años para ser interpretadas, las cuales fueron:

- ✓ 1985: índice b01-b02 y b01-b03
- ✓ 1989: índice b02-b03 y acp 01
- ✓ 2001: índice b01-b03 y acp 02
- ✓ 2006: índice b01-b02 y acp 02

De las 8 clasificaciones seleccionadas se seleccionaron las 4 con mejores resultados

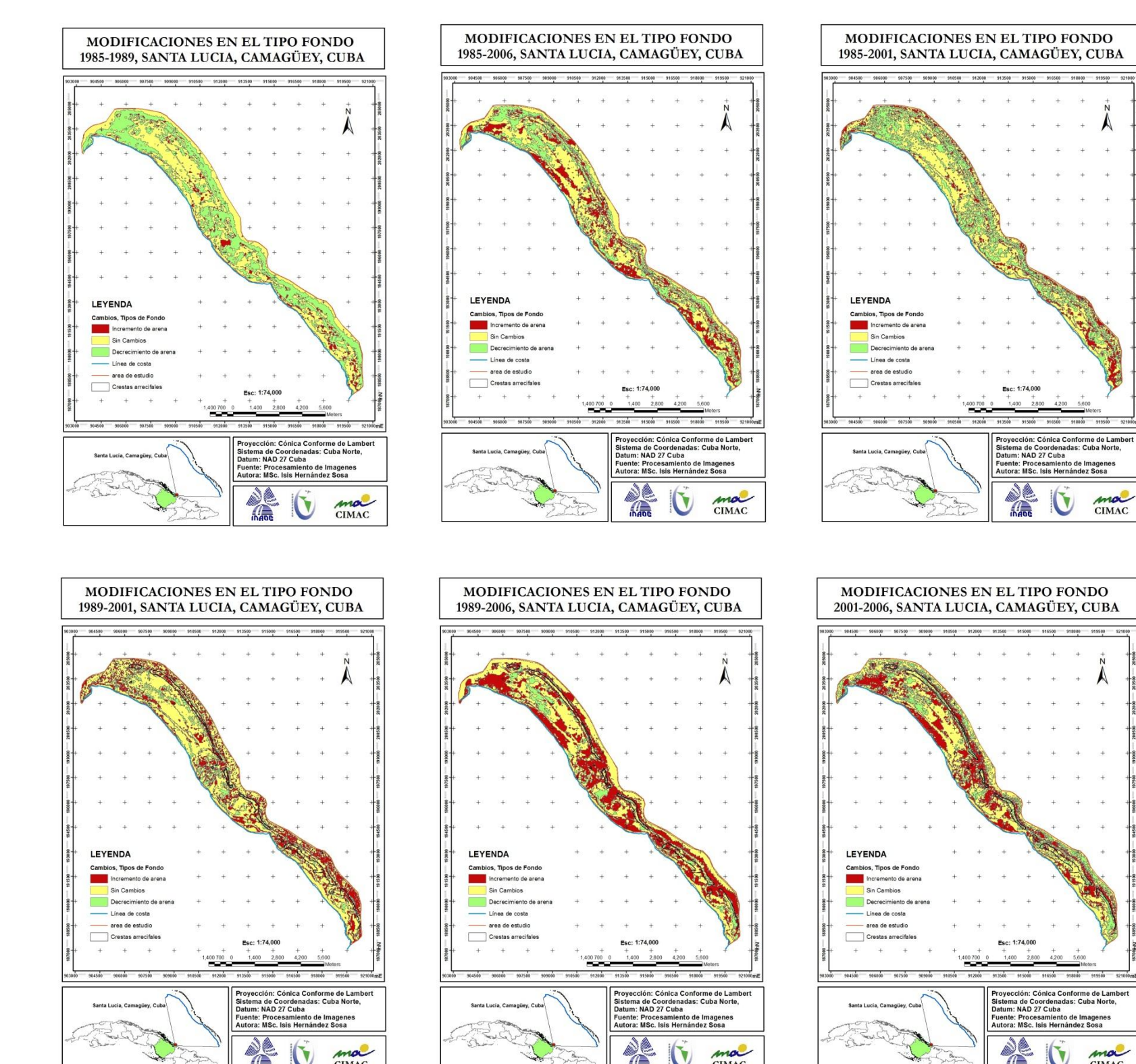


Para el análisis de los cambios de los fondos en Santa Lucía establecimos tres categorías:

- Aquellas en el que el segundo año incremento la cantidad de arena en el contenido de su fondo, por ejemplo aquello que de fondos areno-rocosos pasaron a arenosos.
- Los que no sufrieron cambios.
- Aquellos que la cantidad de arena en su fondo disminuyó, por ejemplo de suelos areno rocosos pasaron a rocosos

Comparación por años de las modificaciones en el tipo de fondo

		1989				2001				2006			
		1	2	3	Total	1	2	3	Total	1	2	3	Total
1985	Área (km ²)	2.80	277.20	18.66	298.67	6.45	277.55	13.59	297.59	10.47	277.49	9.65	297.61
	%	0.94	92.81	6.25	100.00	2.17	93.26	4.57	100.00	3.52	93.24	3.24	100.00
1989	Área (km ²)					13.17	280.38	4.07	297.62	18.72	275.01	3.90	297.63
	%					4.42	94.21	1.37	100.00	6.29	92.40	1.31	100.00
2001	Área (km ²)									14.09	276.79	7.38	298.25
	%									4.72	92.80	2.47	100.00



Los fondos con contenido arenoso se incrementaron paulatinamente a partir de 1985 hasta el 2006 con valores de 0.94, 2.17 y 3.52 % respectivamente, mientras que las áreas de fondos rocosos disminuyó. Las zonas arenosas de 1985 a 1989 se incrementaron en 0.94%, de 1989 al 2001 fue de 4.42, mientras que del 2001 al 2006 fue de 4.72%. Los mapas del 10 al 15 nos muestran las áreas modificadas para cada uno de los años comparados.

Teniendo en cuenta estos resultados y comprándolos con la poca dinámica costera que existe en el área nos evidencia el grado de aceptación de la clasificación realizada de los tipos de fondos en Santa Lucía.

CONCLUSIONES

- Las técnicas utilizadas permitieron cartografiar los tipos de fondos en Santa Lucía en los cuatro años estudiados y establecer las diferencias entre cada uno.
- La utilización del índice de profundidad permitió determinar los tipos de fondos en Santa Lucía mostrando resultados más precisos que los obtenidos de la clasificación de la banda azul, lo que evidencia su efectividad en la clasificación de tipos de fondos, descartando el efecto de la profundidad en las imágenes.
- Más del 92% de las áreas de cada una de las imágenes no sufrieron cambios en su tipo de fondo.
- Los fondos arenosos y areno-rocosos ocupan la mayor extensión dentro de la zona de estudio.
- Los espacios arenosos se incrementaron de 1985 al 2006 con valores entre 0.9 y un 3.5 % respectivamente.

TRABAJO FUTURO

A partir de los resultados alcanzados en el presente trabajo queda para el futuro realizar comprobaciones de campos para corroborar la efectividad de la clasificación de tipos de fondos realizadas a pesar que corresponden a años pasados. Además es importante que se realice este mismo procedimiento para años más recientes y realizar las mediciones necesarias. Por otro lado, se debe profundizar en las áreas que fueron determinadas como fondos arenosos para determinar si cumplen con el resto de las condiciones necesarias para ser utilizadas como zonas de préstamos para alimentación artificial.

RECOMENDACIONES

- Supervisar en el terreno las clasificaciones realizadas.
- Continuar trabajando en la identificación de los tipos de fondo y la influencia de la vegetación marina en las imágenes analizadas.
- Realizar este tipo de estudio en otros espacios