

**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

**TEMÁTICA:** Cartografía y tecnologías de la información geográfica

**INSTITUCIÓN:** Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey (CIMAC)

**EMAIL:** [isisbel@cimac.cu](mailto:isisbel@cimac.cu)

**RESUMEN**

Santa Lucía es el principal polo turístico de la provincia de Camagüey, sus recursos naturales actualmente se explotan en función de dos actividades económicas: la turística y la extractiva (producción de sal). 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 años los procesos erosivos se han incrementado y acelerado por el paso de eventos meteorológicos extremos y acciones de manejo inadecuados. Actualmente se han realizado numerosas acciones para recuperar algunos sectores de playas afectados por la erosión costera, sin embargo, las características 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. La presente investigación pretende 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. En el trabajo se utilizaron 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. Esta técnica, permitió identificar las principales áreas con fondo arenoso y sus variaciones desde 1985 hasta el 2006.

**PALABRAS CLAVES:** tipos de fondo, percepción remota

## **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 Cárstica del Noreste de Camagüey, al este con la Bahía de Nuevas Grandes y al oeste con el Canal de entrada de la Bahía de Nuevitas. 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 inadecuados, 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. 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, así como determinar los cambios espaciales en los tipos de fondos de la zona costera inferior a los 5 m de profundidad en Santa Lucía Camagüey.

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.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

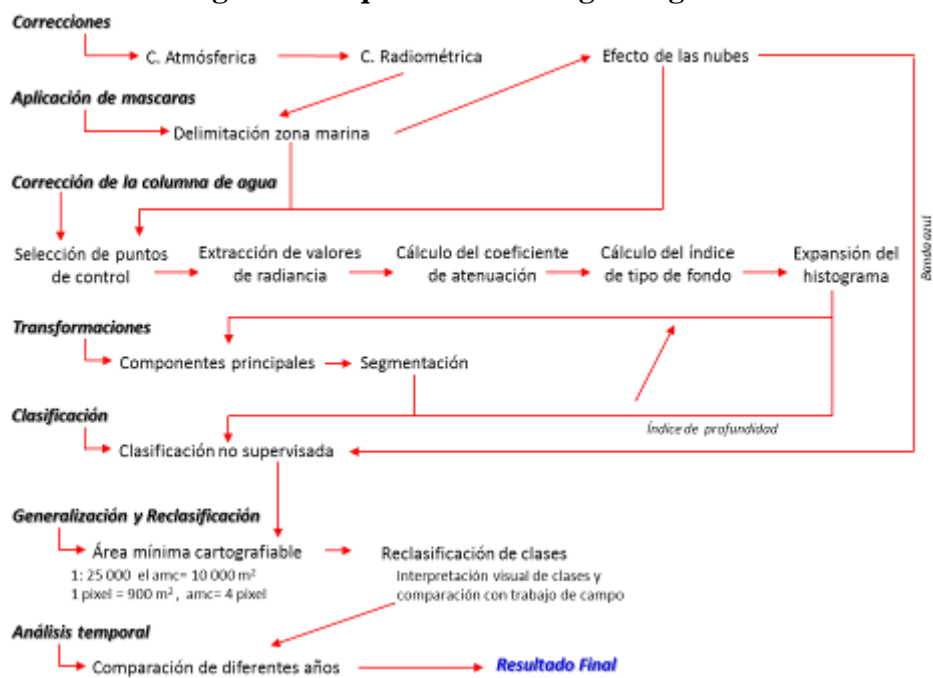
La percepción remota es un medio alternativo que ha resultado ser una herramienta de seguimiento de costo efectivo en muchas aplicaciones ambientales. Su relación costo beneficio de un trabajo en sensoramiento remoto es tal vez mejor observada en relación a los métodos alternativos tradicionales para alcanzar los mismos objetivos administrativos (En: *Castaño-Gallego y Lozano-Rivera, 2006*).

Sin embargo es importante mencionar que a pesar que los estudios a través de análisis de percepción remota reducen considerablemente el costo en las investigaciones ambientales no se puede prescindir de los métodos tradicionales. Estos siguen siendo la base del conocimiento y reconocimiento de las áreas de estudios, lo que permite refinar y obtener trabajos más precisos con la ayuda de la teledetección.

En el caso de las investigaciones de fondos marinos a través de la teledetección es necesario corregir el efecto producido por la atenuación de la luz debido a la columna de agua. Respecto a esto, *Lozano (2003)* concluye que: “en todos estos procesos de producción de cartografía marina a partir de imágenes orbitales, es necesario hacer además de las correcciones atmosférica, geométrica y radiométrica, la corrección de columna de agua. Para el mapeo de hábitats submarinos, se recomienda hacer esta corrección para compensar el efecto de la profundidad sobre la señal recibida por el sensor, (debido a la atenuación de la luz en la columna de agua). Si esto no es hecho, es difícil distinguir de manera más real los hábitats y fondos marinos, porque los efectos de profundidad dominarán la imagen. (*Green et al, 2000*).

La metodología aplicada en el presente trabajo sigue los pasos descritos por *Lozano (2003)* y que se aprecian en la figura 1.

**Figura 1: Esquema metodológico seguido.**

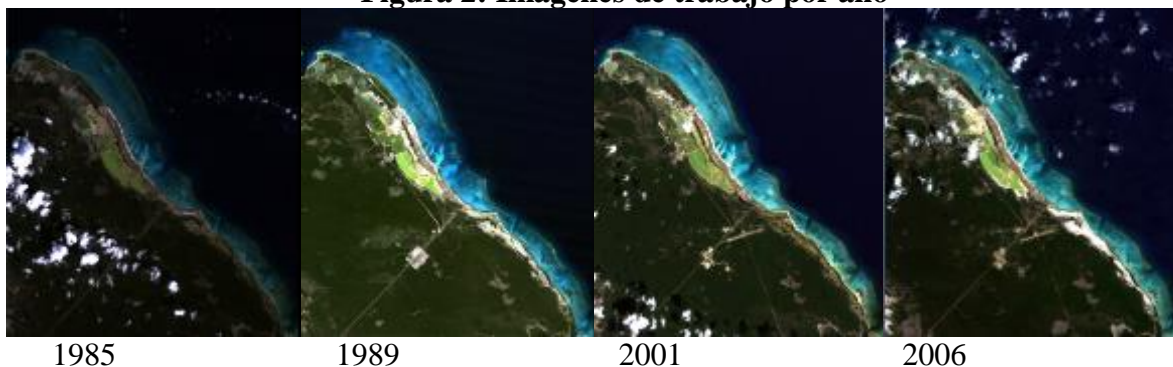


Fuente: elaborado por la autora a partir de *Lozano, 2003*.

Para la realización del trabajo se contaron con imágenes satelitales Landsat de los sensores:

- ✓ Imagen Landsat TM del 29 de Enero de 1985 y 16 de noviembre de 1989 de la provincia de Camagüey, Cuba, escena 012-45. Descargada de la Base de Datos del sitio web: <http://glcfapp.glcf.umd.edu>.
- ✓ Imagen Landsat ETM+ de 17 de enero de 2001 y 20 de marzo de 2003 de la provincia de Camagüey, Cuba, escena 012-45. Descargada del sitio web: <http://glcfapp.glcf.umd.edu>.

**Figura 2: Imágenes de trabajo por año**



1985

1989

2001

2006

Fuente: descargadas de la base de datos

Además se contó con información base entre la que se encuentran más de 100 puntos de control de los diferentes tipos de fondos (Mapa 1 Anexo 1), la batimetría del área de estudio (Mapa 2, Anexo 1) y los mapas temáticos de tipos de fondo y vegetación de 1989 (Mapa 3 y 4, Anexo 1).

Una vez aplicada las correcciones radiométricas y atmosféricas a las imágenes satelitales se corrigió el efecto de la columna de agua mediante el uso del índice de profundidad para ello se siguieron los siguientes pasos:

- ✓ Se seleccionaron los puntos de control para cada uno de los tipos de fondos identificados: se tomaron como mínimo 100 puntos de control para extraer sus valores de radiancia en correspondencia con el pixel que ocupan. Estos puntos correspondientes al mismo tipo de fondo se tomaron del trabajo de campo realizado durante el periodo 2007-2011 (Mapa 1, Anexo 1), de ellos se seleccionaron 106 puntos pertenecientes a fondo arrecifal y 107 puntos para fondos arenosos, en zonas en las que se conoce que no ha variado el sustrato. A cada uno de los puntos seleccionados se le extrajo los valores de profundidad de acuerdo al mapa 2 (Anexo 1), tomando en cuenta que los puntos pertenecieran a diferentes profundidades. El análisis se realizó a dos tipos de fondos para evaluar cuál de los dos mostraba los mejores resultados en la clasificación del fondo.
- ✓ Extraer los valores de radiancia: A los puntos seleccionados se les hace corresponder con un pixel y se extraen los valores de radiancia de las bandas 1, 2 y 3 (azul, verde y roja) para su posterior análisis en el índice de profundidad.
- ✓ Cálculo del coeficiente de atenuación: para ello se utilizaron las formulas (1) y (2). El cálculo de la variable  $a$  es el resultado de la resta entre las varianzas de cada una de las bandas, dividido entre dos veces la covarianza del par de bandas utilizadas. Estos cálculos se le realizan a los valores de radiancia extraídos de los puntos de control.

$$k_i/k_j = a + \sqrt{a^2 + 1} \quad (1)$$

Donde:

$$a = \frac{\sigma_{ii} - \sigma_{jj}}{2\sigma_{ij}} \quad (2)$$

Y

$$\sigma_{ij} = \overline{X_i X_j} - (\overline{X_i} \times \overline{X_j}) \quad (3)$$

- ✓ Cálculo del índice de tipo de fondo: para ello se utilizó la ecuación (4), donde  $L_i$  es el valor de radiancia para la banda  $i$ ,  $L_j$  es el valor de radiancia para la banda  $j$ ,  $K_i/K_j$  es el coeficiente de atenuación para el par de bandas  $i$ - $j$ . Para dar solución a la ecuación se utilizó la herramienta ModelMaker

$$\text{Índice de profundidad} = \ln(L_i) - [(K_i/K_j) * \ln(L_j)] \quad (4)$$

Una vez identificada la combinación o índice de profundidad con mayor precisión se procedió a realizar diferentes tipos de análisis de imágenes con vistas a obtener la mejor clasificación del tipo de fondo entre ellos se encuentran:

- ✓ Expansión del histograma: del proceso del cálculo del índice de tipo de fondo dio como resultados imágenes en las que sus valores correspondían a números decimales y que estaban tanto valores positivos como negativos. Para resolver este problema y obtener valores de radiancia fue necesario realizar una expansión del histograma en el que los valores se redistribuyeran entre 0 y 255, incluyendo aquellos valores 0 correspondientes a la zona terrestre.
- ✓ Análisis de Componentes Principales (ACP): el cual permite sintetizar las bandas originales, creando unas nuevas bandas. Para realizar el ACP fue necesario agrupar en una sola imagen las tres imágenes resultantes del proceso de determinación del índice de tipo de fondo. Para ello se asignó:

Banda 1: combinación B01-B02 del índice de fondo.

Banda 2: combinación B02-B03 del índice de fondo.

Banda 3: combinación B01-B03 del índice de fondo.

- ✓ Segmentación de la imagen: se le realizó a las imágenes de cada uno de los años de estudio, para un total de 28 imágenes segmentadas: Índice B01-B02; Índice B02-B03; Índice B01-B03; ACP 01; ACP 02; ACP 03 y la banda azul de las imágenes originales. Para la segmentación se utilizó el método de la Distancia Euclidiana, en el cual se tuvo en cuenta un umbral de 5, una diferencia entre segmentos de 5, un coeficiente de variación de 3.5 y un tamaño mínimo de 25 pixel.
- ✓ Clasificación no supervisada: se le realizó a las 28 imágenes resultados de todo el proceso anteriormente descrito, para ello se utilizó el algoritmo ISODATA, en el cual se tuvo en cuenta: 10 clases, realizar el procedimiento con un total de 9 repeticiones y un umbral de 0.95.

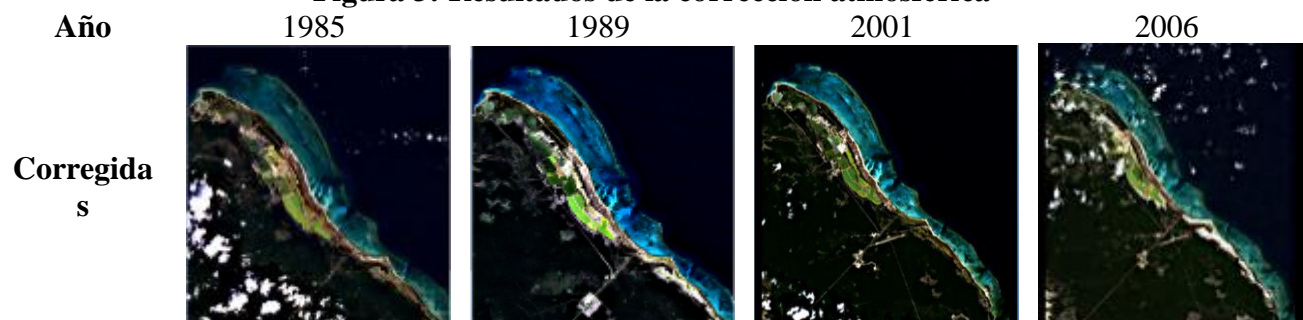
Es importante destacar que la clasificación de las 10 clases solo se le realizó al área de estudio delimitada por la creación de un área específica.aoi. Este técnica fue necesaria debido a que si se realizaba todo el procedimiento de clasificación a toda la imagen se obtenían resultados muy generales, las clases generadas representaban las diferencias fuera del área de estudio, en zonas profundas y área terrestre, mientras que la zona de estudio era prácticamente clasificada en uno o dos clases.

- ✓ Generalización y reclasificación: Un análisis importante a la hora de representar cartográficamente los resultados es el nivel de generalización que presentara y está en correspondencia con la escala de representación final. Para llevar a cabo esta tarea fue necesario pasar por los procesos de reclasificación de clases, filtraje de clases, la regionalización y determinación del área mínima cartografiable.
- ✓ Análisis temporal: una vez concluido todos los análisis por año e identificados las imágenes que muestra los resultados más verídicos con el terreno, se procede a realizar el análisis temporal de evolución de los fondos marinos. La herramienta utilizada para realizar esta operación fue *Image Difference*, la cual permite calcular las diferencias entre dos imágenes y poner de relieve los cambios que superan un umbral especificado por el usuario. Para ello, se realizan las seis comparaciones que establecen estas modificaciones:  
1985-1989; 2001; 2006  
1989- 2001; 2006  
2001-2006

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se describen los resultados de cada uno de los pasos realizados en la metodología. Al realizar la corrección atmosférica se puede apreciar la diferenciación, contraste y nitidez en la zona de estudio aumento. En las áreas en las que aparecen nubes observaremos que incluso estas se pueden diferenciar con mayor claridad.

**Figura 3: Resultados de la corrección atmosférica**



Fuente: Elaborado por la autora

Para la corrección radiométrica se utilizaron seis filtros con vistas a evaluar cuál de ellos mostraba los mejores resultados, en todos los casos el filtro de la mediana mostro los mejores resultados en cada uno de los años analizados. El filtro de la mediana logró reducir los ruidos de pixeles aislados en las imágenes así como atenuar el efecto del bandeo sin que esta perdiera claridad.

Después de concluido todo el proceso de corrección se aplicó la máscara para zonas emergidas. Como resultados se obtuvo una imagen en la que la zona terrestre tomó valores ceros, es importante destacar que las áreas de la laguna costera mantuvieron los valores de radiancia pero se encuentran fuera del área de estudio y por tanto no se analizan. Por otro lado, la imagen del 2006 mostro que en las zonas donde se encontraban las nubes se tomaron como valor cero, por tal motivo fue necesario realizar una corrección a estas áreas mediante la interpolación.

Para la corrección del efecto de las nubes se aplicaron cinco interpolaciones. El método de distancia por peso mostró los mejores resultados en la imagen.

A partir de los datos de radiancia extraídos de las imágenes se calculó la varianza y la covarianza por pares de bandas en cada uno de los tipos de fondo. Posteriormente se calculó el coeficiente de atenuación por pares de bandas en correspondencia con las formulas (1) y (2). La tabla 1 nos permite observar los resultados del coeficiente de atenuación.

**Tabla 3: Coeficiente de atenuación por pares de bandas**

Fondo	Año	Bandas	$K_i/K_j$	Fondo	$K_i/K_j$
Arenosos	1985	B01-B02	1	Arrecifal	1.02
		B02-B03	2.65		1.76
		B01-B03	2.9		2
	1989	B01-B02	1.3		1.15
		B02-B03	3.8		1.77
		B01-B03	5.6		2.64
	2001	B01-B02	0.99		0.84
		B02-B03	2.81		1.49
		B01-B03	2.99		1.33
	2006	B01-B02	0.95		0.89
		B02-B03	2.93		1.61
		B01-B03	3.0		1.76

Fuente: elaborada por la autora

Al analizar los valores obtenidos en el coeficiente de atenuación por tipos de fondos y observar las gráficas de sus radiancias con respecto a su distribución se pudo 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 al analizar las desviaciones estándar de los datos tomados se apreció 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 se tomó el coeficiente de atenuación de los fondos arenosos para el cálculo del índice de profundidad. Como resultado del cálculo del índice de tipo de fondo se obtuvieron las tres combinaciones por pares de bandas de cada una de las imágenes.

A las imágenes anteriores se les realizó una expansión lineal del histograma como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2: Expansión del histograma.**

		Antes de la expansión						Después de la expansión			
		Min	Max	Media	Mediana	Moda	DevStd	Media	Mediana	Moda	DevStd
1985	B01-B02	-0.49	1.17	0.29	-0.0025	-0.0025	0.35	119.09	74.71	74.71	53.48
	B02-B03	-8.18	2.77	-1.59	-0.0095	-0.0095	1.72	153.43	190.25	190.25	40.14
	B01-B03	-9.63	3.64	-1.61	-0.0425	-0.0425	1.85	154.17	184.28	184.28	35.49
1989	B01-B02	-2.19	1.66	0.03	-0.0075	-0.0075	0.40	146.68	144.43	144.43	26.61
	B02-B03	-13.6	2.99	-2.07	-1.9203	-0.0445	2.41	176.97	179.3	208.18	37.13
	B01-B03	-22.4	3.71	-3.27	-2.8162	-0.0614	3.94	186.86	191.25	218.14	38.49
2001	B01-B02	-1.21	1.12	0.19	-0.0016	-0.0016	0.27	152.99	132.48	132.48	29.76
	B02-B03	-8.87	3.69	-1.70	-2.0031	-0.0403	1.82	145.58	139.45	179.3	36.91
	B01-B03	-10.04	3.71	-1.74	-1.8741	-0.0474	1.97	153.90	151.41	185.27	36.45
2006	B01-B02	-3.79	3.95	0.23	-0.0098	-0.0098	0.29	132.399	124.51	124.51	9.80
	B02-B03	-10.58	27.21	-2.25	-2.9048	-0.1003	2.33	56.20	51.80	70.72	15.70
	B01-B03	-10.77	29.46	-2.19	-2.7586	-0.0864	2.34	54.38	50.80	67.73	14.84

Fuente: Elaborado por la autora

Sobre las imágenes índices ya transformadas se aplicó una transformación de componentes principales, la tabla 3 nos muestra los resultados alcanzados en el proceso.

**Tabla 3: análisis de los valores de la aplicación de ACP**

Año	Componente	Autovalor
1985	ACP1	4452.41
	ACP2	1278.49
	ACP3	0.25
1989	ACP1	3004.97
	ACP2	563.53
	ACP3	0.46
2001	ACP1	2779.79
	ACP2	796.64
	ACP3	0.18
2006	ACP1	495.95
	ACP2	66.79
	ACP3	0.02

Fuente: Elaborada por la autora

La segmentación permitió obtener un grupo de regiones con igualdad de características, las mismas representan aquellas áreas para ser clasificadas. La figura 8 permite observar cómo se comportó este proceso en una de las imágenes trabajadas.

Se realizó la clasificación 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.

Para una mejor interpretación en el proceso de reclasificación de clases se procedió a evaluar el área mínima cartografiable y se eliminaron todas aquellas áreas que su clase contenía menos de cuatro píxel, de esta manera la imagen muestra resultados más claros para su interpretación. Para la reclasificación realizó un análisis detallado de las diferentes clases obtenidas durante la clasificación y su agrupamiento en correspondencias con las características naturales del terreno. Finalmente después de reagrupar las clases según se identificaron se procedió a filtrarlas para eliminar aquellos ruidos que aún quedaban en la clasificación. La figura 9 nos permite apreciar los resultados alcanzados en la clasificación de los tipos de fondos.

Durante el procesamiento de las imágenes y las siete variantes utilizadas para la clasificación de fondos marinos se pudo comprobar la diferenciación en cuanto a los resultados alcanzados. Estas variaciones se centran en el agrupamiento de algunas de las clases ya definidas. 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.
- ✓ Rocosos-Arenoso.
- ✓ Rocosos 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

Para las imágenes de 1985 la combinación del índice de fondo 1-2 y 1-3 mostraron los mejores resultados en cuanto a distribución espacial de los tipos de fondos más cercanos a la realidad. El resto de las combinaciones omitió una o dos de los subtipos de fondos agrupados en otra clase y mostrando mayores errores con respecto a los efectos de sal y pimienta en la clasificación. Sin embargo en las imágenes de 1989 los mejores resultados correspondieron a las combinaciones índice 2-3 y ACP 01. La determinación se centró en el análisis de la distribución de cada una de las clases por regiones, las que se hicieron corresponder con **ICGC y ACC (1989)**.

En las imágenes del 2001 las clasificaciones con mayores resultados correspondieron al índice 1-3 y a ACP 02 debido a que las mismas muestran una distribución y correspondencia con el terreno, mientras en las otras se agrupan subtipos y en otros casos la clasificación se muestra un poco corrida con respecto a los datos del terreno. En el 2006, las variantes con mayores resultados son el índice 1-2 y ACP 02. Es importante señalar que los resultados alcanzados en las clasificaciones del 2006 muestran errores debido principalmente al procesamiento realizado para corregir los espacios afectados por nubes.

Un segundo nivel de análisis de mayor detalle fue determinar de las ocho clasificaciones realizadas las cuatro con mejores resultados:

- ✓ Para 1985 la mejor clasificación fue el índice 1-2 que muestra mayor relación con los puntos de control, además de mostrar una distribución espacial más compacta y definida (Anexo 8).
- ✓ Para 1989 la ACP 01 mostró los mejores resultados siguiendo el mismo procedimiento anterior.
- ✓ En el 2001 la clasificación con mejores resultados fue el índice 1-3.
- ✓ Para el 2006 correspondió a la combinación de ACP 02, aunque el sector más oriental hacia la Entrada de la Bahía mostró muchos errores por el efecto de las nubes.

Los mapas del 6-9 nos permiten apreciar el resultado final (Anexo 1).

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

1. Aquellas en las que el segundo año incrementó la cantidad de arena en el contenido de su fondo, por ejemplo aquellas que de fondos areno-rocosos pasaron a arenosos.
2. Los que no sufrieron cambios.
3. Aquellos que la cantidad de arena en su fondo disminuyó, por ejemplo de suelos areno-rocosos pasaron a rocosos.



La tabla 4, nos permite apreciar las diferentes modificaciones en cuanto a áreas y por ciento por cada una de las diferencias identificadas. Como se puede apreciar en todos los casos más del 92% de las áreas no varían. 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.

**Tabla 4: 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 <sup>2</sup> )	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	<b>92.81</b>	6.25	100.00	2.17	<b>93.26</b>	4.57	100.00	3.52	<b>93.24</b>	3.24	100.00
1989	Área (km <sup>2</sup> )					13.17	280.38	4.07	297.62	18.72	275.01	3.90	297.63
	%					4.42	<b>94.21</b>	1.37	100.00	6.29	<b>92.40</b>	1.31	100.00
2001	Área (km <sup>2</sup> )									14.09	276.79	7.38	298.25
	%									4.72	<b>92.80</b>	2.47	100.00

Fuente: Elaborado por la autora a partir de las bases cartográficas y el procesamiento de imágenes.

## CONCLUSIONES

1. Las técnicas utilizadas permitieron cartografiar los tipos de fondos en Santa Lucía en los cuatro años estudiados y establecer las diferencias entre cada uno.
2. 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.
3. Más del 92% de las áreas de cada una de las imágenes no sufrieron cambios en su tipo de fondo.
4. Los fondos arenosos y areno-rocosos ocupan la mayor extensión dentro de la zona de estudio.
5. Los espacios arenosos se incrementaron de 1985 al 2006 con valores entre 0.9 y un 3.5 % respectivamente.

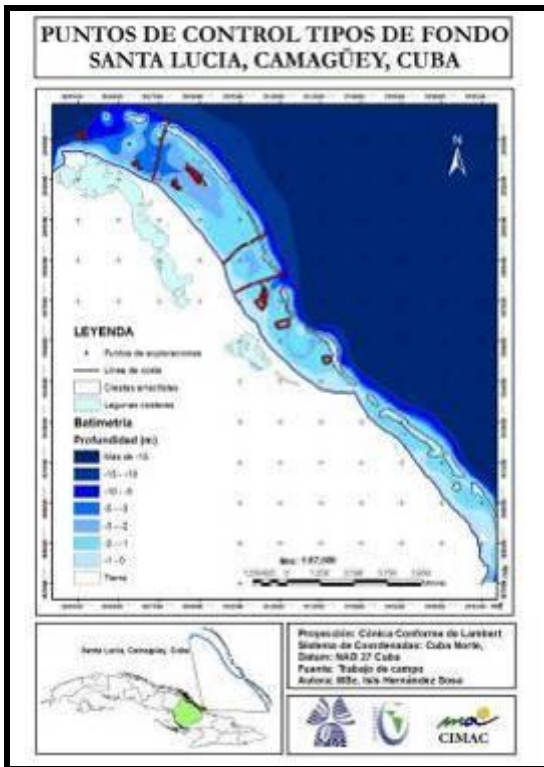
## RECOMENDACIONES

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.

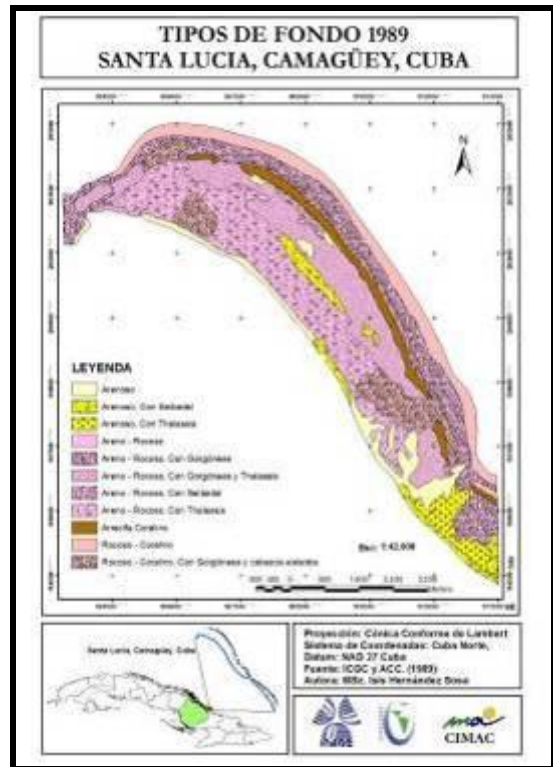
Por otro lado, se debe profundizar en las áreas que fueron determinadas como fondos arenosos para determinar si cumplen con el resto de las condiciones necesarias para ser utilizadas como zonas de préstamos para alimentación artificial.

# Anexo 1: Mapas

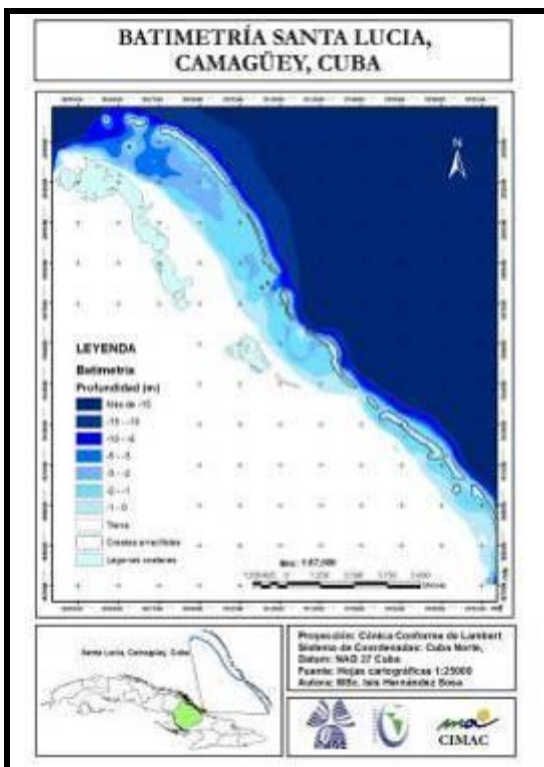
Mapa 1:



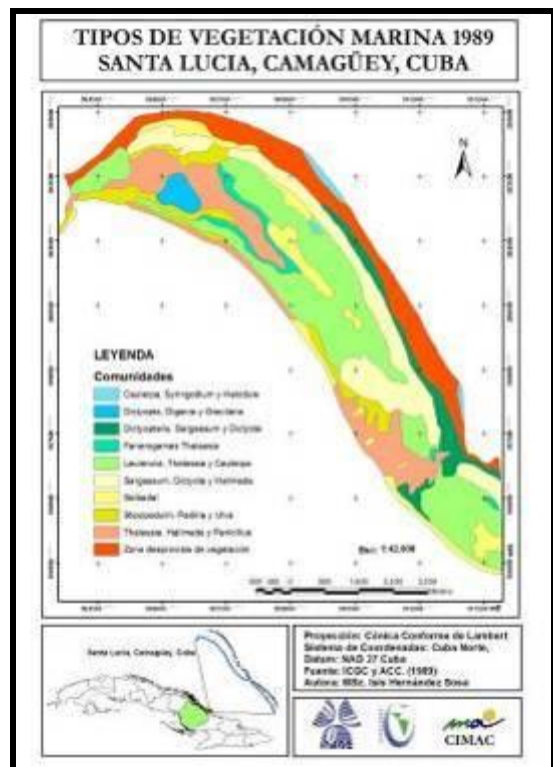
Mapa 3:



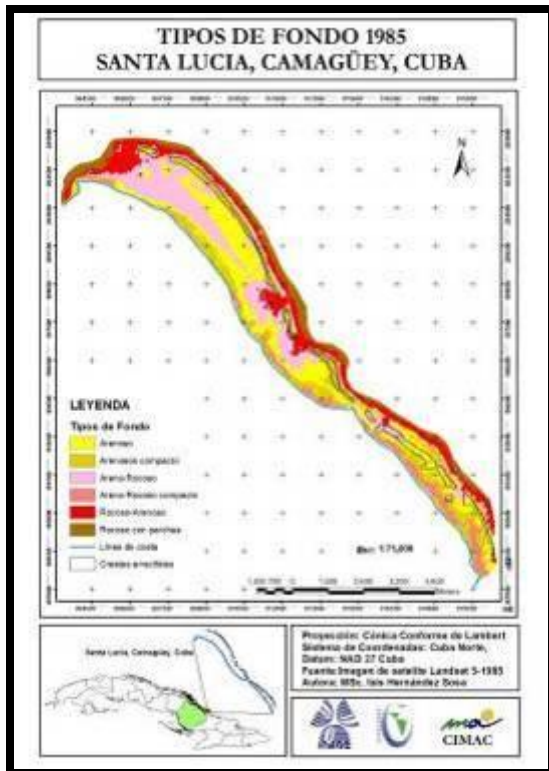
Mapa 2:



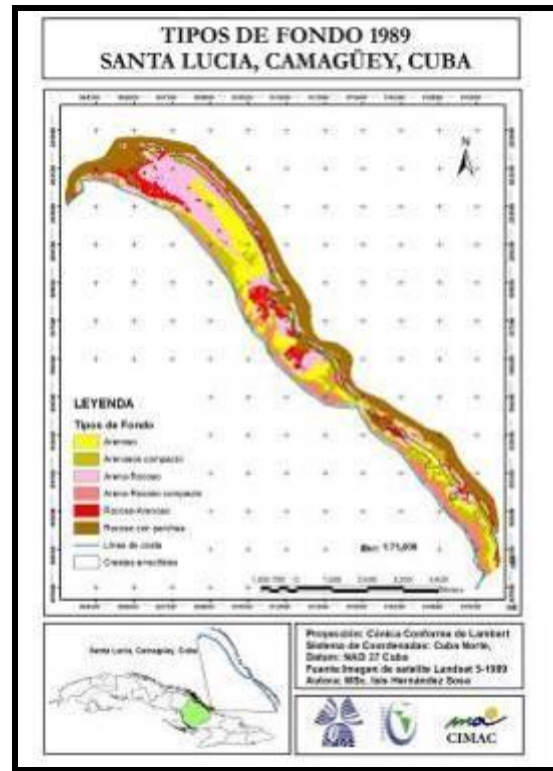
Mapa 4:



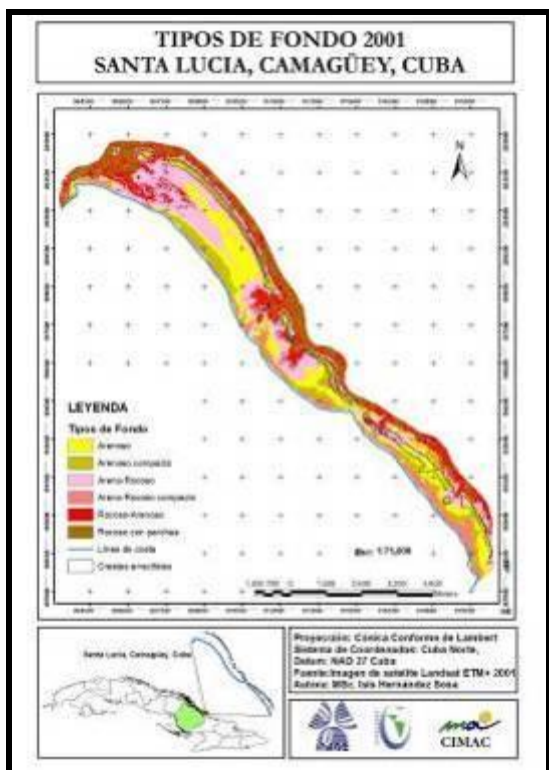
Mapa 6:



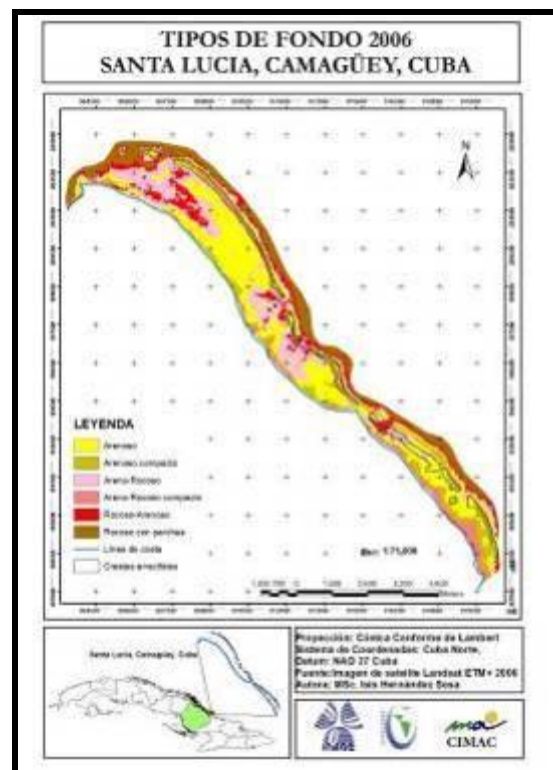
Mapa 7:



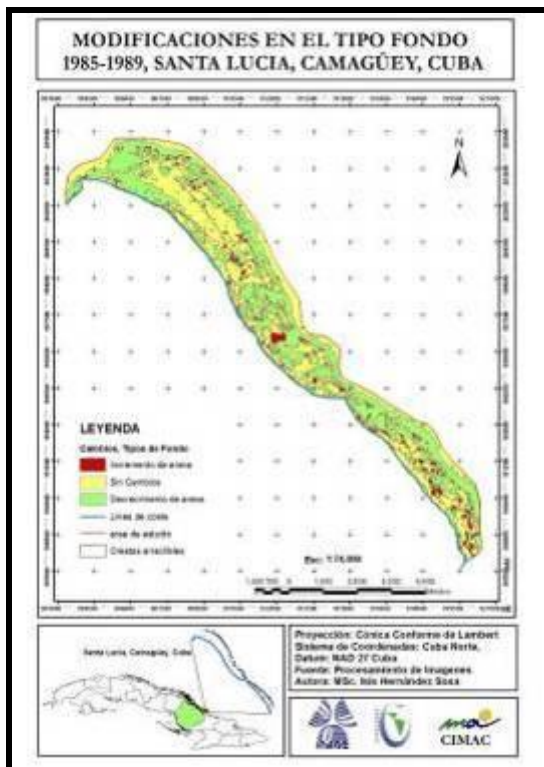
Mapa 8:



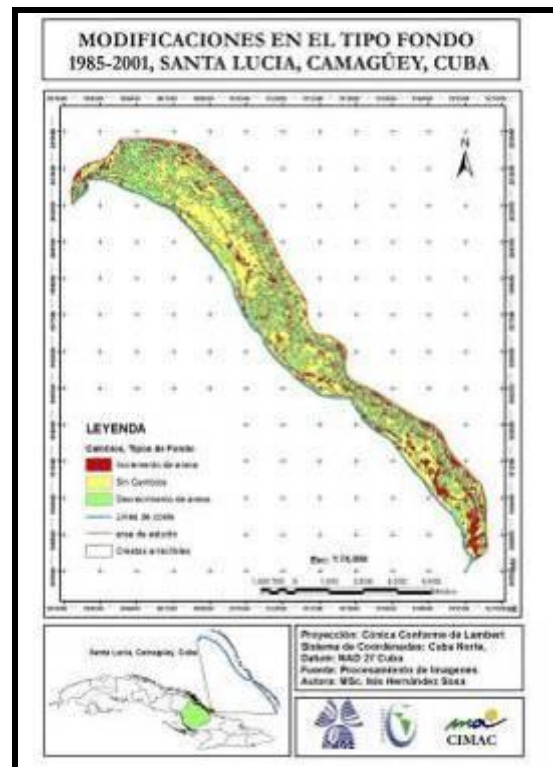
Mapa 9:



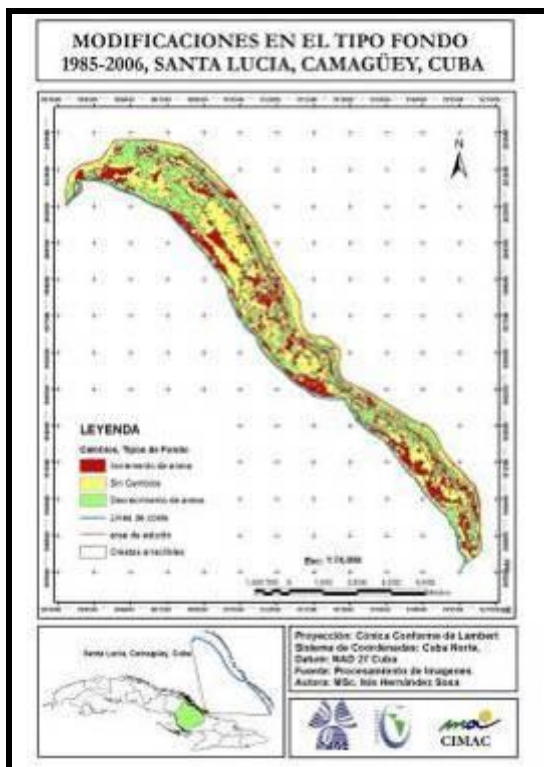
Mapa 10



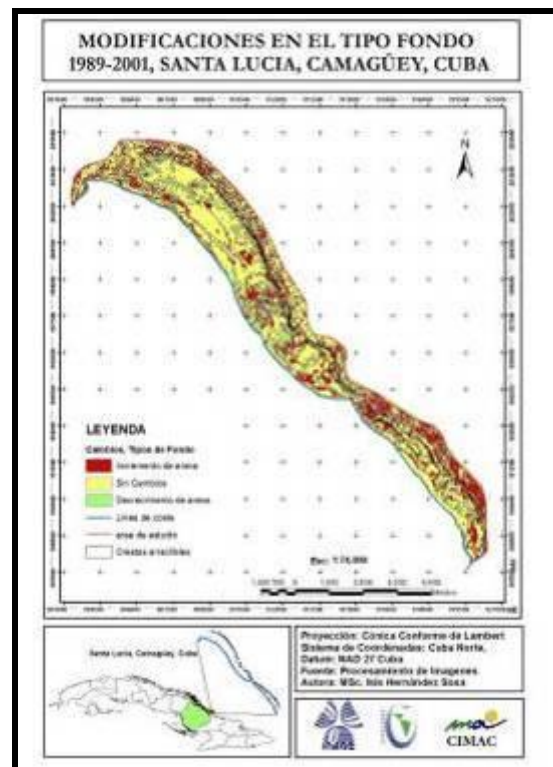
Mapa 11



Mapa 12

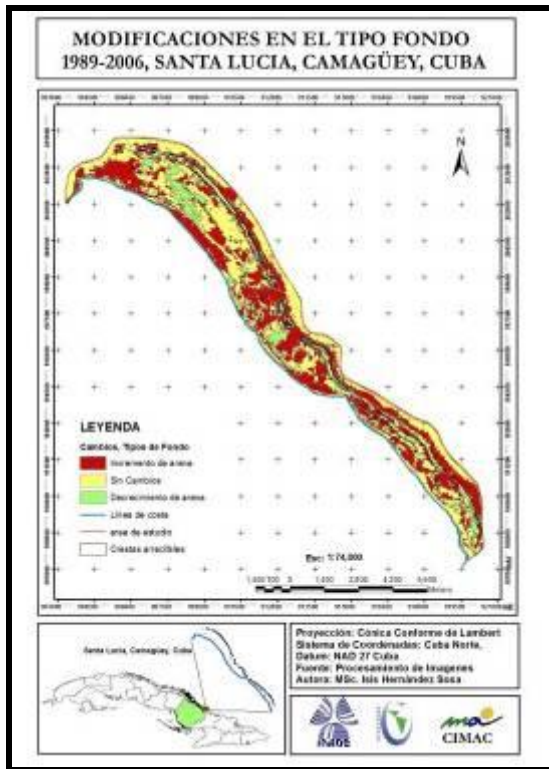


Mapa 13





Mapa 14



Mapa 15

