

Variación de la dinámica erosiva y acumulativa en Cayo Moa Grande, Bahía de Moa, Cuba. Período 1972–2007

Yosbanis Cervantes¹ ycervantes@ismm.edu.cu
Yuri Almague¹ yalmaquer@ismm.edu.cu
Allan Pierra¹ apierre@ismm.edu.cu
Gerardo Orozco¹ gorozco@ismm.edu.cu
Hans-Juergen Gursky² gursky@geologie.tu-clausthal.de

Resumen

Esta investigación tuvo el propósito de comprobar cambios en la dinámica erosiva–acumulativa en Cayo Moa Grande, con base en un análisis fotogeológico temporal. Se usaron fotos aéreas, correspondientes al proyecto K-10 del año 1972, a escala aproximada 1:36 000, e imágenes obtenidas de Google Earth en el año 2007. Para la valoración espacial de los cambios se implementó como herramienta de trabajo un sistema de información geográfica que permitió sectorizar las fotos aéreas; mediante la superposición de la línea de costa para los diferentes años analizados y calculando la tasa de punto final, se determinan las principales transformaciones geodinámicas del cayo en un periodo de 35 años. Los procesos de erosión y sedimentación en Cayo Moa Grande se manifiestan de forma rápida y se registran principalmente en los últimos 50 años, alcanzando un avance máximo en las últimas tres décadas. Tales procesos han modificado la configuración de la línea de costa con la acumulación de sedimentos en la parte occidental y central del cayo y un intenso proceso erosivo en la porción oriental del mismo.

Palabras clave

Cayo Moa Grande, dinámica erosiva–acumulativa, erosión costera, sedimentación.

¹ Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

² Instituto de Geología y Paleontología, Universidad Técnica de Clausthal, Alemania.

Erosive and accumulative dynamics variation in the Cayo Moa Grande, Moa Bay, Cuba. Period 1972-2007

Abstract

This work is based on a photogeological temporary analysis, in which variation of the erosive - accumulative dynamics of Cayo Moa Grande are checked since the last century for this study aerial photos were used, corresponding to the K - 10 project of 1972 mission at a 1:36000 estimated scales and images obtained from the Google Earth Program in 2007. For the determinations of geomorphology changes a geographic information system was implemented as a working tool which permitted vectorized the aerial photos, working on geodynamics maps for the different analyzed years; by means of overlapped maps and calculating the final rate the main geomorphologic transformations of the cay in a period of 35 years. The erosion and sedimentation in Cayo Moa Grande occur in a rapid way and are mainly registered in the last 50 years, reaching a maximum advance in the period between 1972 and 2007. Such processes modify the coastline with the accumulation of sediment in de western and central parts of the cay and an intensive erosive process at the eastern side.

Key words: Cayo Moa Grande, coastal erosion, erosive-accumulative dynamics, sedimentation.

INTRODUCCIÓN

El equilibrio dinámico en las zonas costeras a menudo se ve afectado por la acción natural o antropogénica que provoca cambios en la intensidad de los procesos de erosión y sedimentación, modificándose la configuración de la línea de costa. La región nororiental de Cuba no está exenta de estos cambios, específicamente en Cayo Moa Grande, al noreste de la ciudad de Moa (Figura 1) donde se registran transformaciones geomorfológicas principalmente en los últimos 50 años (Menéndez, 2001; PNUMA/GPA, 2003).

En la parte meridional del cayo se encuentra la Bahía de Moa, la cual constituye un acuatorio separado del océano Atlántico por Cayo Moa Grande y una barrera de bajos fondos que limitan el intercambio al primer metro de profundidad (Figura 1). Este acuatorio presenta varios canales de acceso, bajo la influencia de las aguas oceánicas adyacentes, la principal vía de comunicación con mar abierto es un canal orientado al norte-noreste, a través del cual se incorporan el grueso de los flujos encargados de renovar las aguas de la bahía. También presenta fuerte influencia de los escurrimientos fluviales y de las zonas bajas aledañas a la bahía. En la zona adyacente no se localizan redes fluviales importantes, excepto al este, donde desembocan los ríos Moa y Yagrumaje que descargan grandes volúmenes de sedimentos provenientes fundamentalmente de las áreas afectadas por la minería.

El régimen de corrientes en las proximidades de la porción noreste de Cayo Moa Grande está regido por el efecto de la marea, observándose un movimiento neto del agua en dirección oeste durante el periodo de llenante y un movimiento menos intenso al este durante el vaciante. En el extremo más occidental del cayo es mínimo el efecto de la marea y se produce un movimiento continuo del agua con dirección al noroeste (Menéndez, 2001; Cervantes, 2008).

La intensidad de la dinámica costera de forma natural, estará en dependencia de la profundidad del mar frente a la costa, de la morfología costera y de las características geológico estructurales de la zona de costa, por lo que es necesario tener en cuenta el comportamiento de la dinámica circundante al cayo.

El sistema local de vientos en Moa refleja una mayor frecuencia de casos con rumbos del 1^{er} y 2^{do} cuadrantes (norte-noreste y este-sureste), mostrando muy buena correlación con las situaciones correspondientes a las estaciones meteorológicas costeras de punta Lucrecia, al norte de Holguín, y de Baracoa en la provincia de Guantánamo (Amaro, 1992).

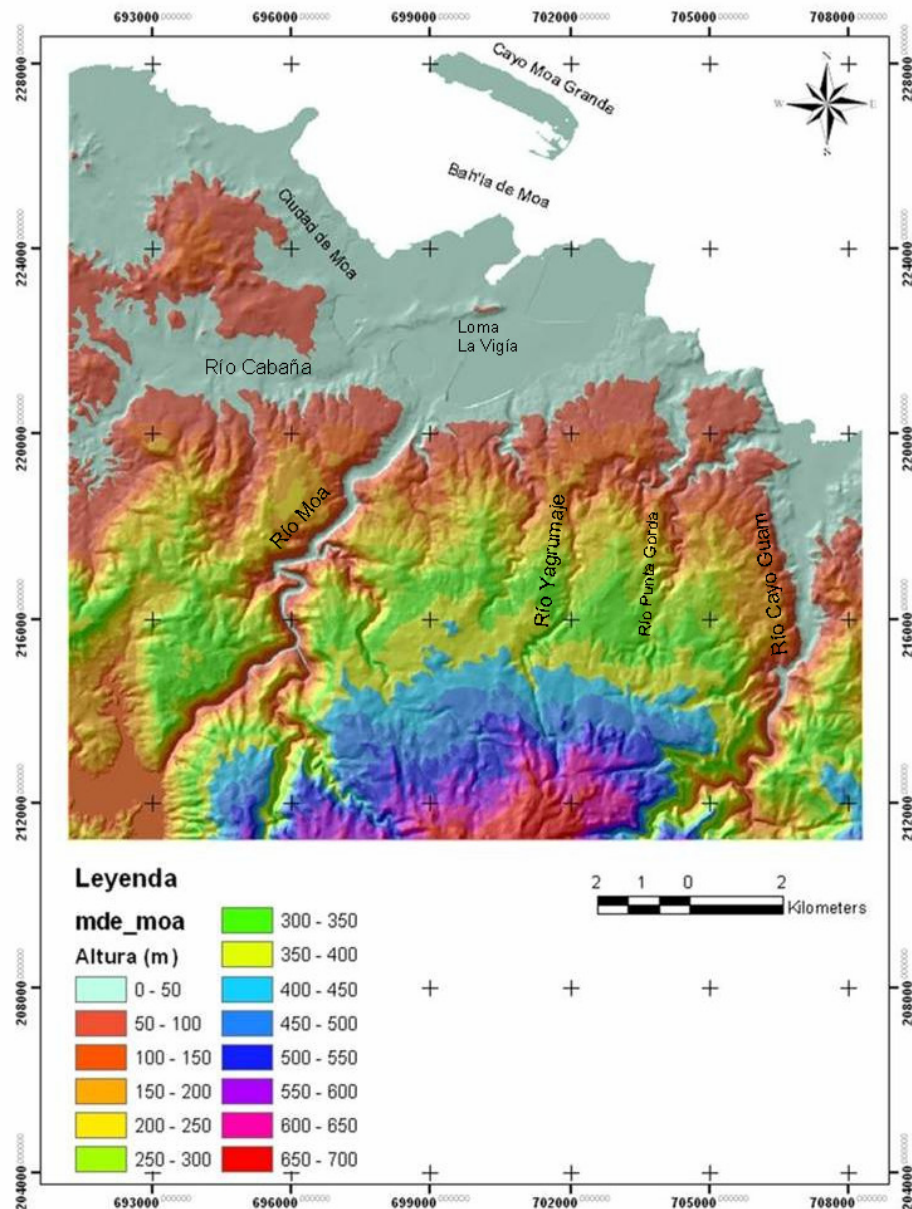


Figura 1. Localización del área de estudio.

La morfología del fondo marino al sur de Cayo Moa Grande se ha visto alterada en las últimas décadas debido a la extracción minera de aproximadamente 400 t/día de cienos carbonatados, materia prima que posteriormente es usada en la neutralización de los residuales del proceso de lixiviación ácida para la producción de níquel y cobalto que emplea la planta metalúrgica Pedro Sotto Alba.

Otros cambios batimétricos en el fondo de la bahía están asociados al dragado del canal de acceso al puerto Moa, el cual se encuentra próximo a la porción este del cayo con profundidades de hasta 40 m.

La presente investigación fue concebida con el fin de comprobar las modificaciones geodinámicas en Cayo Moa Grande, para lo que se realizó un análisis fotogeológico temporal que comprendió el periodo entre los años 1972 y 2007.

Características geológicas locales

El área investigada presenta un substrato compuesto por rocas ultrabásicas serpentinizadas (Rodríguez, 1998), con alto grado de alteración, sometidas a una intensa actividad tectónica. En la región el grado de serpentización es variable.

Sobre el substrato serpentizado, yacen depósitos cuaternarios, ubicados espacialmente en todo el litoral o muy cercanos a este (Rodríguez y Batista, 2007). Los sedimentos predominantes son lateríticos (Figura 2), con intercalaciones de arcillas oscuras con materia orgánica e intercalaciones de arenas. Además, existen sedimentos aluviales relacionados espacialmente con la llanura de inundación y la desembocadura del río Moa. Los depósitos están formados por sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario (Rodríguez y Batista, 2007).

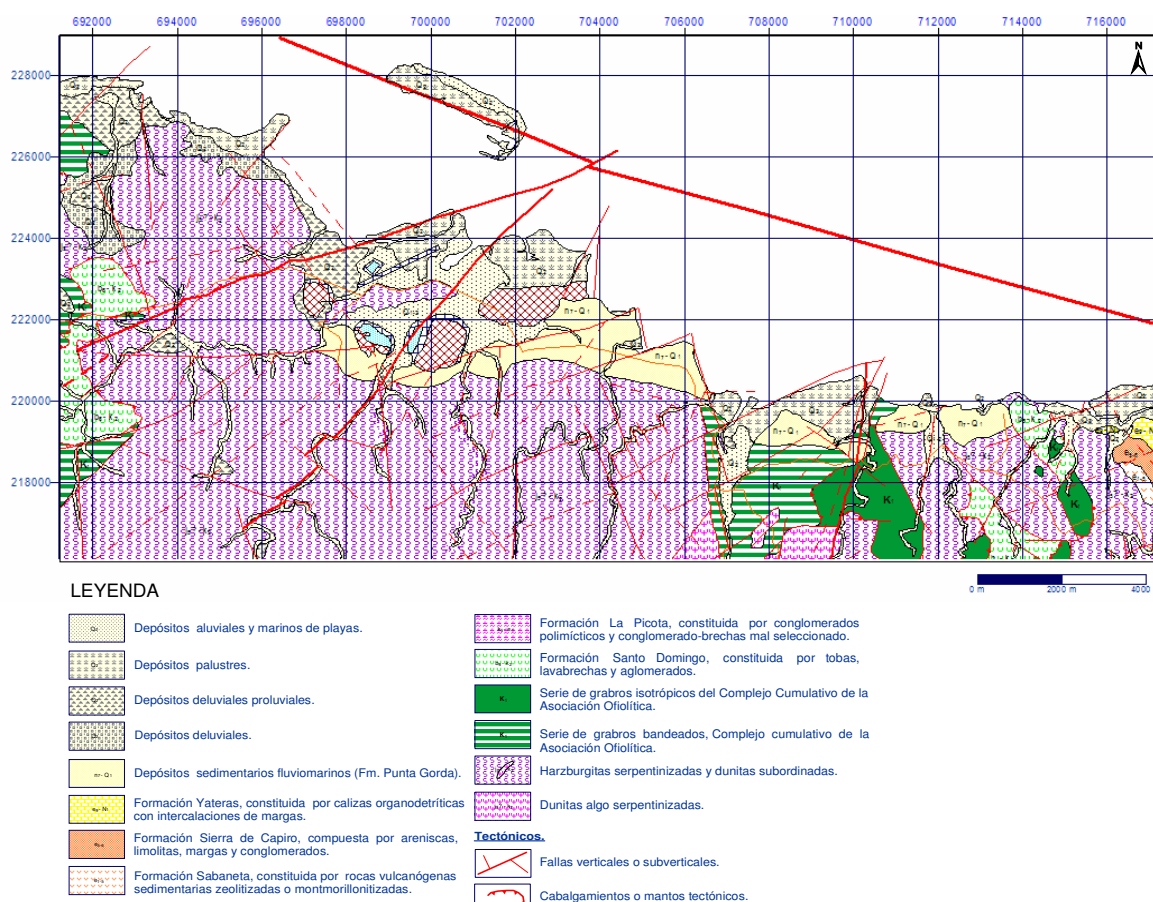


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio (Modificado de Blanco, 1999).

En Cayo Moa Grande, los sedimentos arenosos de playas son de color blanco rosáceo, formados prácticamente por restos de foraminíferos, fragmentos de conchas de moluscos y fragmentos de corales; su mayor extensión se encuentra en el norte y el este.

En relación con las condiciones tectónicas, el área está bajo la influencia de estructuras principales como las fallas Moa y Cabaña. La falla Moa es la estructura de mayor extensión del territorio. En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35° E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74° E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral hasta cortar la barrera arrecifal (Figura 3). La falla Cabaña se extiende al norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande (Rodríguez, 1998).

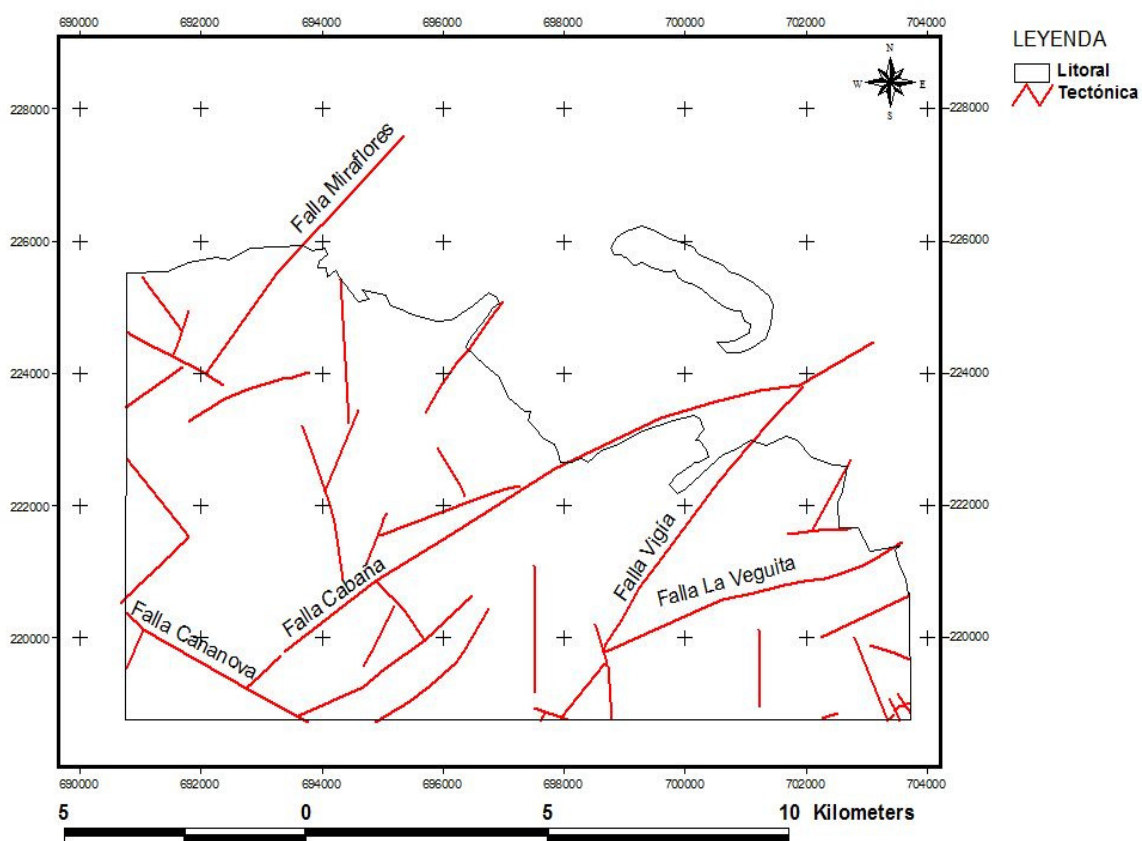


Figura 3. Mapa tectónico general del área de estudio (Modificado de Rodríguez, 1998).

El sector costero de la bahía de Moa, desde el punto de vista geomorfológico, se encuentra en zona de llanuras. Las cotas no sobrepasan los 55 m de altura y es la loma La Vigía la mayor elevación. Los procesos morfogénicos predominantes son los fluviales

y marinos. Entre los elementos morfológicos más importantes, se destacan las llanuras acumulativas marinas que llegan a formar parte de la zona litoral, próxima a la desembocadura del río Moa y aproximadamente un 85 % de la parte norte de Cayo Moa Grande.

El área de estudio se encuentra situada en la parte norte del bloque Cabaña, según Rodríguez (1998); los valores morfométricos para este bloque varían con una intensidad mínima de levantamiento relativo respecto a los bloques laterales Miraflores y Moa (Figura 4).

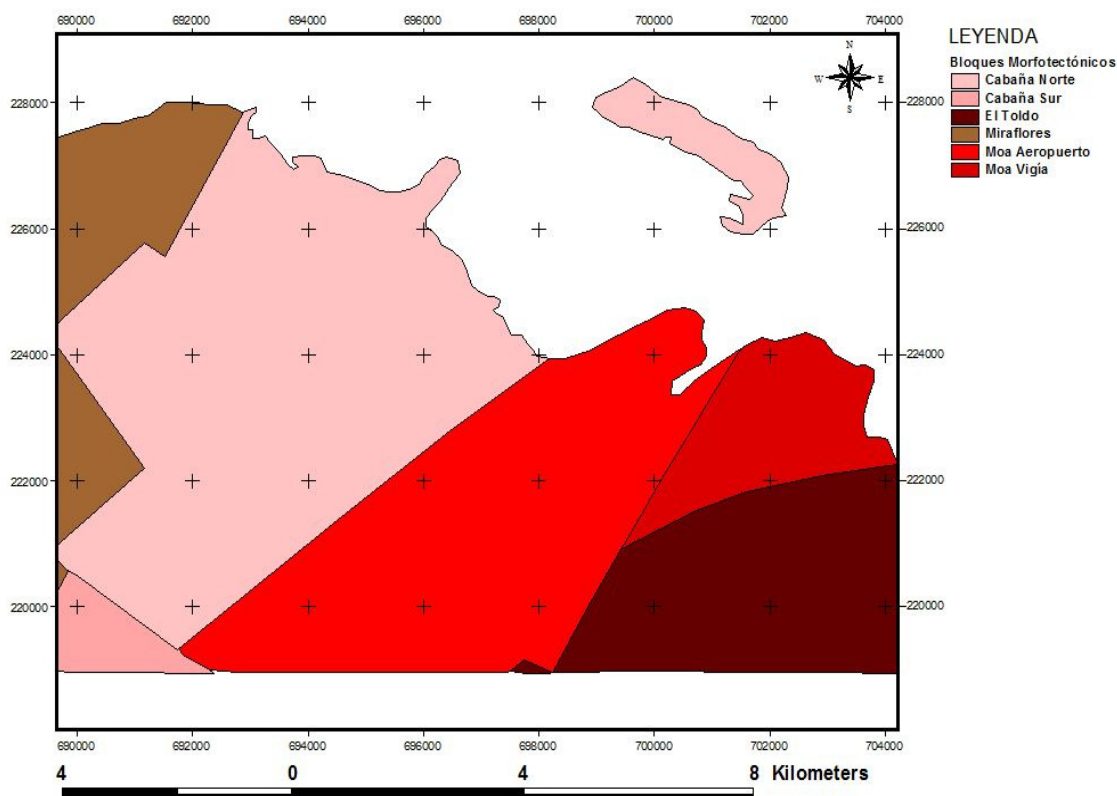


Figura 4. Mapa de bloques morfotectónicos del área de estudio. (Modificado de Rodríguez, 1998)

MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación se realizó el análisis geomorfológico de Cayo Moa Grande a través de fotografías aéreas y la aplicación de técnicas de cartografía digital para el procesamiento e interpretación, utilizando como herramienta un Sistema de Información Geográfica. Se trabajó con la cobertura aerofotográfica de diferentes periodos en un intervalo de tiempo de 37 años y se analizó la información bibliográfica y cartográfica disponible sobre el área.

Para la investigación se utilizaron fotos aéreas del fondo geológico del Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM) de Moa, correspondiente al proyecto K-10 desarrollado por el Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME) en el año 1972 con escala aproximada 1: 36 000, e imágenes obtenidas a partir del programa Google Earth en el año 2007. La información documental y gráfica sobre la tectónica del área se obtuvo de los trabajos investigativos realizados anteriormente por Rodríguez (1998) y Menéndez (2001).

Para medir la variación de la línea de costa se utilizó como indicador el trazo de pleamares, considerado como equivalente al alcance medio de la pleamar sobre la playa e identificable por el cambio de fototono que corresponde a la huella dejada en el sedimento por la pleamar anterior a la toma de la fotografía, llamada "marca de agua".

Para calcular la tasa de variación de la línea de costa, se aplicó la tasa de punto final (*end-point rate*), que considera únicamente la línea de costa más antigua y la más reciente. Este método es sencillo y ampliamente utilizado en los estudios costeros tradicionales, aunque tiene la desventaja de no incluir la información de las líneas de costa intermedias (Del Río, 2007; Ojeda, 2000). Consiste en calcular la tasa entre dos puntos geográficos conocidos mediante la división de la distancia entre estos por el número de años. Este método tiene a su favor el mayor recorrido temporal y expresa la información de los cambios a largo plazo, siempre y cuando en este tramo costero no se hayan introducido cambios sustanciales sobre todo de carácter antrópico. La tasa de punto final se calcula por la siguiente expresión (Del Río, 2007):

$$T_{pf} = D / A.$$

Donde:

T_{pf} : Tasa de punto final

D: Distancia entre la línea de costa en los diferentes años

A: Periodo de años

Para la valoración espacial de los cambios morfológicos se vectorizó la información gráfica, creando mapas temáticos temporales. Con ayuda

de las técnicas de superposición se determinaron los principales cambios en la línea de costa del cayo durante un periodo de 37 años.

RESULTADOS

Entre las características de la costa en Cayo Moa Grande se destaca su conformación, en la parte meridional corresponde a llanuras acumulativas cenagosas y bajas, mientras que en la septentrional son costas acumulativas arenosas con una extensa zona de playa de fondos muy someros (Figura 5).

El sector de llanuras marinas se caracteriza por procesos erosivos intensos que se localizan en la porción central-oriental del cayo, donde se puede apreciar un significativo retroceso de la costa; como principales indicadores de este proceso se encuentran troncos de *Casuarina* aproximadamente a unos ocho metros mar adentro producto de la erosión (Figura 6) y afloramiento de arena consolidada (*Beach Rock*) como índice del retroceso de la línea de costa (Figura 7).

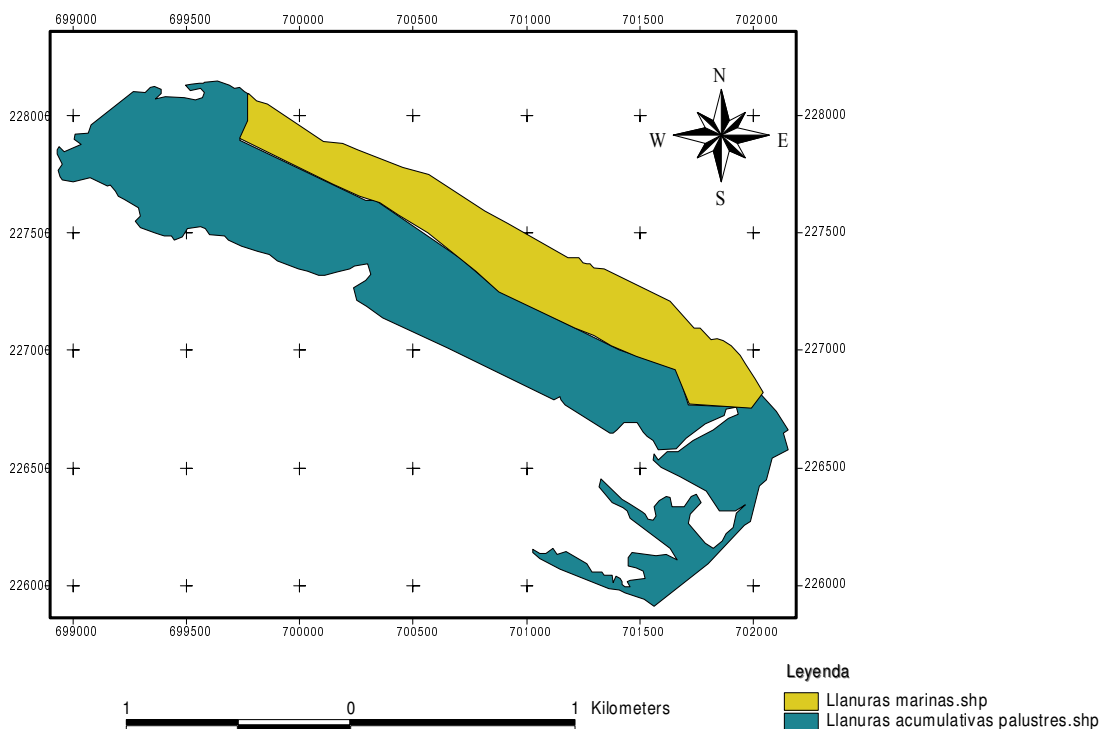


Figura 5. Características geomorfológicas de Cayo Moa Grande (Modificado de Rodríguez, 1998).



Figura 6. Retroceso de la costa en el sector noreste del cayo. En el segundo plano se observa restos de troncos de *Casuarina* en zonas sumergidas o inundadas por el mar.



Figura 7. Afloramiento de *Beach Rock* en la porción central de la costa norte de Cayo Moa Grande.

Hacia el sector central del cayo se manifiestan procesos erosivos intensos a partir de las últimas décadas, se reportan socavamientos que oscilan entre 10-50 cm de altura (Figura 8). Este proceso está relacionado con los cambios del nivel del mar y procesos tectónicos locales, la baja producción biogénica que propicia un menor ingreso de

arena, a lo que se suman la proliferación de *Casuarina equisetifolia* en todo el sector de playa, que favorece la erosión constituyendo estos los principales factores condicionantes del retroceso de la línea de costa.



Figura 8. Socavamiento producto a la erosión del sustrato arenoso encontrado en la parte central de la costa norte de Cayo Moa Grande.

La llanura acumulativa palustre abarca toda la porción sur del cayo, con vegetación exuberante de mangle y sedimentos de color oscuro, con olores fétidos y anegados, propios de zonas pantanosas. Normalmente las pendientes no sobrepasan los 5 grados.

Por las campañas de reconocimiento de campo y la posterior comparación de los resultados con la interpretación de las fotografías aéreas se pudieron identificar variaciones morfológicas en el extremo sureste del cayo, donde se ha formado una flecha de arena, que se extiende hacia el sur (Figura 9), a la vez que se ha separado del cayo, consolidándose como un pequeño islote cubierto de vegetación. La abertura o canal entre el islote y el cayo no aparece en las imágenes de 1972, muestra de la dinámica costera que ha ido evolucionando, generando nuevas formas.

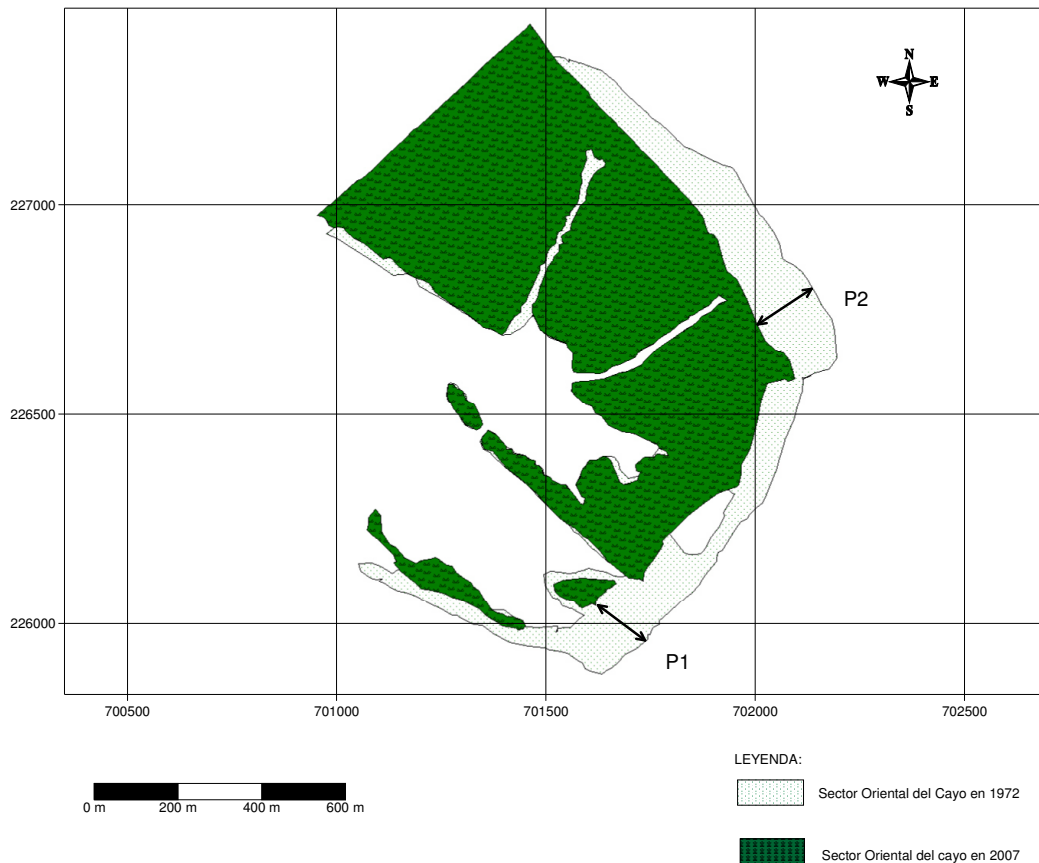


Figura 9. Transformaciones del extremo oriental de Cayo Moa Grande en el periodo 1972 - 2007.

El retroceso de la línea de costa en esta porción del cayo fue analizado en dos sectores (P1; P2), con el consecuente cálculo de la tasa de punto final. En el sector P1 se reportó un retroceso aproximado de 148 m, lo que equivale a un promedio de 4,22 m/año; y en P2 la diferencia es de 163 m, con un promedio de retroceso de 4,67 m/año.

La representación de los datos obtenidos permite establecer cuantitativamente las variaciones de la línea de costa en el periodo evaluado. Atendiendo a la clasificación propuesta por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/GPA, 2003), la intensidad de la erosión en esta parte del cayo es intensa.

En el sector occidental y central del cayo, contrario a lo que se pudo apreciar en la porción oriental, es considerable la acumulación perpendicular a la línea costera de sedimentos marinos de origen reciente, lo cual difiere de lo observado en las imágenes del año 1972 (Figura 10). Desde el punto de vista cuantitativo, se aprecia un aumento aproximado de 101 m en la porción central del cayo (P3), lo que equivale a 2,9 m/año. En la

parte más occidental (P4) es significativa la acumulación de sedimentos depositados en forma de bancos de arena de 163 m de extensión espacial lo que equivale a 4,6 m/año. En esta porción del cayo aumenta la pendiente de la playa, las dunas se hacen más extensas y la pendiente submarina cambia su gradiente disminuyendo de forma gradual, con profundidades menores de un metro en diferentes sitios.

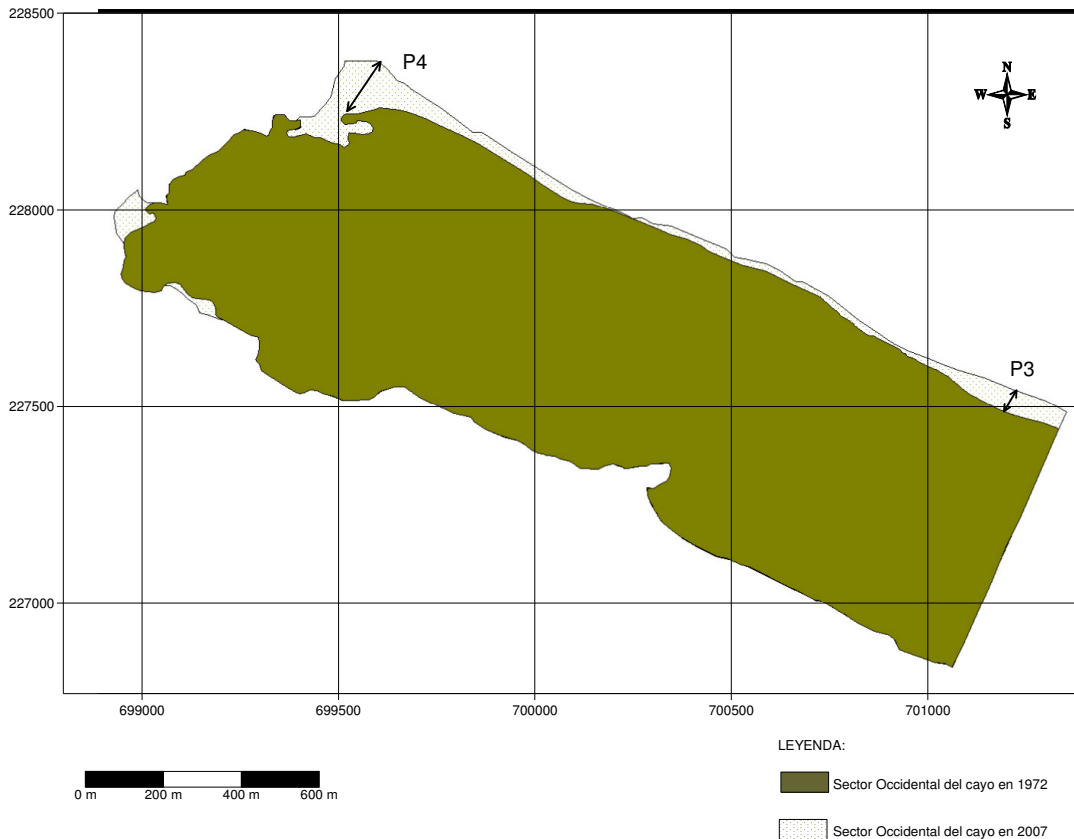


Figura 10. Transformaciones del extremo occidental y central de Cayo Moa Grande en el periodo 1972 - 2007.

DISCUSIÓN

El análisis de los resultados muestra dos fenómenos en la evolución de la línea de costa de Cayo Moa Grande, el primero debido a una acumulación rápida de sedimentos en la parte centro-occidental, mientras que el segundo, se presenta con un proceso de erosión intenso en la porción más oriental del cayo.

Como cambios geomorfológicos apreciables puede considerarse:

- Ampliación de la franja costera en la zona de playa en la parte septentrional del cayo.
- Desarrollo de depósitos en forma de flecha en la porción sureste.

- Surgimiento de bancos de arena en forma de pequeñas terrazas al noroeste.
- El retroceso de la línea de costa tierra adentro en la porción sureste del cayo.

A manera de hipótesis se infiere que los principales cambios geomorfológicos en Cayo Moa Grande se asocian a:

1. Cambios ambientales naturales relacionados:

- Déficit en la producción natural de arena: existen dos direcciones de transporte de sedimento en las playas, una perpendicular a la costa controlada por las olas que llegan y la resaca; y otra paralela a la costa debida a corrientes inducidas por el oleaje. En las costas del cayo hay una dirección de oleaje predominante condicionado por la dirección de los vientos, esto provoca un desequilibrio en el balance de sedimentos y los desplaza hacia el oeste. Este proceso da lugar a una componente neta de transporte a lo largo de la costa que se conoce como deriva litoral.
- Elevación del mar: La acelerada erosión que se observa en las playas del Caribe es el resultado de la combinación de complejos fenómenos naturales entre los que se encuentra la elevación del nivel del mar, esto ha sido reportado con anterioridad por PNUMA/GPA, (2003).
- Movimientos tectónicos: Según Rodríguez (1998), el bloque Cabaña posee un carácter oscilante y de gran movilidad manifestándose en la actualidad a través de los gráficos lineales de los desplazamientos verticales, donde se observa que en un periodo de mediciones el bloque en su parte occidental se levanta mientras su porción oriental se hunde, invirtiéndose el sentido para otro ciclo de monitoreo.
- Intensificación de las tormentas: Estudios realizados anteriormente (PNUMA/GPA, 2003) identifican como una de las principales causas de la erosión en cayo Moa Grande la ocurrencia de fuertes tormentas, fenómenos que se han intensificado en los primeros años del presente siglo.

2. Cambios ambientales relacionados con la actividad antrópica, tales como:

- Cambios en la morfología del fondo marino: Debido a la extracción de cienos carbonatados y el dragado en la

dársena del puerto, se transforma el medio de sedimentación en el sureste del cayo, creando cambios batimétricos determinantes en los procesos de sedimentación y afectando la fuente natural de suministro de arenas hacia ese sector.

- Expansión de la *Casuarina equisetifolia* en toda la porción nororiental del cayo: Esta planta fue introducida producto a la actividad recreativa que se desarrolló en el cayo a finales del pasado siglo; sus características ambientales facilitan el avance de la erosión.

CONCLUSIONES

La evaluación de la erosión en las playas Cayo Moa Grande, demostraron una intensidad que varía entre ritmos de erosión próximos a 3,2 m/año y ritmos de 4,2 m/año. El insuficiente monitoreo de este proceso permite pensar que existan puntos con ritmos superiores.

Los procesos erosivos se manifiestan fundamentalmente en la porción este del cayo, los cuales pueden estar condicionados por causas naturales y antrópicas. Entre las naturales encontramos la ruptura del equilibrio dinámico entre los procesos tectónicos y los agentes erosivos, sin dejar de tener en cuenta la acción del cambio climático; entre las antrópicas, los cambios batimétricos producidos por el dragado de sedimentos, así como la amplia proliferación de la *Casuarina* en este sector del cayo.

La incidencia de la actividad antrópica sobre la erosión pueden estar relacionadas con la actividad de dragado en las proximidades del cayo, introducción de *Casuarina equisetifolia*, la cual favorece la acción de los procesos erosivos, y el daño a los arrecifes coralinos y los pastos marinos, importantes fuentes de producción de arena carbonatada marina.

REFERENCIAS

- AMARO, L. 1992. Distribución Vertical del Viento en la Atmósfera de Moa *Revista Cubana de Meteorología*. 5 (2) :74 - 81.
- BLANCO, L. J. 1999. Nuevas interpretaciones geológicas y geotectónicas del territorio de Moa. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis de Maestría). 87 p.
- CERVANTES, Y. 2008. Metodología para la evaluación del desempeño ambiental, en el proceso de extracción de cienos carbonatados en la Bahía de Moa. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis de Maestría) 91 p.
- DEL RÍO, L. 2007. Riesgos de erosión costera en el litoral atlántico gaditano. [Universidad de Cádiz]. Cádiz (Tesis Doctoral) 496 p.
- MENÉNDEZ H, M. 2001. Explotación racional del yacimiento de Cienos Carbonatados en la bahía de Moa. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis de Maestría) 68 p.
- OJEDA, J. 2000. Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la Asociación Geológica de España*. 30 :103-118.
- PNUMA/GPA. 2003. Diagnóstico de los procesos de erosión en las playas arenosas del Caribe. 93 p.
- RODRÍGUEZ, A. 1998. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis doctoral) 129 p.
- RODRÍGUEZ, A. & BATISTA, J. 2007 [en línea] Falla Moa: caracterización geodinámica y riesgos tectónicos asociados. *Minería y Geología*. 23 (2). Disponible en www.ismm.edu.cu/revistamg