

Cambios en la línea de costa en las Playas Sardinera y Mujeres, Isla de Mona, PR

Katherine M. Steele

Ruth Vélez

Universidad de Puerto Rico en Mayagüez

Resumen

Se estudió el cambio de línea de costas de las Playas Sardineras y Mujeres ubicadas en la Isla de Mona. Para esto se utilizaron varias fotos aéreas desde el año 1963 hasta el año 2004 y una imagen del satélite IKONOS del año 2000. Para las fotos aéreas de los años 1963, 1977 y 1992 se realizó una fotointerpretación de cada foto comparándolas con la imagen de IKONOS. Para las fotos aéreas de los años 1999 y 2004, y la imagen de IKONOS se utilizó varias herramientas del programa ENVI 4.3 para determinar la detección de cambio en las playas antes mencionadas. Se realizaron clasificaciones no supervisadas y supervisadas, máscaras y detección de cambio. Al obtener los resultados de la detección de cambio se mostró que entre el año 1999 y 2000 hubo erosión en la playa Sardinera, tal como se ha observado en el campo. Los resultados de la detección de cambio entre los años 2000 y 2004 mostraron deposición en esta playa, contrario a lo que esperado. La diferencia entre resolución espacial, tipo de imagen y presencia de nubes pudo haber afectado grandemente los resultados. Se recomienda que se utilice imágenes con resolución espacial similares para obtener mejores resultados.

Keywords: percepción remota, detección de cambio, clasificación, erosión de costa, fotointerpretación

1. Introducción

El estudio de cambios en la línea de costa en Playa Sardinera y Playa Mujeres, ubicadas en la Reserva Natural de Isla de Mona se realiza mediante la interpretación de fotos aéreas y el manejo de imágenes de satélites con el propósito

de detectar cambios para un periodo aproximado de cuarenta años. La interpretación de fotos aéreas históricas no provee información sobre cambios específicos en la razón de erosión, pero ayudan en la determinación de cambios netos en la línea de costa (Morelock, 1978).

La integración del trabajo de campo permite una mejor interpretación del reconocimiento de fotos aéreas históricas y el manejo de imágenes utilizando técnicas de percepción remota en el estudio de cambios de líneas de costa. El trabajo de campo incluye la medición de perfiles perpendiculares a la línea de la playa, los cuales son analizados preliminarmente para una dimensión diferente a la obtenida mediante el análisis de fotos aéreas e imágenes de satélite.

Los estudios de cambios en la línea de costa realizados en la isla de Puerto Rico han incluido el reconocimiento de fotos aéreas, el manejo de imágenes de satélite y la caracterización de los componentes mediante el trabajo de campo. Estos estudios muestran el mismo patrón demostrado para otras costas del Caribe, Centroamérica, México y Estados Unidos, donde se identifica una etapa de acumulación y acreción en las playas desde hace unos 5,000 años, seguida por un cambio de deposición a erosión durante los últimos 500 años. Aunque la razón de erosión fluctúa, existe un estado general de recesión en las playas del Caribe (Morelock, 1978).

Los cambios en la línea de costa se relaciona con factores físicos: la acción de olas y corrientes; los cambios relativos en el nivel del mar; la aportación de sedimentos; la geología y morfología costera; la intervención humana (Barreto, 1997).

Los estudios realizados en las playas de Isla de Mona incluyen la orientación, configuración y atributos de los sedimentos (Hernández-Ávila, 1970). Posteriormente, Nieves y Cepeda (2005) realizaron estudios de composición y granulometría para once playas de Isla de Mona, comprobando el alto contenido de material arrecifal. La presencia de eolianita (roca formada por la cementación de los sedimentos de la playa) en la costa, además de proveer protección ante procesos de erosión, es fuente adicional para la producción de arenas en Playa Sardinera (Rodríguez, trabajo subgraduado no publicado, 2007).

El presente estudio es el primero que se realiza en Isla de Mona utilizando las herramientas de percepción remota. El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico ha identificado el estudio de cambios de la línea de costa en las

playas de Isla de Mona como uno de importancia debido al creciente interés en los problemas de erosión de las playas. El estudio de Playa Sardinera tiene la particular importancia de que las facilidades de la reserva ubican en las inmediaciones de dicha playa.

2. Métodos

2.1 Descripción de Área

La Isla de Mona (Figura 1) está ubicada en el pasaje de Mona a 68 km del oeste de Puerto Rico. Al oeste de la isla se encuentra la República Dominicana. La misma está compuesta por dos formaciones del Mio-Plioceno, las cuales son dolomita Isla de Mona y caliza Lirio. Su topografía está mayormente compuesta de mesetas las cuales han sido elevadas por movimientos tectónicos. A lo largo del oeste y suroeste se ubica un arrecife fósil del Pleistoceno permitiendo una formación de una línea de costa al pie de los acantilados. La Isla

de Mona sólo recibe influencias de aguas oceánicas ya que en la misma no se encuentran otros cuerpos de aguas terrestre, dígame ríos, lagos, etc. Las playas que se estarán estudiando en este proyecto son las Playas Sardineras y Mujeres, las cuales se encuentran en el área suroeste-oeste de la Isla de Mona (ver Figura 2).

2.2 Materiales

Para la ejecución de este proyecto se utilizaron varios materiales esenciales para la metodología del mismo. El programa de computadoras para el procesamiento de imágenes, ENVI 4.3, fue utilizado como la base para realizar la detección de cambio en la línea de costas de las playas anteriormente mencionadas. Para analizar dicho cambio de costa se utilizaron fotos aéreas e imágenes de satélite.

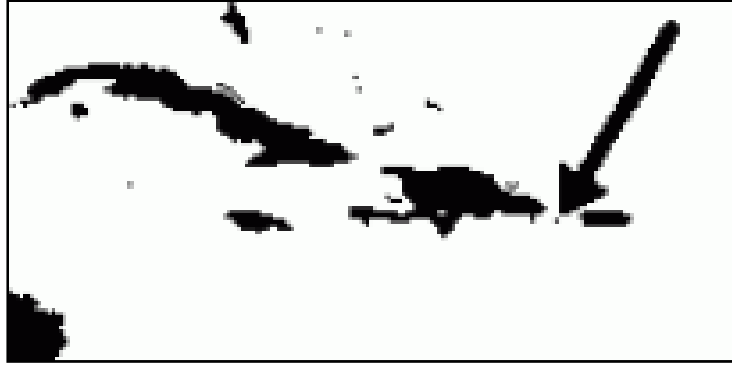


Figure 1 Isla de Mona

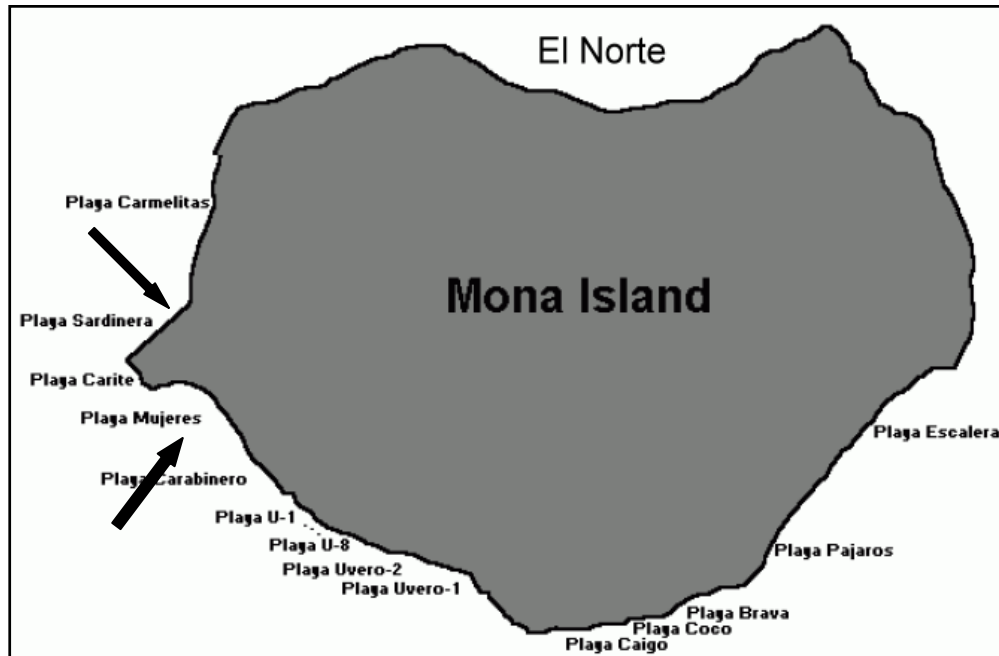


Figure 2 Playas de la Isla de Mona

La imagen de satélite que se utilizó se obtuvo del sensor IKONOS, el cual tiene 5 bandas: azul, verde, roja, infrarroja y pancromática. IKONOS posee una resolución espacial de 4 metros en las bandas visibles y un (1) metro en la pancromática, lo cual combinado se convierte en una resolución espacial total de

tres metros. La resolución temporal de este sensor es de tres días.

Para la validación de georeferencia se utilizó un GPS con el cual se tomaron varios puntos de coordenadas en el campo. Las mismas fueron comparadas con las coordenadas en la imagen y resultó estar georeferenciada. El equipo de GPS

que se utilizó fue el Trimble Ricon Pro XH, GPS Pathfinder Pro Series, el cual posee una precisión sub-métrica. Las lecturas fueron tomadas luego de que se promediaran de 15 a 20 posiciones.

2.3 Trabajo de Campo

Como parte del estudio de cambio en línea de costa, en septiembre de 2007 se comenzó la recopilación de datos de campo en Playa Sardinera y Playa Mujeres. Para cada playa se escogieron diez puntos para iniciar la medición de perfiles de playa perpendiculares a la línea de costa. Cada punto de inicio fue documentado mediante la lectura de las coordenadas del *GPS*. El sistema de proyección utilizado es: NAD 83; datum, NAD 83; zona, Puerto Rico-Islas Vírgenes. Cada uno de los veinte puntos fue marcado en la imagen de IKONOS georeferenciada y cuya proyección tiene las mismas cualidades de las coordenadas de GPS.

La medición de los perfiles se realiza mediante la lectura con un inclinómetro de los cambios en altura observados en una vara calibrada, medidas cada dos metros. La extensión de cada perfil fluctúa entre 15 y 50

metros, limitado a la estabilidad de la vara cuando la persona que lo sostiene entre al agua. El total de 20 perfiles es medido mensualmente, en un intervalo aproximado de cuatro semanas, para detectar cambios en los mismos.

La figura 3 muestra la ubicación de los diez perfiles de Playa Mujeres proyectados en la imagen de IKONOS del 2000 utilizada en el estudio. El perfil del extremo noroeste (M-1) y el del extremo sureste (M-10) son analizados para la interpretación preliminar y visualización de cambios temporales.

El perfil obtenido con los datos de septiembre en M-1 muestra una berma con un cambio leve en la pendiente entre 14 y 20 metros en la dimensión vertical. Este perfil muestra los efectos de erosión del disturbio meteorológico Dean, que produjo cambios notables en las playas de Isla de Mona (comunicación verbal del personal de la Reserva, 2007). En el perfil de octubre se observa una marcada acumulación de arena a partir de los 16 metros, mostrando una recuperación durante un periodo de relativa calma. El perfil de noviembre, posterior al paso del disturbio meteorológico Noel, muestra el inicio de la berma en los 10 metros y una

disminución en la pendiente a partir de ese punto. Este cambio muestra el efecto erosivo en la pérdida de arena. Los tres perfiles se completaron entre 28 y 30 metros de extensión.

Este perfil es representativo de los cambios en los perfiles M-2 al M-7.



Figure 3 Ubicación de Perfiles en Playa Mujeres

En contraste, el perfil M-10 mantuvo perfiles similares entre septiembre y octubre, con una berma en los 8 metros. En ambos afloraba la eolianita y la energía del oleaje sólo permitió la lectura hasta unos 16 metros de distancia. El perfil de noviembre mostró uno de los cambios más marcados, donde ocurrió una acumulación de arena que creó una duna que se refleja entre los 10 y 20 metros de distancia, cubriendo gran parte de la eolianita y permitiendo la lectura hasta más de 25 metros de

distancia. Este perfil es representativo de los cambios observados en los perfiles M-8 y M-9.

Aunque estos perfiles aún no muestran la corrección de la marea para el nivel del mar, si presentan cambios que pueden ser interpretados y que señalan que gran cantidad del presupuesto de la arena de Playa Mujeres aparentemente se mantiene en la playa. Durante eventos de mayor oleaje, las arenas se mueven hacia el sureste, y en periodos de calma regresan hacia el noroeste hasta lograr una distribución casi uniforme.

2.4 Adquisición de Imágenes

Las fotos aéreas de la División de Fotogrametría de la Autoridad de Carreteras y Transportación fueron provistas por la División de Geoinformática del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Las fotos análogas que se consiguieron son para las fechas de: 14 de febrero de 1963, 18 de febrero de 1977 y 22 de enero de 1992. Además, se obtuvo una foto digital del 27 de septiembre de 2004.

Se adquirió una foto digital del 31 de marzo de 1999 a través de la página cibernética de la NOAA. El Prof. Fernando Gilbes, del Departamento de Geología del Recinto Universitario de Mayagüez proveyó para uso exclusivamente académico una imagen de satélite de IKONOS cuya fecha es del 2000.

2.5 Manejo de Imágenes utilizando ENVI 4.3

El primero paso al utilizar ENVI para el procesamiento de imagen fue abrir el archivo de IKONOS. El mismo abrió cada banda por separado, por lo que fue necesario crear un nuevo archivo utilizando la herramienta de “Layer stacking”. Este nuevo archivo permite abrir la imagen deseada con todas las bandas en

el mismo archivo. Luego de crear el nuevo archivo se recortó la imagen hasta obtener el área de estudio utilizando la herramienta de “spatial subset”. Con esta herramienta también se recortó las fotos aéreas escogidas para el proyecto.

Luego de obtener en las imágenes del área deseada se procede a validar la georeferencia de la misma. Para esto se utilizaron los puntos con coordenadas que se obtuvo en el campo. En caso de que la imagen no estuviera georeferenciada habría que utilizar el procedimiento de ocorectificación para el cual ENVI tiene uno específico de IKONOS.

Como con varias de las fotos aéreas obtenidas no se pudo realizar las clasificaciones ni detección de cambio, debido a que eran de color blanco y negro, baja resolución, entre otros, con las mismas se ejerció fotointerpretación. Estas fotos fueron las de los años 1963, 1977 y 1992. La foto interpretación se realizó comparando cada foto aérea con la imagen de IKONOS. Para esto se georeferenció la foto aérea utilizando la herramienta de Registro: Imagen a Imagen, utilizando a ENVI como base.

Con las fotos aéreas del 1999 y 2004, y la imagen de IKONOS se procedió a realizar una clasificación No supervisada. Para esto se utilizó los métodos K-means e Iso data. Con esto se pretendía tener una idea de la división de clasificaciones en el área, pero los resultados de esta clasificación no fueron precisos. Luego de realizar la clasificación no supervisada se procede a realizar la clasificación supervisada, pero antes se realiza una máscara con la cual se pretende esconder toda la tierra y agua que no es de interés. Lo único que resaltará es el área de la playa y el área de mar cercano a la misma, en donde se pueden observar los cambios de erosión y deposición. Para esto se creó una región de interés del área objeto de análisis. Luego de seleccionar la región de interés en el icono de *File* se selecciona *Subset Data via ROIs* de ahí se abre una ventana (*Select Input File to Subset via ROI*) en la cual uno selecciona la imagen a utilizar. Cuando se abre la ventana del *Spatial Subset via ROI Parameters* uno escoge el ROI deseado, también se escoge si se quiere realizar una máscara y el valor de la misma. Después de esto se graba la imagen de la máscara. Este mismo procedimiento se repite

para cada imagen y entonces se obtendrán todas las imágenes con la misma máscara.

La clasificación supervisada se realizó sobre la máscara. Para las dos fotos aéreas y la imagen de IKONOS se utilizó los métodos de Mahalanobis, Paralalepipedo, y distancia mínima. Para las regiones de interés de las clasificaciones se seleccionaron tres regiones: la máscara, el mar y la arena. Luego de obtener los resultados de las clasificaciones se seleccionó la clasificación más parecida a cada imagen y se procedió a determinar la detección de cambio. Se realizaron dos detecciones de cambio. Para la primera detección se seleccionó como etapa inicial la foto aérea del 1999 y como etapa final la imagen de IKONOS del 2000. En la segunda detección, la etapa inicial fue la imagen de IKONOS del 2000 y la foto aérea del 2004. Con la detección de cambio se seleccionó que calculara tres clases: reducción, no cambio y aumento. Al obtener los resultados de la detección de cambio se procede a analizar dicha detección.

3. Problemas Encontrados

La comparación de fotos e imágenes de distintos sensores con la intención de detectar cambios en el mayor lapso de tiempo disponible provoca problemas en la interpretación de las mismas. Uno de los mayores problemas es la pobreza en resolución espacial, pues no permite definir adecuadamente la línea de costa. Las nubes sobre el área de interés y la reflexión especular cercana a la playa disminuyen la confiabilidad en la interpretación. La ausencia de bandas espectrales en las fotos aéreas, especialmente la banda infrarroja, limita el manejo de las mismas para definición el cambio entre agua y playa. Por último, las imágenes de sensores de Landsat no son útiles debido a que fueron adquiridas luego del 2003, fecha a partir de la cual se averió el “*Scan line corrector*”, provocando interrupciones en la imagen en forma de bandas que no son consistentes entre cada imagen.

4. Resultados

4.1 Fotointerpretación

La foto de 1963 mostró problemas en la calidad de la imagen, donde el reflejo especular (*sun glint*) no permitió distinguir la franja de

playa en Mujeres. En cuanto a la exposición de la eolianita, en 1963 aparenta observarse una exposición mucho menor que en el 2000, aunque las diferencias en resoluciones espaciales pueden afectar esta interpretación. El mayor cambio que se observa es en el uso del terreno; en 1963 había un aeropuerto en Sardinera y la cobertura total era de siembra. En dicha fecha ya se había construido en muelle en Sardinera.

La foto del 1977 tiene una mejor calidad que la del 1963 y muestra una distribución de arena similar a observada en la imagen de IKONOS. El afloramiento de eolianita en Sardinera 1977 no es tan extenso como en IKONOS 2000 y el grosor de la playa es casi igual en ambas. En Playa Mujeres la franja de arena es muy similar aunque es un poco menos ancha que en IKONOS 2000. La distribución de arena en esta playa para 1977 era bastante uniforme hasta el extremo sureste, donde no se observa el afloramiento de eolianita.

La foto 1992 muestra problemas de nubes y aparente oleaje fuerte que provoca un exceso de brillantez que no permite definir adecuadamente la playa. La interpretación en Sardinera es más difícil, pero en general, aparenta tener una

menor exposición de la eolianita que en IKONOS 2000. Playa Mujeres muestra un ancho relativamente uniforme, excepto en el extremo sureste, donde es más ancho.

4.2 Clasificaciones

Tal como se puede observar en la figura 4 en las imágenes de las clasificaciones no supervisadas es difícil establecer ciertas regiones por la mezcla de las mismas. La línea de costa se

puede observar en cierto modo, pero la precisión es muy baja. El área del mar contiene las tres clases así como la tierra.

En la figura 5 se puede observar las imágenes con las máscaras. En las mismas se puede apreciar que el área de interés es el mismo en cada uno, debido al procedimiento en que se realizó la máscara. Estas permiten analizar mejor el área de interés ya que se enfoca en esa área, tapando lo demás que no es de importancia.

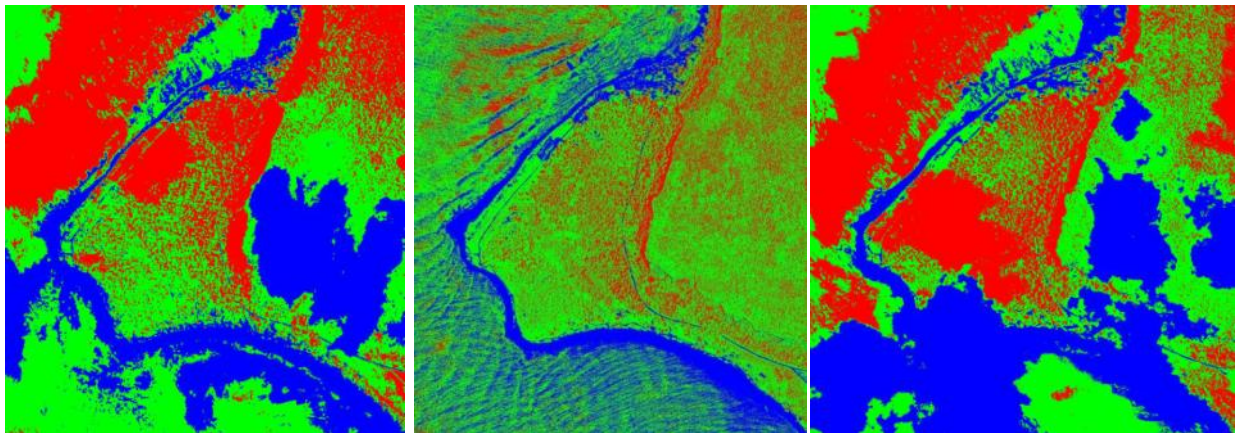


Figure 4 Clasificación No Supervisada (1999, 2000, 2004)

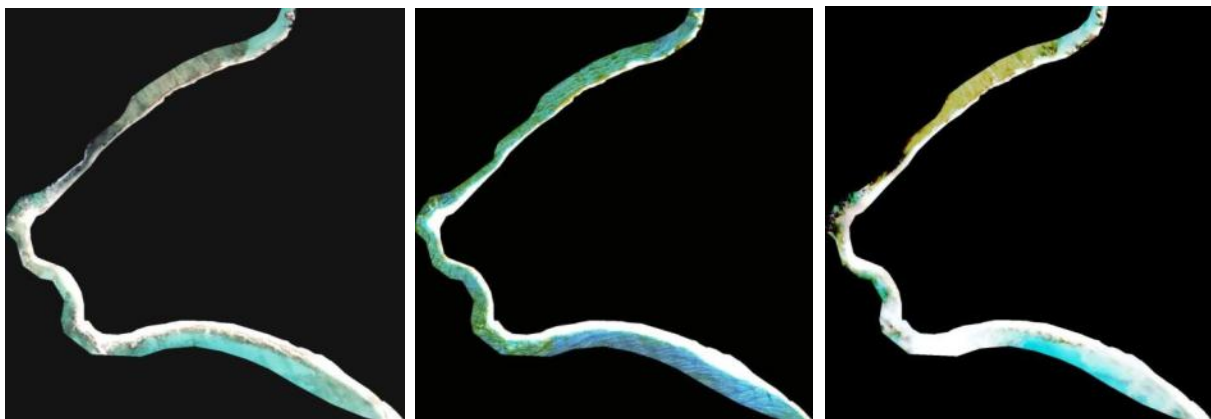


Figure 5 Máscaras (1999, 2000, 2004)

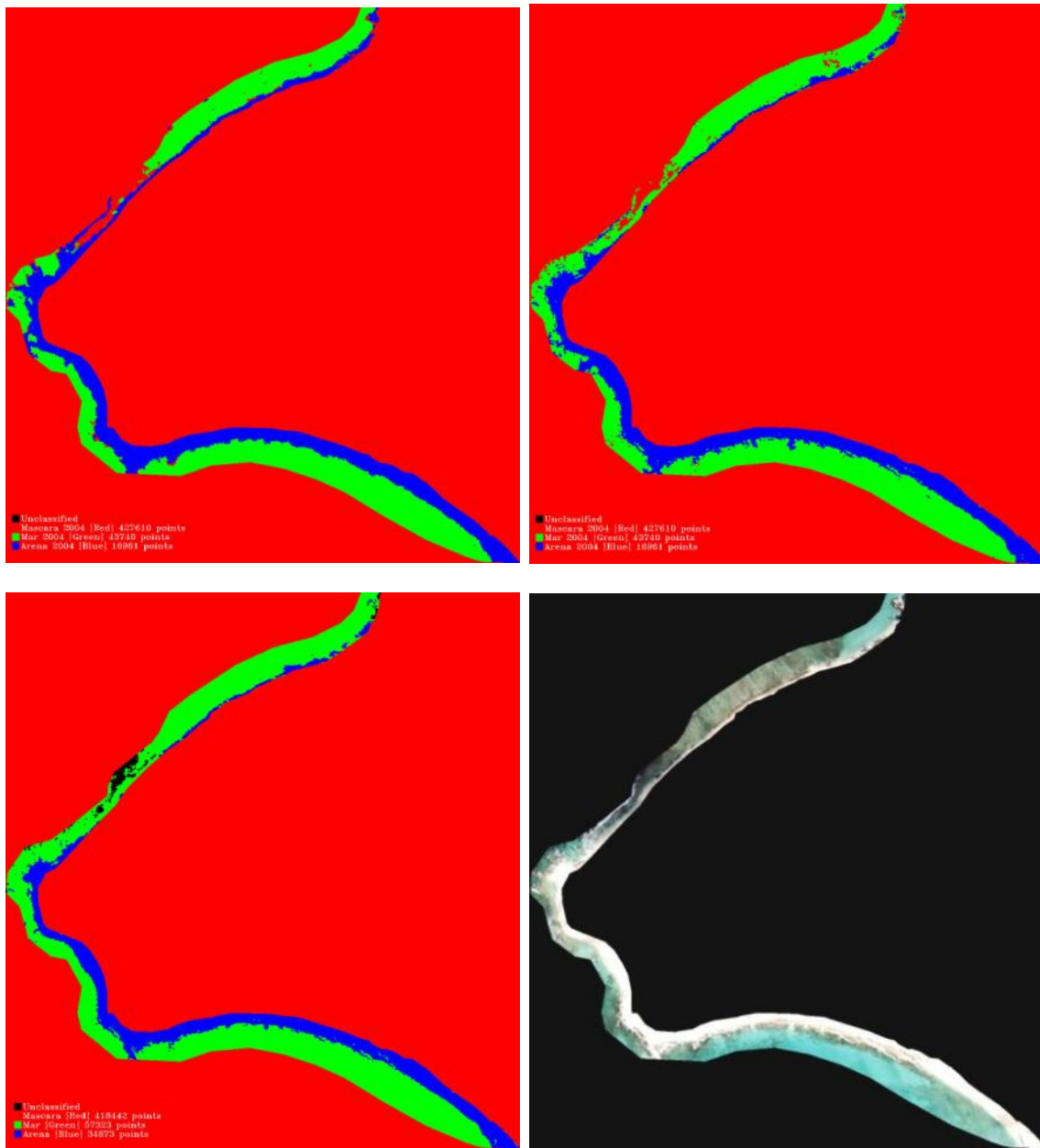


Figure 6 Clasificación supervisada de foto aerea 1999 (Mahalanobis, Distancia Mínima, Paralelepido, Foto aerea)

En la clasificación supervisada que se realizó para la foto aérea del 1999 se puede observar que la que mayor representa a la realidad de la foto fue la clasificación Mahalanobis. A pesar de que la de

paralelepido también se parece bastante, la franja de la playa Sardinera no está bien representada por esta clasificación. Por esta razón se eligió a la misma para ser utilizada en la detección de cambio.

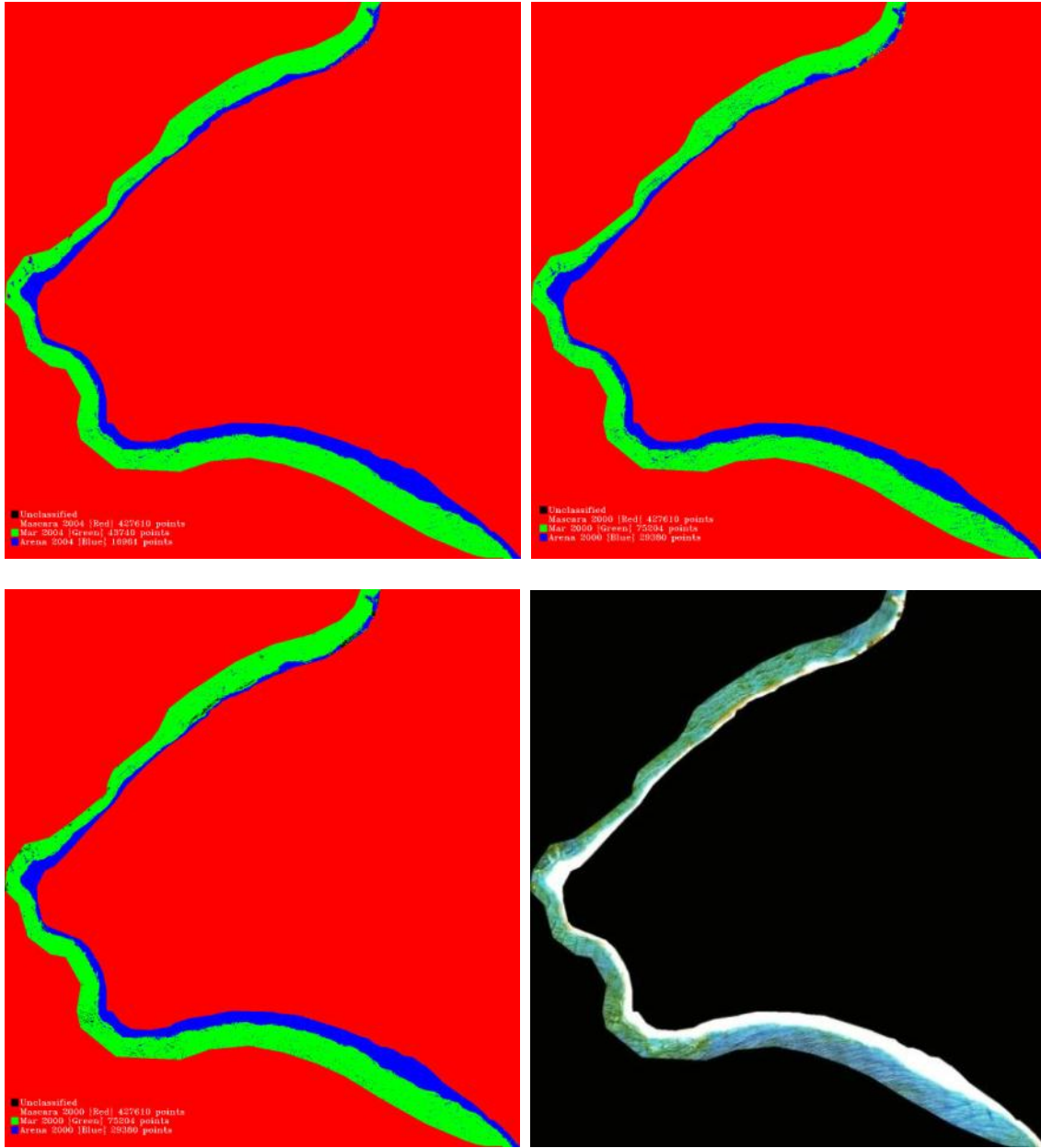


Figure 7 Clasificación supervisada de IKONOS 2000 (Mahalanobis, Distancia Mínima, Paralelepipedo, Foto aerea)

Del mismo modo que con la foto del 1999, las clasificaciones de la imagen de IKONOS del 2000 se analizaron para obtener la que representa mejor la realidad de la imagen. En la clasificación supervisada que se realizó para la

imagen del 2000 se puede observar que la mejor es la clasificación de paralelepipedo. Al igual que en el otro caso las playas Sardineras y Mujeres son mejor representadas con la de paralelepipedo.

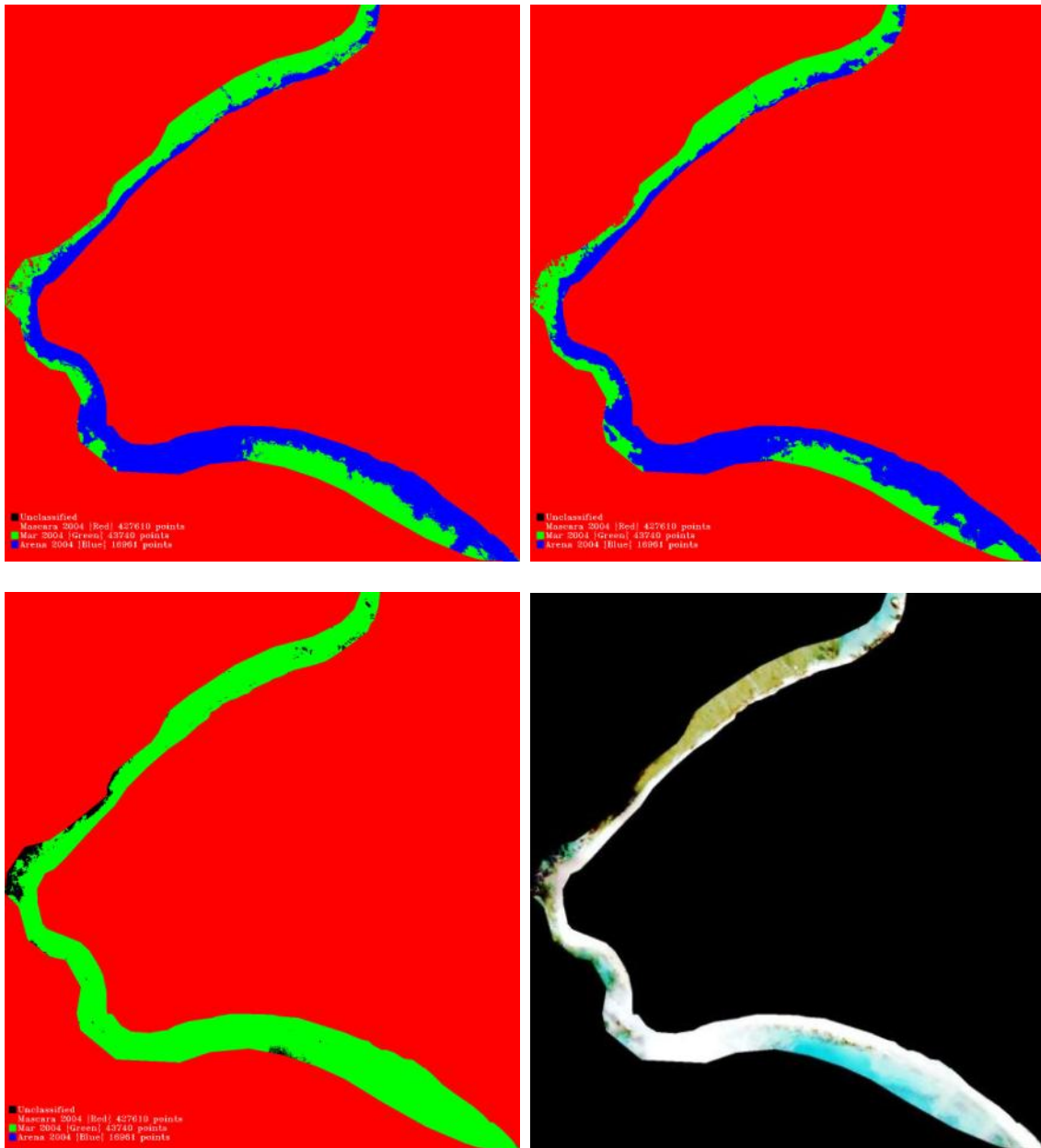


Figure 8 Clasificación supervisada de foto aerea 2004 (Mahalanobis, Distancia Mínima, Paralelepido, Foto aerea)

Para este caso la clasificación que resultó ser la que mejor representa la realidad de la imagen es la clasificación utilizando el método de distancia mínima. Es interesante observar que la

clasificación de esta foto utilizando paralelepido no reconoció la región de la arena.

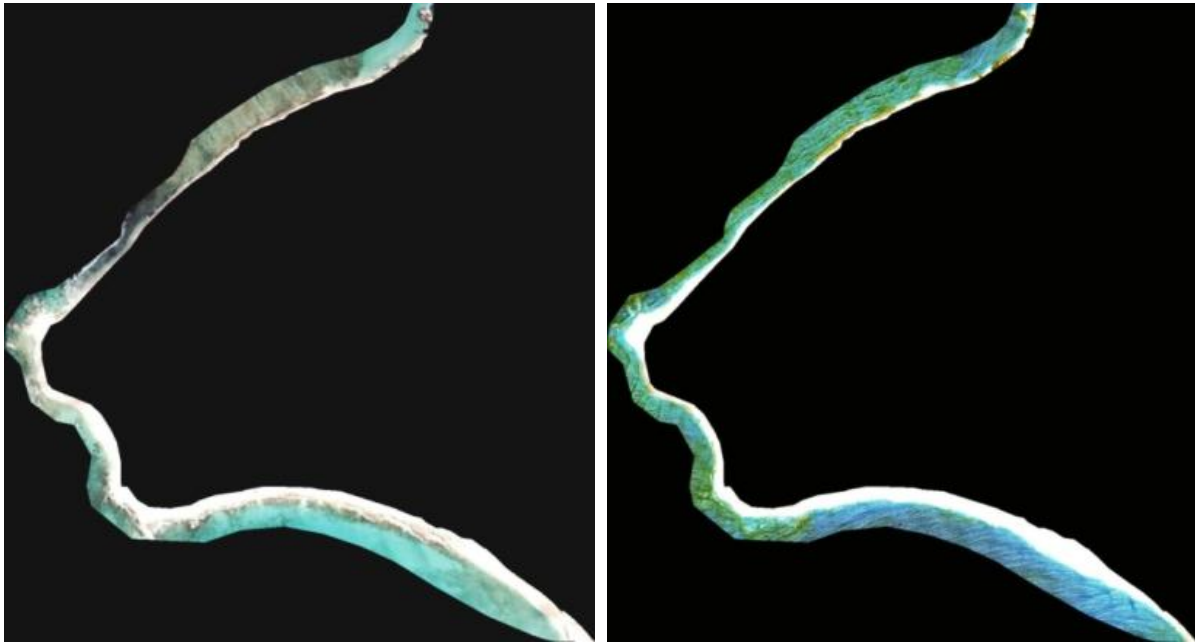
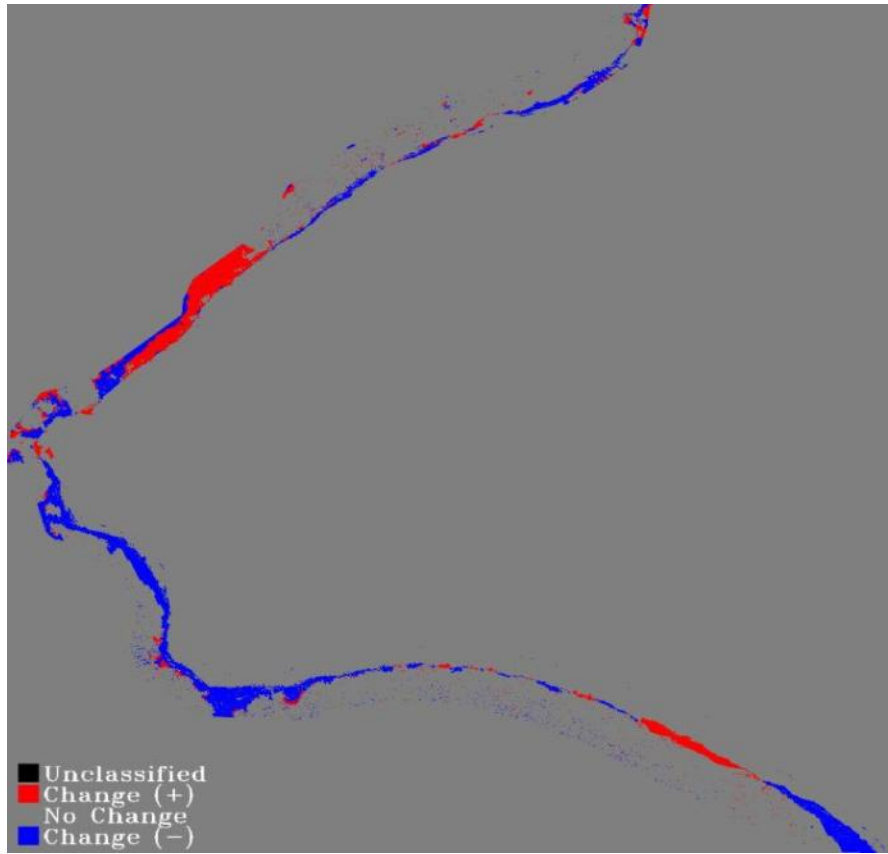


Figure 9 Detección de Cambio entre los años 1999 y 2000, Foto aérea del 1999, Imagen de IKONOS del 2000

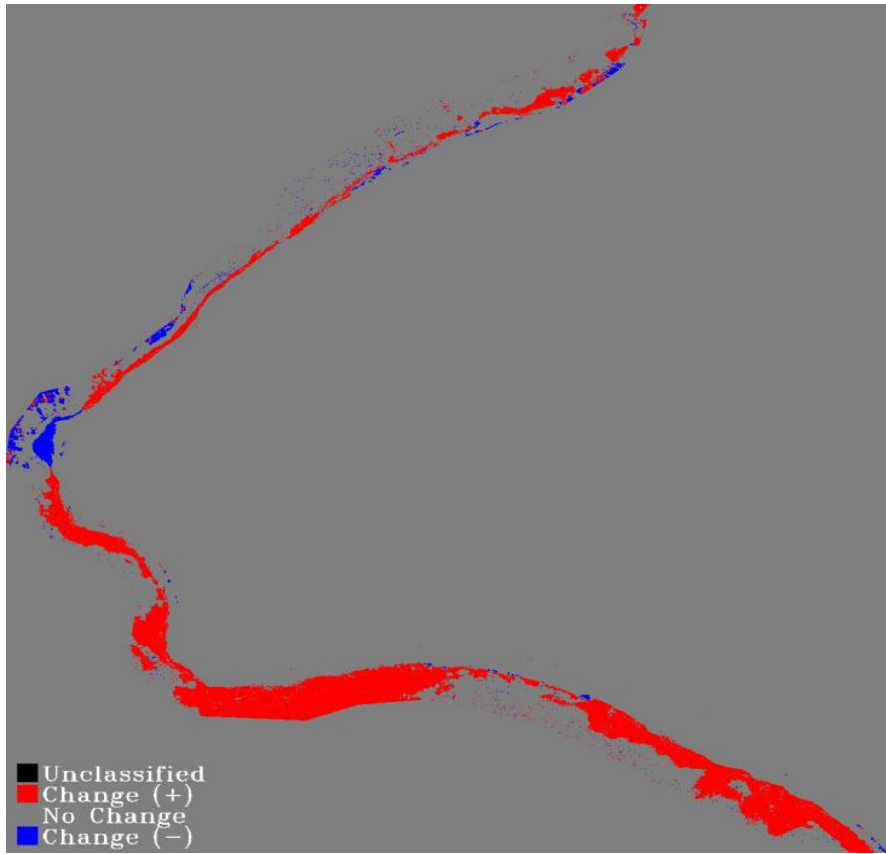


Figure 10 Detección de Cambio entre los años 2000 y 2004, Imagen de IKONOS del 2000, Foto aérea del 2004

4.3 Detección de Cambio

Tal como se puede observar en la figura 10, la detección de cambio entre los años 1999 y 2000 de la playa Sardinera parece estar sujeta a erosión en las costas, lo cual concuerda con lo observado en el campo. Cercano al extremo sur de esta playa se observa una deposición que no se encuentra en la imagen. La misma puede ser resultado de sombras y diferencia de resolución entre las imágenes. En cuanto a la playa Mujeres, se puede observar la disminución de arena en el extremo sur y consiguiente la acreción de la misma. Se cree que en esta playa el balance de arena se queda en la playa, o sea cuando disminuye en un lado aumenta en otro y así sucesivamente. Para asegurar esto se debe realizar un presupuesto de arena en dicha playa.

Para la detección de cambio entre los años 2000 y 2004 fue difícil distinguir los resultados ya que la presencia de una nube sobre la playa Mujeres hizo muy difícil la interpretación y pareciera que existe deposición cuando realmente no se puede observar la misma. En cuanto a la Playa Sardinera la diferencia de resolución entre imágenes, la diferencia de

colores en el agua de la foto aérea y la falta de la banda infrarroja también resultó en una mala interpretación ya que parece haber deposición. Esto no concuerda con lo observado en el campo y debido a los problemas de interpretación ya mencionados estos resultados se descartan.

5. Conclusiones

Se lograron detectar cambios en la distribución de arena en la franja costera mediante la interpretación de fotos aéreas históricas, aunque la comparación de las mismas con la imagen de IKONOS se afecta por la diferencia en resoluciones espaciales y la calidad de las imágenes.

La detección de cambios mediante la rutina de ENVI 4.3 mostró tendencia hacia la erosión a lo largo de la línea de costa entre 1999 y 2000. El cambio entre 2000 y 2004 fue mayormente hacia la acreción a lo largo de la línea de costa, aunque la presencia de nubes en la foto del 2004 causó problemas en la interpretación.

El trabajo de campo, mediante la medición de perfiles de playa, muestra el fuerte efecto producido por el paso de fenómenos

meteorológicos que traen oleajes de mayor energía. En Playa Sardinera el efecto es la tendencia hacia la erosión y pérdida de arenas. En Playa Mujeres, las arenas migran hacia el sureste para luego regresar hacia el noroeste en tiempo de calma. De este modo se restituye la arena para una distribución casi uniforme.

6. Recomendaciones

Luego de manejar fotos e imágenes de distintas resoluciones espaciales y espectrales, se recomienda el uso de imágenes de alta resolución espacial y que contengan la banda infrarroja. Esta descripción se refiere mayormente a imágenes de IKONOS, por lo que se recomienda la adquisición de una imagen adicional con los datos de la información sobre la fecha en que se obtuvo.

Se deben corregir los perfiles de playa con la información de mareas de la NOAA, para definir el nivel del mar real.

Se recomienda un estudio de presupuesto de arena, integrando nuevamente la herramienta de percepción remota. Por último se puede integrar el uso de GIS para crear vectores delineando la

línea de costa en las fotos e imágenes disponibles, las cuales se pueden proyectar en la imagen de control de IKONOS.

Referencias

- Barreto, M., 1997, Shoreline Changes in Puerto Rico (1936-1993) [Unpublished PhD Thesis] University of Puerto Rico, Mayaguez Campus, p. 301
- Hernández-Avila, M.L., 1970, Beach studies al Isla Mona, M. Sc. Thesis, University of Puerto Rico, Mayaguez, Puerto Rico, 171p
- Nieves, A.R., Cepeda, J.C., Ramirez, W.R., 2005, Beach Sand Composition and Grain Size for Mona Island (Puerto Rico), p.1-12
- NOAA,
http://www8.nos.noaa.gov/bioge_public/aerial/search.aspx
- Morelock, J., 1978, Shorelines of Puerto Rico, San Juan, PR: Coastal Zone Program, Department of Natural Resources, 45p.
- Rodríguez, A., 2007, Shoreline changes along Sardinera Beach, Mona Island, P.R., unpublished undergraduate study